

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**DISEÑO DE SISTEMA DE REGADÍO Y MONITOREO**  
**PARA PLANTACIÓN DE DURAZNOS**

Trabajo de Titulación para optar al Título de  
Ingeniero de Ejecución en CONTROL E  
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno: Felipe Antonio Álvarez Caroca

Profesor Guía: Franz Yurjevic P.

2025



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

**Tipo de monografía (marcar una opción):**  Memoria o trabajo de título  Tesis de Postgrado

**Título del trabajo:** DISEÑO DE SISTEMA DE REGADÍO Y MONITOREO PARA PLANTACION DE DURAZNOS

**Nombre del candidato(a):** Felipe Antonio Álvarez Caroca

**Carrera / Grado:** Ingeniero de Ejecución en control e instrumentación industrial

**Campus:** Viña del Mar- José Miguel Carrera **Departamento:** Electrotecnia e informática

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, FRANZ YURJEVIC PERIN, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses  12 meses  2 años  3 años  5 años  10 años

**Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):**

---


---

---

### 4.- FIRMAS

**Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:**

**Fecha:** 13 Octubre 2025

**Firma:** 

**Estudiante o Candidato(a):**

**Fecha:** 13 Octubre 2025

**Firma:** 

*Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.*

## RESUMEN

**KEYWORDS:** Riego automatizado, control, PLC, estación meteorológica.

El presente trabajo de título desarrolla el diseño de un sistema de riego automatizado por goteo para la plantación de duraznos ubicada en el Fundo Agrícola El Carmen de Naicura. El objetivo principal es optimizar la eficiencia hídrica y mejorar la distribución del agua, reemplazando el sistema de riego californiano actualmente en uso, el cual presenta desgaste.

Para abordar esta problemática, se propone un sistema de riego por goteo automatizado, controlado por un PLC, que regula el flujo de agua según las condiciones ambientales medidas por sensores meteorológicos (temperatura, humedad, radiación solar, presión atmosférica y velocidad del viento). El diseño del sistema incluye líneas de riego, válvulas eléctricas para controlar el caudal en cada sector y una bomba centrífuga adecuada a las necesidades de presión y caudal.

El sistema automatizado se estructura en estrategias de control, que gestionan el tiempo de riego y en lazos de seguridad que protegen los equipos de posibles fallas, como niveles bajos de agua o sobrepresiones. La programación se realiza en el entorno TIA Portal, lo que permite integrar el PLC con una interfaz HMI para facilitar la supervisión y el ajuste de parámetros en tiempo real.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	2
ÍNDICE .....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA .....	9
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO 1: PROBLEMA Y OBJETIVOS DEL FUNDO .....</b>	<b>2</b>
<b>HISTORIA DE LA EMPRESA.....</b>	<b>3</b>
<b>1 ANTECEDENTES GENERALES.....</b>	<b>3</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.1.1 Importancia de resolverlo.....	3
1.2 Definición del problema .....	4
1.2.1 Requerimiento.....	5
1.2.2 Sistema de riego.....	5
1.2.3 Riego manual.....	6
1.2.4 Riego automatizado .....	7
1.2.5 Lámina de riego .....	8
1.2.6 Evapotranspiración (Eto) .....	8
1.2.7 Tipos de control.....	9
1.2.8 Caudal .....	10
1.2.9 Tia Portal.....	10
1.3 Objetivo general .....	10
1.4 Soluciones a la problemática.....	11
1.4.1 Implementar un sistema de riego por goteo utilizando un DREAM .....	11

1.4.2	Implementar un sistema de riego por goteo utilizando un Arduino .....	11
1.4.3	Implementar un sistema de riego por goteo utilizando un PLC .....	11
1.5	Comparación de las Soluciones Propuestas .....	12
1.6	Solución escogida.....	12
<b>CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....</b>		<b>13</b>
2	INTRODUCCIÓN AL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	14
2.1	Riego por goteo.....	15
2.1.1	Incremento en la eficiencia del agua empleada .....	15
2.2	Caudal de plantación .....	19
2.2.1	Especificaciones de la línea de riego .....	20
2.2.2	Características líneas de riego .....	20
2.2.3	Goteros .....	20
2.2.4	Cálculo del caudal para las líneas de riego.....	22
2.2.5	Cálculo del diámetro de la línea de riego .....	23
2.2.6	Presión necesaria para los sectores de las líneas de riego .....	24
2.2.7	Matrices .....	25
2.2.8	Cálculo del diámetro de las matrices .....	25
2.2.9	Pérdida de carga de las matrices .....	26
2.3	Válvulas .....	26
2.3.1	Válvulas de control.....	27
2.3.2	Tabla de pérdida de carga en las válvulas.....	29
2.4	Bomba .....	29
2.5	Diseño del sistema de control .....	31
2.6	Lazos de control .....	32
2.6.1	Lazos de control funcionamiento .....	32
2.6.2	Lazos de control seguridad .....	33
2.7	Hardware del sistema.....	34
2.7.1	Sensores de la estación meteorológica .....	34

2.7.2	Sensores de los lazos de seguridad .....	34
2.7.3	PLC y módulos de expansión .....	36
2.7.4	Especificación de módulo de expansión y pantalla HMI .....	37
2.7.5	Protección eléctrica y fuente de alimentación .....	38
2.7.6	Conexión de los componentes .....	40
2.8	Software .....	43
2.8.1	Configuración de dispositivos .....	43
2.8.2	Entradas y salidas de los componentes.....	43
2.8.3	Diagrama de flujo .....	44
2.8.4	Pantallas HMI .....	46
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>		<b>50</b>
3	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO.....</b>	<b>51</b>
3.1	<b>Costos del proyecto .....</b>	<b>51</b>
3.1.1	Costos de materiales .....	51
3.1.2	Requerimiento personal .....	52
3.2	<b>Beneficios del proyecto .....</b>	<b>53</b>
3.2.1	Flujo de caja 22%.....	55
3.2.2	Flujo de caja 16%.....	56
3.2.3	Flujo de caja 9%.....	57
3.2.4	Resumen económico .....	57
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>59</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>60</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- **Figura 1-1:** Diagrama de causa y efecto.
- **Figura 1-2:** Riego californiano.
- **Figura 2-1:** Sectores de la plantación.
- **Figura 2-2:** Comparación riego por surco/riego por goteo.
- **Figura 2-3:** Desempeño hidráulico válvulas
- **Figura 2-4:** Gráfico de pérdida de carga para las válvulas
- **Figura 2-5:** Curva característica motores Predollo
- **Figura 2-6:** Diagrama PI&D lazos de funcionamiento.
- **Figura 2-7:** Diagrama PI&D lazos de seguridad.
- **Figura 2-8:** Datos técnicos de solenoide de la válvula DOROT 75
- **Figura 2-9:** Conexiones de la alimentación del sistema, sensor de velocidad de viento y PLC
- **Figura 2-10:** Conexión del sensor de nivel, presostato, válvula y alarma
- **Figura 2-11:** Conexión de los sensores SR20-D2, HMP155 y T2114 al módulo de entrada
- **Figura 2-12:** Comunicación entre el HMI y PLC.
- **Figura 2-13:** Entradas y salidas del PLC.
- **Figura 2-14:** Diagrama de flujo de la programación del sistema.
- **Figura 2-15:** Pantalla HMI 1 selección riego
- **Figura 2-16:** Pantalla HMI 2 riego manual
- **Figura 2-17:** Pantalla HMI 3 riego automatizado inicio
- **Figura 2-18:** Pantalla HMI 4 confirmación del riego
- **Figura 2-19:** Pantalla HMI 5 monitoreo del riego automatizado
- **Figura 2-20:** Pantalla HMI 6 monitoreo y mantenimiento de los componentes
- **Figura 3-1:** Carta Gantt de proyecto
- **Figura 3-2:** Gráfico VAN
- **Figura 3-3:** Gráfico TIR

## ÍNDICE DE TABLAS

- **Tabla 1-1:** Componentes del riego californiano.
- **Tabla 2-1:** Comparación de las soluciones.
- **Tabla 2-1:** Valores iniciales de la plantación.
- **Tabla 2-2:** Eficiencia de riego.
- **Tabla 2-3:** Cálculo de eficiencia de uniformidad en plantación de frutillas.
- **Tabla 2-4:** Datos iniciales de la plantación.
- **Tabla 2-5:** Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.
- **Tabla 2-6:** Diámetros para las líneas de riego.
- **Tabla 2-7:** Cálculo de diámetros para las matrices.
- **Tabla 2-8:** Pérdida de carga para tuberías de PVC y polietileno.
- **Tabla 2-9:** Pérdida de carga en matrices.
- **Tabla 2-10:** Especificaciones de las válvulas para submatrices.
- **Tabla 2-11:** Pérdida de carga en las válvulas.
- **Tabla 2-12:** Características de la bomba HFm6A.
- **Tabla 2-13:** Lazos de seguridad del sistema.
- **Tabla 2-14:** Datos técnicos de los sensores de la estación meteorológica
- **Tabla 2-15:** Datos técnicos de los sensores de los lazos de seguridad
- **Tabla 2-16:** Caída de tensión en las líneas de la válvula
- **Tabla 2-17:** Instrumentos conectados al PLC.
- **Tabla 2-18:** PLC y módulo de expansión.
- **Tabla 2-19:** Datos técnicos del PLC S7-1200 DC/DC/RELAY.
- **Tabla 2-20:** Datos técnicos del módulo de expansión y HMI.
- **Tabla 2-21:** Datos técnicos de la fuente de alimentación.
- **Tabla 2-22:** Datos técnicos del partidor suave HT188.
- **Tabla 2-23:** Protecciones del sistema.

- **Tabla 3-1:** Costos de materiales
- **Tabla 3-2:** Costos de implementación
- **Tabla 3-3:** Comparación de riegos en producción de duraznos
- **Tabla 3-4:** Flujo de caja del proyecto beneficio 22%
- **Tabla 3-5:** Flujo de caja del proyecto beneficio 16%
- **Tabla 3-6:** Flujo de caja del proyecto beneficio 9%
- **Tabla 3-7:** Tabla del VAN, TIR y aumento en la producción

## SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

### **A. SIGLAS:**

SIGLA	DESCRIPCIÓN
PLC	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE
HMI	INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA
RTU	UNIDAD TERMINAL REMOTA
LORA	LONG RANGE
DREAM	MONITOREO AMBIENTAL REMOTO DISTRIBUIDO
PEAD	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD
PVC	POLICLORURO DE VINILO
PI&D	DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN
ON-OFF	ESTRATEGIA DE CONTROL
FAO	ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA
INIA	INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ISA	SOCIEDAD INTERNACIONAL DE AUTOMATIZACIÓN

VDF	VARIADOR DE FRECUENCIA
DC	CORRIENTE DIRECTA
AI	ENTRADA ANALÓGICA.
ABB	ASEA BROWN BOVERI
AWG	CALIBRE DE ALAMBRE AMERICANO
ODEPA	OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS
SEC	SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES

## **B. SIMBOLOGÍA:**

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
EA	EFICIENCIA AGRONÓMICA
EAP	EFICIENCIA DE APLICACIÓN
EAL	EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO
EU	EFICIENCIA DE UNIFORMIDAD
HA	VOLUMEN DE AGUA APLICADA DURANTE EL RIEGO (l)
HP	VOLUMEN DE AGUA NO RETENIDA EN ZONA DE RAÍCES (l)
LR	LÁMINA DE RIEGO REQUERIDA (mm)
ETO	EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (mm/DÍA)
KC	COEFICIENTE DEL CULTIVO
EF	EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO
$\Delta$	PENDIENTE DE LA CURVA DE PRESIÓN DE VAPOR (kPa/°C)
RN	RADIACIÓN NETA EN SUPERFICIE DEL CULTIVO (MJ/m <sup>2</sup> ·DÍA)
G	FLUJO DE CALOR EN EL SUELO (MJ/m <sup>2</sup> ·DÍA)
$\Gamma$	CONSTANTE PSICROMÉTRICA (kPa/°C)

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
T	TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE (°C)
$U_2$	VELOCIDAD DEL VIENTO A 2 DE ALTURA (m/s)
$E_s$	PRESIÓN DE VAPOR DE SATURACIÓN (kPa)
$E_a$	PRESIÓN DE VAPOR ACTUAL (kPa)
Q	CAUDAL ( $m^3/s$ , $m^3/h$ o l/s SEGÚN CONTEXTO)
a	ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL O ÁREA DE CULTIVO ( $m^2$ )
v	VELOCIDAD DEL FLUJO (m/s)
R	RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL CABLE ( $\Omega/km$ )
I	CORRIENTE ELÉCTRICA (A)
L	LONGITUD DEL CABLE (m)
T_RIEGO	TIEMPO DE RIEGO (h)
V_REQUERIDO	VOLUMEN DE AGUA REQUERIDO POR PLANTA (l)
°C	GRADOS CELSIUS
mm	MILÍMETROS
$m^2$	METROS CUADRADOS
$m^3$	METROS CÚBICOS
l	LITROS
h	HORAS
KPa	KILOPASCALES
m/s	METROS POR SEGUNDO
V	VOLTIOS
A	AMPERIOS
$\Omega$	OHM
BAR	UNIDAD DE PRESIÓN

Hz	HERCIOS
hp	CABALLOS DE FUERZA
kW	KILOWATT

## **INTRODUCCIÓN**

El acceso eficiente y sostenible al agua es un desafío fundamental en la agricultura moderna, especialmente en zonas donde la disponibilidad de este recurso es limitada. En este contexto, los sistemas de riego automatizado han surgido como una solución eficaz para optimizar el uso del agua, mejorar la productividad agrícola y reducir las pérdidas por desperdicio. Implementar tecnologías automatizadas permite controlar con precisión la cantidad de agua aplicada, adaptándose a las necesidades específicas de los cultivos y a las condiciones ambientales.

En el fundo agrícola El Carmen de Naicura, dedicado a la producción agrícola, se utiliza actualmente un sistema de riego californiano que presenta desgaste en sus componentes y una distribución desigual del agua, lo que genera un uso ineficiente del recurso hídrico y afecta la calidad y homogeneidad de la producción. Ante esta problemática, es necesario implementar una solución que permita automatizar el proceso de riego, garantizando una distribución equitativa del agua y optimizando su uso de manera eficiente.

Esta tesis tiene como objetivo diseñar un sistema de riego automatizado por goteo controlado por un PLC, el cual se ajusta a las necesidades del cultivo mediante datos proporcionados por sensores meteorológicos. El proyecto abarca tanto el desarrollo del hardware, que incluye la selección de tuberías, válvulas, bomba y sensores, como el diseño del software en el entorno TIA Portal, permitiendo un control preciso del sistema a través de una interfaz HMI.

A lo largo del trabajo se analiza la problemática actual del riego, se comparan diferentes alternativas tecnológicas y se justifica la elección del sistema basado en PLC por su flexibilidad, precisión y capacidad de automatización. La implementación de este sistema no solo mejora la eficiencia hídrica, sino que también optimiza los tiempos operativos, minimiza el desperdicio de agua y facilita el monitoreo del proceso de riego, contribuyendo a una gestión agrícola más sostenible y eficiente.

**CAPÍTULO 1: PROBLEMA Y OBJETIVOS DEL FUNDO**

## **Historia de la empresa**

En 1990, la familia Guzmán Rencoret, representada entonces por José Guzmán Dumas, adquirió el fundo El Carmen de Naicura, iniciando una etapa de producción agrícola centrada en cultivos como maíz y alfalfa para la alimentación de ganado. Con el tiempo, el enfoque de producción evolucionó hacia el ámbito frutícola, con la misión de producir fruta de alta calidad. Este cambio fue acompañado de la implementación de protocolos y estándares internacionales, lo que ha permitido que la producción cumpla con los requisitos necesarios para exportación y se mantenga competitiva en el mercado global.

### **1 ANTECEDENTES GENERALES**

La plantación ubicada en el fundo El Carmen de Naicura, actualmente utiliza un sistema de riego californiano. El cual consiste en que el agua fluye por gravedad a través de los surcos, infiltrándose en el suelo y alcanzando las raíces de las plantas. Sin embargo, las campanas de distribución del sistema se encuentran desgastadas, lo que impide regular adecuadamente el caudal de agua que sale hacia los surcos.

Este método es simple y económico, pero puede ser menos eficiente que otros sistemas, ya que parte del agua se pierde por evaporación o infiltración profunda. Esta ineficiencia se ve incrementada debido al desgaste de los materiales que lo componen.

Por parte del riego el agua fluye del río Cachapoal, hacia un tranque ubicado en el fundo, de este pasa a un decantador que se encarga de filtrar el agua de la arena y residuos.

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

La plantación presenta varios problemas relacionados con el riego. El agua no se distribuye de manera eficiente, esto se debe a que el riego está en malas condiciones por el paso del tiempo, el sistema de riego californiano está desactualizado, lo que afecta directamente a la plantación de duraznos

##### **1.1.1 Importancia de resolverlo**

- **Escasez de agua:** En varias partes de Chile, la disponibilidad de agua es limitada, llegando a ser un 72% de la superficie del país que sufre de sequía en algún grado por este motivo,

es importante aprovechar cada gota de agua, un sistema de riego tradicional, al ser ineficiente, aumenta el desperdicio de un recurso crítico, afectando de igual manera la sostenibilidad de la plantación a largo plazo

- **Desigualdad en la distribución del agua:** En la situación actual de la plantación, hay una irregularidad en el agua que reciben todas las plantas por el riego en mal estado debido al paso del tiempo.

Al ocupar un riego californiano que funciona por gravedad, las plantas más cercanas a las campanas de distribución reciben más agua, mientras que las que están más lejos no reciben suficiente. Esto genera un crecimiento desigual del cultivo, lo que impacta negativamente en la calidad y homogeneidad de los nectarines.

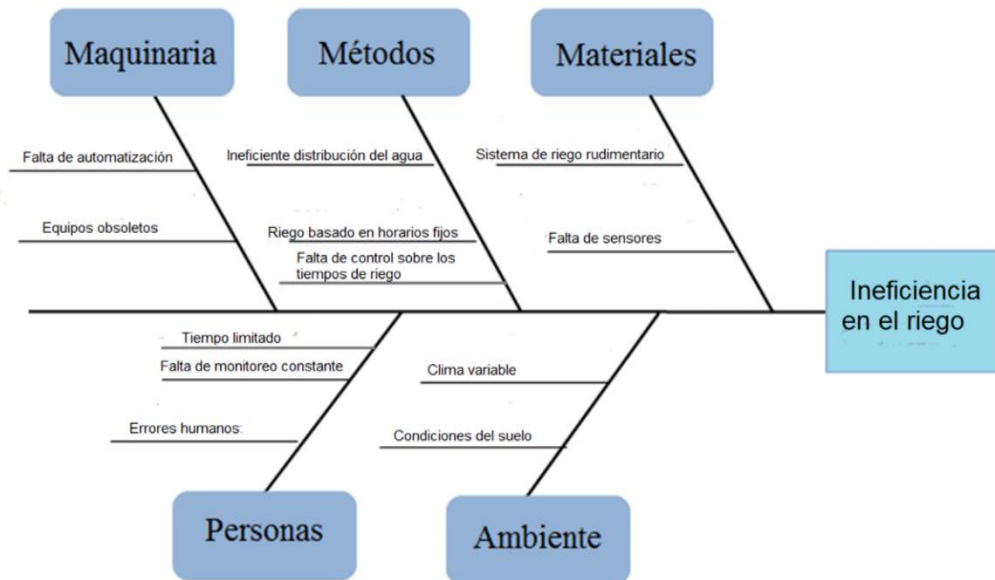
- **Falta de flexibilidad:** el sistema de riego necesita un monitoreo constante, el motivo es que las campanas de distribución regulan el agua mediante un hilo que poseen, al subirlo aumenta el caudal y al bajarlo disminuye, estos hilos no funcionan, se necesita de alguien que manipule las campanas, aplicando soluciones rudimentarias para regular el agua.

## 1.2 Definición del problema

El problema clave radica en que el riego no está en condiciones óptimas y actualizado a las condiciones del presente. Esto genera un desperdicio de agua y afecta negativamente la producción.

### **Diagrama de Causa-Efecto (Ishikawa):**

- **Problema central:** Riego en malas condiciones y desactualizado.
- **Consecuencias:** Disminución de la producción, uso excesivo de agua.
- **Causas:** Los componentes están en mal estado y desactualizados.



Fuente: elaboración propia basadas en la problemática de la plantación

Figura 1-1 Diagrama de causa y efecto

### 1.2.1 Requerimiento

Antes de iniciar el desarrollo del proyecto, es fundamental comprender ciertos conceptos vinculados para realizar la solución del problema:

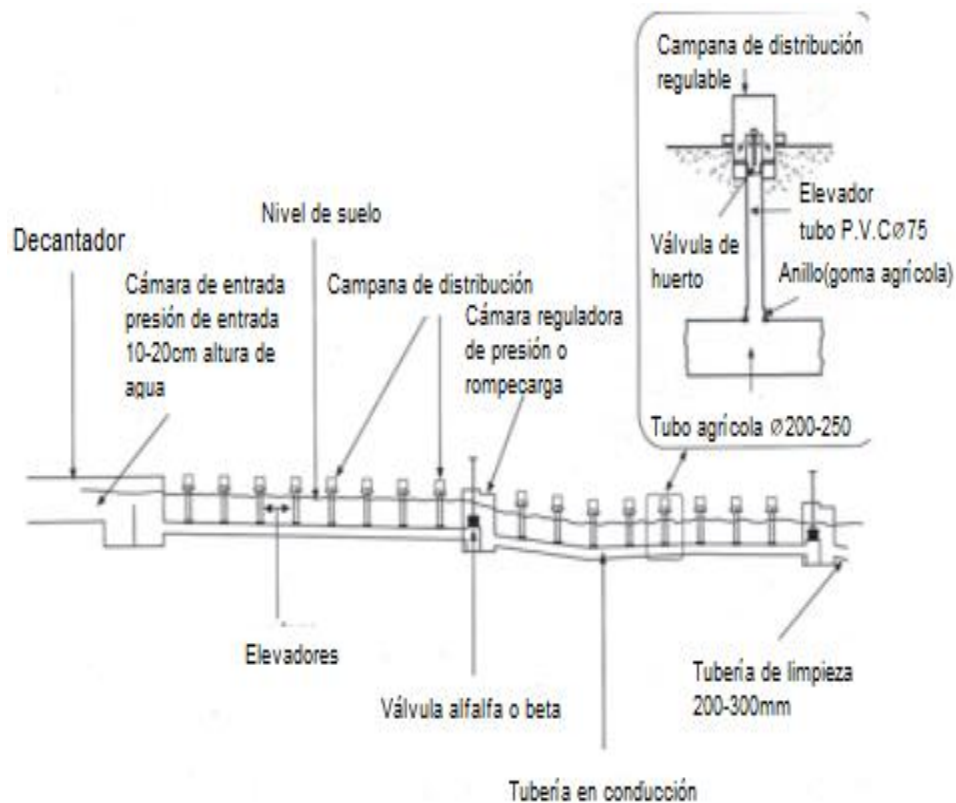
### 1.2.2 Sistema de riego

Un sistema de riego es un conjunto de técnicas y herramientas utilizadas para suministrar agua a las plantas de manera controlada y eficiente. Estos sistemas son esenciales en la agricultura para garantizar que los cultivos reciban la cantidad adecuada de agua, optimizando el uso de este recurso vital y asegurando una producción de alta calidad. A continuación, se presenta una descripción de los sistemas de riego.

### 1.2.3 Riego manual

En este método, los agricultores realizan el riego por sí mismos, encendiendo y apagando manualmente los sistemas de bombeo. Aunque tiene un coste inicial bajo, requiere un control constante, en este cabe el riego actual de la plantación, por lo que se explicara a continuación.

El sistema de riego californiano se caracteriza por la distribución del agua a través de una serie de tuberías y válvulas que permiten un control del flujo y la presión del agua. A continuación, se describen los componentes principales y su funcionamiento:



Fuente: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/192a88fc-aa0a-4fe2-a365-52d382b2dde6/content>

Figura 1-2 Riego californiano

Tabla 1-1 Componentes del riego californiano

Componente	Descripción
Decantador	El agua ingresa al sistema a través de un decantador que elimina impurezas como arena y residuos.
Cámara de entrada	El agua pasa a una cámara de entrada donde se regula la presión de entrada, manteniendo una altura sobre el agua de 10-20 cm.
Elevadores	El agua se distribuye a través de elevadores que la llevan a las campanas de distribución.
Campanas de distribución	Estas campanas distribuyen el agua a lo largo del campo.
Cámara reguladora de presión	Esta cámara regula la presión del agua para evitar daños en el sistema.
Válvula Alfalfa o Beta	Controla el flujo de agua hacia las tuberías de conducción
Tubería de limpieza	Permite la limpieza del sistema y tiene un diámetro de 200-300 mm

Fuente: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/192a88fc-aa0a-4fe2-a365-52d382b2dde6/content>

#### 1.2.4 Riego automatizado

Es un conjunto de dispositivos y tecnologías diseñados para gestionar el suministro de agua a cultivos de manera eficiente, precisa y controlada, sin necesidad de intervención manual constante. Este tipo de sistema utiliza sensores, controladores y actuadores que, integrados con algoritmos de control y monitoreo, regulan parámetros clave como la cantidad de agua, la frecuencia de riego y la duración, en función de las necesidades específicas del suelo, el clima y el tipo de cultivo. Los medios de transmisión de agua más utilizados en la automatización de riego son por aspersión, pivote y goteo por su eficiencia al transmitir el agua y su facilidad para manipular las variables a controlar.

### 1.2.5 Lámina de riego

La lámina de riego es la cantidad de agua que se aplica a una superficie específica del suelo en un período determinado. Se mide en milímetros (mm) y representa la profundidad de agua que se distribuye uniformemente sobre el área regada. Un milímetro de agua sobre un metro cuadrado (1 m<sup>2</sup>) equivale a 1 litro de agua, ya que 1 milímetro (mm) de profundidad en una superficie de 1 metro cuadrado (m<sup>2</sup>) representa un volumen de 1 litro (l). Por lo tanto, aplicar una lámina de riego de 10 mm sobre un área de 1 m<sup>2</sup> es equivalente a aplicar 10 litros de agua sobre esa misma área en un período determinado de tiempo.

Los cultivos tienen diferentes necesidades hídricas. Por ejemplo, los cultivos con raíces profundas, como los árboles frutales, requieren más agua que los cultivos de raíces superficiales, como las verduras. Según la información proporcionada por un agrónomo, la lámina de riego necesaria para los nectarines del fundo es de 10 mm/24 horas.

Fórmula de la lámina de riego:

$$Lr = \frac{(ET_o * Kc)}{Ef}$$

Donde:

- Lr: lámina de riego requerida en(mm)
- Eto: evapotranspiración de referencia (mm/día), calculada con la ecuación de Penman-Monteith.
- Kc = Coeficiente del cultivo, el cual depende de la especie y etapa fenológica del cultivo.
- Ef = Eficiencia del sistema de riego, que considera pérdidas por escorrentía, percolación y evaporación.

### 1.2.6 Evapotranspiración (Eto)

La evapotranspiración es un proceso clave en el ciclo del agua, que combina la evaporación del agua del suelo y la transpiración de las plantas. La fórmula de Penman-Monteith es una de las más precisas y ampliamente utilizadas para calcular la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), que es la cantidad de agua que se evapora y transpira de una superficie de referencia

Fórmula:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_a - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Donde:

- **ET<sub>0</sub>**: Evapotranspiración de referencia (mm/día)
- **Δ**: Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)
- **R<sub>n</sub>**: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m<sup>2</sup>/día)
- **G**: Flujo de calor en el suelo (MJ/m<sup>2</sup>/día)
- **γ**: Constante psicrométrica (kPa/°C)
- **T**: Temperatura media del aire (°C)
- **u<sub>2</sub>**: Velocidad del viento a 2 metros de altura (m/s)
- **e<sub>s</sub>**: Presión de vapor de saturación (kPa)
- **e<sub>a</sub>**: Presión de vapor actual (kPa)

### **1.2.7 Tipos de control**

Existen diversos tipos de control automático. En los siguientes puntos se explicarán los referenciados en este trabajo de título.

#### **1.2.7.1 Control ON-OFF**

Consiste en un sistema que alterna entre dos estados posibles: encendido (ON) y apagado (OFF), según la comparación entre la variable controlada (por ejemplo, temperatura, nivel de agua o presión) y un valor de referencia o setpoint.

#### **1.2.7.2 Control feedforward**

El control feedforward (o avance de perturbaciones) es una estrategia en la que se miden las variables que perturban el proceso y con un modelo matemático se predice su efecto sobre la variable controlada, se aplica inmediatamente una acción correctiva antes de que la perturbación haga que el proceso se desvíe de su valor deseado, sin esperar a medir el error en la salida.

### 1.2.8 Caudal

El caudal es la cantidad de líquido que pasa por un punto específico en un cierto periodo de tiempo. Se mide en diferentes unidades como metros cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h) o litros por segundo (l/s).

Su fórmula está dada por la siguiente expresión:

$$Q = A * v$$

Donde:

- Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s o l/s)
- A: Área de la sección transversal del conducto (m<sup>2</sup>)
- v: Velocidad del flujo del fluido (m/s)

Esta fórmula establece que el caudal es igual al área de la sección transversal del conducto multiplicada por la velocidad del agua que fluye a través de él.

### 1.2.9 Tia Portal

El TIA Portal es una plataforma de ingeniería integrada de la marca SIEMENS, que permite a los usuarios programar y configurar una amplia gama de dispositivos de automatización, como PLCs (Controladores Lógicos Programables), HMIs (Interfaces Hombre-Máquina), sistemas de control de movimiento, y más. Su objetivo es proporcionar un entorno unificado y eficiente para el desarrollo de proyectos de automatización.

### 1.3 Objetivo general

- Diseñar un sistema de riego automatizado con monitoreo para un fundo agrícola.

Objetivos específicos

- Describir la situación actual
- Diseñar el sistema de control
- Realizar un análisis económico del proyecto

#### **1.4 Soluciones a la problemática**

En este punto se proponen soluciones orientadas a optimizar el sistema de riego, enfocándose en mejorar la eficiencia hídrica y operativa. Las propuestas consideran el uso de tecnologías de automatización, monitoreo climático y estrategias de manejo adaptadas a las condiciones específicas del terreno.

##### **1.4.1 Implementar un sistema de riego por goteo utilizando un DREAM**

DREAM es un controlador de riego que reduce el uso de agua necesario, entregando el agua directamente a las raíces. Con electroválvulas comunicadas por antenas RTU y una estación meteorológica para monitorear la humedad y la temperatura, seccionando el área de las plantaciones y activando las válvulas remotamente para tener un mayor control del riego. Esta tecnología permite la gestión y monitoreo remoto del riego en tiempo real.

##### **1.4.2 Implementar un sistema de riego por goteo utilizando un Arduino con retroalimentación**

Esta es una técnica que reduce el uso de agua necesario, entregando el líquido directamente a las raíces. Con sensores que monitorean la humedad del suelo y electroválvulas comunicadas por módulos LoRa (LongRanger) para tener un mayor control del riego.

##### **1.4.3 Implementar un sistema de riego por goteo utilizando un PLC**

Esta solución plantea definir la frecuencia de riego por medio de la fórmula de evapotranspiración, para determinar la lámina de riego, esto se hace por medio de los sensores que capturan las variables necesarias para calcular la lámina, dándole retroalimentación al PLC para activar el tiempo en que estará encendido la bomba y válvulas, además de esto al tener un PLC como controlador, da una mayor versatilidad para cubrir las necesidades del sistema, ejemplo la prevención de fallas.

### 1.5 Comparación de las soluciones propuestas

Tabla 1-2 Comparación de las soluciones

<b>Criterios</b>	<b>Riego DREAM</b>	<b>Riego Arduino</b>	<b>Riego PLC</b>
<b>Costo de Implementación</b>	Alto	Medio	Alto
<b>Mantenimiento</b>	Medio	Alto	Medio
<b>Robustez</b>	Alto	Bajo	Alto
<b>Versatilidad</b>	Bajo	Alto	Alto
<b>Puntuación final</b>	9	9	11
<b>índice de clasificación</b>	Bajo 1	Medio 2	Alto 3

Fuente: elaboración propia basada en la comparación de las soluciones

### 1.6 Solución escogida

Tal como se observa en la tabla comparativa, el sistema basado en PLC obtiene la puntuación más alta (11) frente a DREAM y Arduino (ambos con 9), destacando especialmente por su robustez y versatilidad. Aunque la implementación con DREAM presenta una alta capacidad de monitoreo y control en tiempo real, su costo elevado y baja versatilidad lo convierten en una opción menos flexible para adaptarse a los cambios del sistema. Por otro lado, el sistema basado en Arduino, si bien es más económico y versátil, muestra una menor robustez y un mantenimiento más exigente, lo que puede impactar negativamente en su rendimiento a largo plazo.

El uso de un PLC permite además incorporar medidas preventivas y de seguridad, como la detección de fallas y la automatización basada en fórmulas agronómicas como la evapotranspiración.

**CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN**

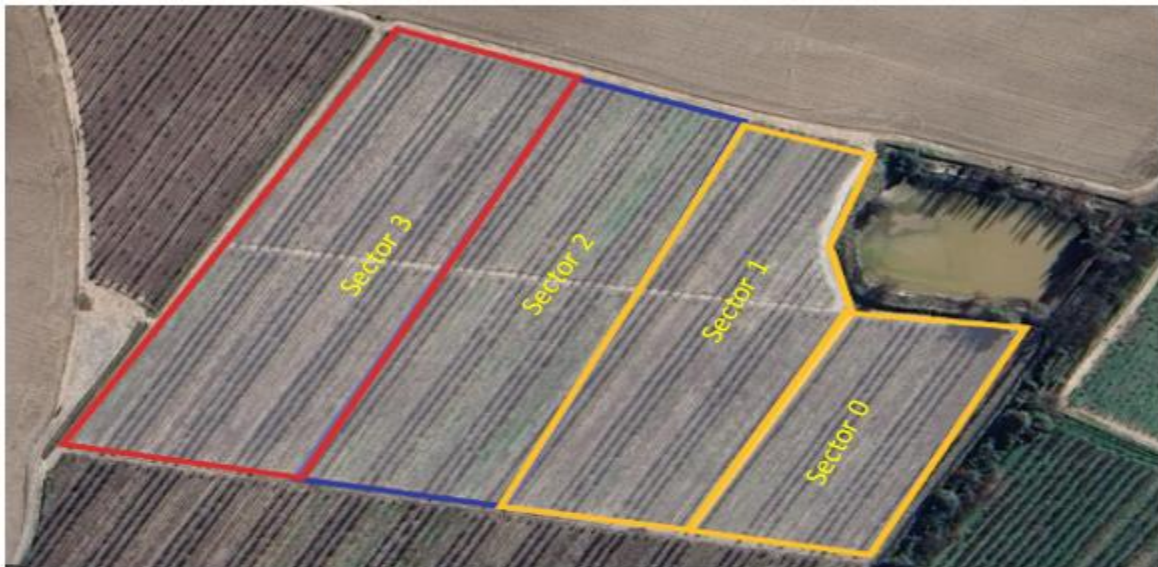
## 2 INTRODUCCIÓN AL DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Para desarrollar la solución y cumplir con los objetivos de la presente tesis, se especificará los datos de la plantación y se seccionará el terreno con el propósito de optimizar la distribución de agua y la parametrización de los componentes.

Tabla 2-1 Valores iniciales de la plantación

Datos iniciales	
Superficie total	6,17Ha
Sector 0	0,9Ha
Sector 1	1,52Ha
Sector 2	1,72Ha
Sector 3	2,03Ha
Marco de la plantación	4,0x2,0m

fuelle: elaboración propia basada en los parámetros de la plantación



fuelle: [https://earth.google.com/web/@-34.29614624,-](https://earth.google.com/web/@-34.29614624,-70.90057023,350.02432996a,1000d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASgcl7cCDDhAA)

[70.90057023,350.02432996a,1000d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASgcl7cCDDhAA](https://earth.google.com/web/@-34.29614624,-70.90057023,350.02432996a,1000d,30y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASgcl7cCDDhAA)

Figura 2-1 Sectores de la plantación

Con los sectores ya distribuidos, se justifica porque el riego por goteo es adecuado para contribuir al objetivo de mejorar la ineficiencia hídrica del sistema.

## **2.1 Riego por goteo**

Es un sistema de irrigación localizado que proporciona agua directamente a las raíces de las plantas de manera lenta y uniforme, mediante emisores o goteros colocados cerca de las plantas. Este método es altamente eficiente, ya que minimiza la pérdida de agua por evaporación, escurrimiento y permite un control preciso de la cantidad de agua aplicada, adaptándose a las necesidades específicas de cada planta.

Este método tiene gran potencia al aumentar la eficiencia hídrica, esto se puede ver corroborado en el siguiente análisis:

### **2.1.1 Incremento en la eficiencia del agua empleada**

La eficiencia en el uso del agua de riego a La eficiencia en el uso del agua de riego a nivel intrapredial, se integra a partir de la determinación de tres subcomponentes, que incluye las pérdidas de este recurso desde su aplicación, uniformidad y almacenamiento en el suelo esto se puede ver en la siguiente fórmula:

$$E_a = \frac{(E_{ap} + E_{al} + E_u)}{3}$$

Donde:

- Ea: eficiencia agronómica
- Eap: eficiencia de aplicación
- Eal: eficiencia de almacenamiento
- Eu: eficiencia de uniformidad

Estos conceptos se explicarán a continuación:

#### **2.1.1.1 Eficiencia de aplicación (Eap)**

Es la fracción de agua aplicada que se retiene en la zona de raíces y contribuye a satisfacer los requerimientos de evapotranspiración del cultivo.

Fórmula de eficiencia de aplicación:

$$E_{ap} = \frac{ha - hp}{3}$$

Donde:

- $E_{ap}$ : Eficiencia de aplicación
- $ha$ : Agua aplicada durante el riego (l)
- $hp$ : Agua no retenida en la zona de las raíces(l) y que, por lo tanto, no se encuentra disponible para el consumo por parte de los cultivos.

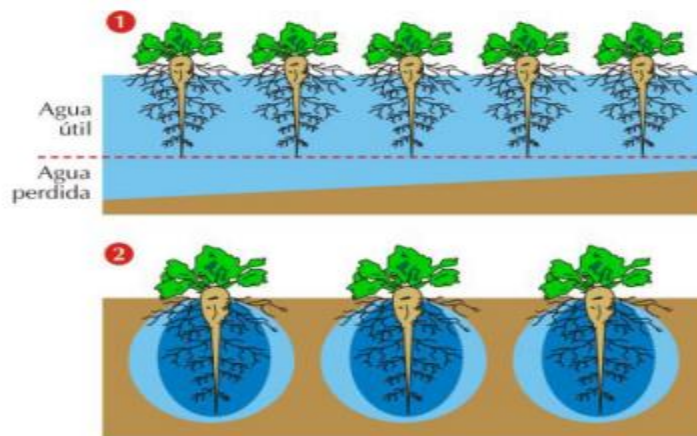
El riego californiano tiene una eficiencia de aplicación de un 65% según el Boletín INIA N°190, en cambio, el riego por goteo tiene un aproximado del 90% llegando a diferenciarse un 25%.

Tabla 2-2 Eficiencia de riego

Método de riego	Eficiencia de riego (%)
Tendido	30
Surcos	45
Californiano	65
Aspersión	75
Microjet	85
Microaspersión	85
Goteo	90

Fuente: Boletín INIA N° 190: Eficiencia de Riego en Sistemas Localizados

En la siguiente figura se puede apreciar cómo se comporta el agua en el riego por goteo (2) y por surco (1):



Fuente: Boletín INIA N ° 190: Eficiencia de Riego en Sistemas Localizados

Figura 2-2 Comparación riego por surco/riego por goteo

El riego californiano, al ser un derivado del riego por surco, se puede ver el gran desperdicio de agua que genera al inundar la plantación, generando que se desperdicie mayor agua. Por otra parte, el riego por goteo mantiene un riego uniforme alrededor de las raíces de la planta, justificando el hecho de que tenga mayor eficiencia que el riego por surco y californiano.

### **2.1.1.2 Eficiencia de almacenamiento (Ea)**

Mide la cantidad de agua que se almacena en la zona de las raíces en comparación con la cantidad de agua aplicada.

$$E_{al} = \frac{h_{al}}{h_{cc}}$$

Donde:

- Eal: Eficiencia de almacenamiento.
- hal: Agua almacenada en la zona de las raíces al finalizar el riego
- hcc: Agua requerida para que el perfil del suelo quede a capacidad de campo hasta la profundidad de raíces.

Influencia del riego por goteo: El agua se aplica en forma de gotas directamente a la base de las plantas, lo que minimiza la evaporación y la escorrentía. Esto significa que una mayor proporción del agua aplicada es utilizada por las plantas al transferir de manera controlada y directa hacia las raíces.

### **2.1.1.3 Eficiencia de uniformidad (Eu)**

La uniformidad de distribución es una medida de cuán uniformemente se distribuye el agua en toda el área de riego.

$$E_u = \left( 1 - \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - \bar{X}}{n * \bar{X}} \right| \right) * 100$$

Donde:

- Eu: Eficiencia de Uniformidad (%)
- X: Promedio de caudales registrados (l/h)
- |X<sub>1</sub> - X|: Valor absoluto de la desviación de las observaciones individuales con respecto al

promedio de caudales registrados

- n: número de observaciones.

En el siguiente ejemplo del Boletín INIA N° 190 hay, 2 sectores de riego muestreados de una plantación de frutillas, donde se registra los caudales de 10 emisores por sector y la presión promedio de los laterales de riego por sector, los resultados se presentan a continuación:

Tabla 2-3 Cálculo eficiencia uniformidad plantación de frutillas

N° gotoseros	SECTOR 3		SECTOR 8	
	Q (L/h)	$ x_i - \bar{x} $	Q (L/h)	$ x_i - \bar{x} $
1	3,0	0,08	2,4	0,68
2	3,0	0,08	2,4	0,68
3	3,3	0,22	3,6	0,52
4	3,6	0,52	3,0	0,08
5	3,0	0,08	2,1	0,98
6	3,0	0,08	3,6	0,52
7	1,8	1,28	2,1	0,98
8	3,8	0,70	4,8	1,72
9	3,0	0,08	2,1	0,98
10	3,3	0,22	3,6	0,52
<b>X</b>	<b>3,1</b>		<b>2,97</b>	
$\sum_{i=1}^n  x_i - \bar{x} $	3,3		7,7	
<b><math>E_u</math> (%)</b>	<b>89</b>		<b>74</b>	
<b>Presión (bar)</b>	<b>0,78</b>		<b>0,76</b>	
<b>Q nominal</b>		<b>4 (L/h)</b>		

Fuente: Boletín INIA N° 190: Eficiencia de Riego en Sistemas Localizados

Se puede ver en la tabla que para el sector 3, hay una eficiencia de uniformidad del 89% y para el sector 8 del 74% logrando un promedio de las 2 de un 82% que se considera como una buena eficiencia de uniformidad con base en el estudio.

Tomando en cuenta estos 3 criterios, el riego por goteo es el que tiene mayor eficiencia.

## 2.2 Caudal de la plantación

Para calcular el caudal de la plantación en lugar de considerar una sección transversal del conducto como en la fórmula de caudal, se toma en cuenta la superficie del área a regar. La “lámina de riego” representa la profundidad de agua que debe aplicarse uniformemente sobre esta área. En vez de la velocidad del flujo, se utiliza el tiempo de riego, es decir, el período necesario para aplicar el agua requerida. Para mantener la coherencia en las unidades, la lámina de riego se convierte a metros, y la superficie del área se convierte a metros cuadrados si está en hectáreas.

La fórmula queda expresada de la siguiente manera:

$$Q = \frac{\text{Lamina de riego} * \text{Superficie del sector}}{\text{tiempo de riego}}$$

Donde:

Q: caudal(m<sup>3</sup>/h)

Lámina de riego: conversión a metros (10mm=0.01m)

Superficie del sector: área de los sectores en m<sup>2</sup> (1ha=10000 m<sup>2</sup>)

Tiempo de riego: tiempo en el que se riega la plantación en horas

Tabla 2-4 Datos iniciales

Datos iniciales	
Superficie total	6,17Ha
Sector 0	0,9Ha
Sector 1	1,52Ha
Sector 2	1,72Ha
Sector 3	2,03Ha
Marco de la plantación	4.0x2.0m
Lámina de riego	10mm/24h

Fuente: tabla elaborada con base en los parámetros de la plantación

Sector 0: (0,9Ha)

$$Q1 = \frac{0.01m * 9000m^2}{24h} = 3,75_{m^3/h}$$

Sector 1: (1,52Ha)

$$Q2 = \frac{0.01m * 15200m^2}{24h} = 6,33_{m^3/h}$$

Sector 2: (1,72Ha)

$$Q3 = \frac{0.01m * 17200m^2}{24h} = 7,17_{m^3/h}$$

Sector 3: (2,03Ha)

$$Q3 = \frac{0.01m * 20300m^2}{24h} = 8,46_{m^3/h}$$

### **2.2.1 Especificaciones de la línea de riego**

Las líneas de riego serán 2 por hilera, el material seleccionado es de polietileno de alta densidad (PEAD), esta se escogió por sus características que se adecuan a las exigencias del terreno y sus parámetros constructivos para evitar taponamientos.

Línea de riego: Línea de polietileno 16,12mm con goteros integrados (Quillay 16,10 2,0l/h a 0,40m)

### **2.2.2 Características líneas de riego**

- Resistencia a la radiación UV.
- Amplio filtro de entrada, altamente resistente a potenciales taponamientos.
- Laberinto corto y ancho con flujo turbulento, que previene la sedimentación de partículas.
- Flexibilidad del material.

### **2.2.3 Goteros**

Para determinar si los goteros de 2(l/h) son adecuados para cumplir con la lámina de riego de 10 mm/24 h, es necesario comprobar si el caudal de 2(l/h) con separación de 0,4m cubre la lámina de riego.

Marco de plantación:

- Cada planta tiene asignado un espacio de 4 m x 2 m = 8 m<sup>2</sup>.

Área cubierta por cada gotero:

- Los goteros tienen una separación de 0,4 m a lo largo de las líneas de riego.
- La distancia entre líneas de riego es de 4 m (marco transversal).
- El área cubierta por cada gotero es:

$$A_{\text{goteros}} = 0,40\text{m} \times 4,0\text{m} = 1,60\text{m}^2$$

Número de goteros necesarios por planta:

El marco de plantación total es de 8 m<sup>2</sup>. Para saber cuántos goteros son necesarios en cada planta, se divide el área del marco entre el área cubierta por cada gotero:

$$\text{número de goteros por planta} * 2 = \frac{\text{Area del marco}}{\text{area cubierta por cada gotero}}$$

Donde:

- Área del marco en: m<sup>2</sup>
- Área cubierta por cada gotero en: m<sup>2</sup>
- Goteros por planta.

$$n^{\circ} \text{ de goteros} * 2 = \frac{8\text{m}^2}{1,6\text{m}^2} = 2 * 5 \text{ goteros} = 10 \text{ goteros}$$

Caudal de goteros por planta:

$$Q_{\text{planta}} = \text{numero de goteros} * \text{caudal por gotero}$$

Donde:

- Número de goteros
- Caudal por gotero en: l/h

$$Q_{\text{planta}} = 2\text{l/h} * 10 = 20 \text{ l/h} * 24\text{h} = 480\text{l/planta}$$

En 24 horas el volumen total aplicado por planta es de 480(l/planta)

Comparación con la lámina de riego:

La lámina de riego requerida es 10 mm/24 h, lo que equivale a 10 l/m<sup>2</sup> en 24 horas. Para una planta con un área de 8 m<sup>2</sup>, la cantidad de agua necesaria es:

$$V_{\text{requerido} \times \text{planta}} = \text{lamina de riego} \left( \frac{\text{l}}{\text{m}^2} \right) * \text{area del marco}(\text{m}^2)$$

$$V_{\text{requerido} \times \text{planta}} = 10 \left( \frac{\text{l}}{\text{m}^2} \right) * 8(\text{m}^2) = 80\text{l/planta}$$

dado que los 10 goteros dan un volumen por planta de 240(l/planta) y se necesita 80(l/planta), esto indica que al haber 10 goteros el tiempo que se demora en cumplir con el volumen de la lámina de riego es disminuido, esto se ve reflejado por la siguiente expresión:

$$t_{riego} = \frac{v_{requerido \times planta}}{Q_{planta}}$$

Donde:

- t riego: Es el tiempo de riego en(h)
- Q planta: caudal en (l/h)
- V requerido x planta: Volumen requerido por planta en (l)

$$t_{riego} = \frac{80l}{20l/h} = 4 \text{ horas}$$

En el fundo el Carmen de Naicura los riegos acostumbran a durar 5 horas para los nectarines por lo que, si son 2 líneas de riego, los goteros tienen una separación de 0,4m y un caudal de 2l/h cumpliría con regar en 5 horas.

#### **2.2.4 Cálculo del caudal para las líneas de riego**

Para saber el cálculo del caudal por línea para definir el diámetro de la línea de riego es necesario conocer cuántos goteros hay por línea

Por lo que se calcularan basándonos en la siguiente expresión:

$$\text{número de goteros} = \frac{\text{longitud de la línea(m)}}{\text{separación entre goteros(m)}}$$

- Longitud de la línea: en metros(m).
- Separación entre goteros: en metros(m).
- Número de goteros: se redondea el valor.

Ejemplo Sector 0:

$$\frac{134,14m}{0,4m} \approx 335 \text{ goteros}$$

Caudal de las líneas de riego:

$$\text{líneas de riego caudal}(m^3/h) = \frac{\text{número de goteros} \times \text{caudal goteros}(l/h)}{1000}$$

Ejemplo sector 0:

$$335 * 2 = \frac{670l/h}{1000} = 0,067m^3/h$$

### 2.2.5 Cálculo del diámetro de la línea de riego

El diámetro fue calculado usando:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

- Q: Caudal total en m<sup>3</sup>/s.
- v: Velocidad del agua (m/s).
- d: diámetro en milímetros(mm).

La velocidad se asume como 1,2m a base de la siguiente tabla:

Tabla 2-5 Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías

**Tabla 1. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.**

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Fuente: <https://www.grm.com.es/es/project/como-determinar-el-diametro-nominal-requerido/>

Ejemplo sector 0:

$$0,067m^3/h \rightarrow \left(\frac{0,067}{3600}\right) = 0,00001861m^3/s$$

Diámetro:

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,00001861m^3/s}{\pi * 1,2m/s}} = 0,004444m * 1000 = 4,44mm$$

El diámetro mínimo es de 4,44mm

En la siguiente tabla se muestran el diámetro de las líneas de riego para todos los sectores.

Tabla 2-6 Diámetros para las líneas de riego

Sector	Longitud de línea(m)	Caudal por línea(m <sup>3</sup> /h)	Diámetro(mm)
Sector 0	134,14	0,067	4,44
Sector 1 tramo 1	132,01	0,066	4,41
Sector 1 tramo 2	91,76	0,046	3,68
Sector 2 tramo 1	128,49	0,064	4,34
Sector 2 tramo 2	106,09	0,053	3,95
Sector 3 tramo 1	120,12	0,060	4,21
Sector 3 tramo 2	122,03	0,061	4,24

Fuente: elaboración propia cálculo según la fórmula de continuidad para el diámetro hidráulico

### 2.2.6 Presión necesaria para los sectores de las líneas de riego

Para saber la presión, se especificará a base de la presión máxima que trabajan las líneas de riego, esta se multiplicara por 2(Kg/cm<sup>2</sup>)

### 2.2.7 Matrices

Las matrices están compuestas por una matriz general y submatrices, para cada sector. La selección de los diámetros de las tuberías se realizó considerando un volumen de 480 l/p en 24 horas, entregado por 10 goteros de 2 l/h este es el máximo volumen entregado por los goteros hacia una planta en 24 horas.

Como se necesita conocer las plantas por sector se calculará de la siguiente manera

$$\text{número de plantas} = \frac{\text{área del sector}(m^2)}{\text{área por planta}(m^2)}$$

Para el valor del caudal, se calculará multiplicando el número de plantas por el volumen en m<sup>3</sup>/h, dividido por el tiempo(24h)

$$Q_{sector} = \frac{\text{numero de plantas} * 0,48m^3}{24h}$$

Donde:

- Q sector: es el caudal por sector en m<sup>3</sup>/h
- Número de plantas: cantidad total de plantas por sector.
- Volumen en m<sup>3</sup>/h(480l/24h=0,48m<sup>3</sup>/24h).

### 2.2.8 Cálculo del diámetro de las matrices

El diámetro de las tuberías se especificará con la misma fórmula que se especificó la línea de riego

Tabla 2-7 Cálculo de diámetros para las matrices

Matrices	Caudal(m <sup>3</sup> /h)	Diámetro calculado(mm)	Diámetros comerciales(mm)
Matriz 0	22,50	49,05	50
Matriz 1	38	63	63
Matriz 2	43	67,25	75
Matriz 3	50,76	70	75
Matriz general	50,76	70	75

Fuente: elaboración propia cálculo según la fórmula de continuidad para el diámetro hidráulico

## 2.2.9 Pérdida de carga de las matrices

La pérdida de carga de las matrices se especificará sobre la base de la siguiente tabla.

Tabla 2-8 Pérdida de carga para tuberías de PVC y polietileno

Por rozamiento del agua en las tuberías, expresada en metros por cada 100 m de tubería recta.

Q(l/h)	Diámetro interior de la tubería en mm.														
	14	19	25	32	38	50	63	75	89	100	125	150			
500	8,9	2,1	0,3												
800	20,2	4,7	1,3	0,4											
1000	29,8	7	1,9	0,6											
1500		14,2	3,9	1,2	0,5										
2000			23,5	6,4	2	0,9									
2500				9,4	2,9	1,3	0,4								
3000				13	4	1,8	0,5	0,2							
3500				17	5,3	2,3	0,6	0,2							
4000				21,5	6,6	2,9	0,8	0,3	0,1						
4500					8,2	3,6	1	0,3	0,1						
5000					9,8	4,3	1,2	0,4	0,2						
5500					11,6	5,1	1,4	0,5	0,2						
6000					13,5	6	1,6	0,5	0,2						
6500					15,5	6,9	1,9	0,6	0,3						
7000					17,7	7,8	2,1	0,7	0,3						
8000					22,4	9,9	2,7	0,9	0,4	0,2					
9000					12,1	3,3	1,1	0,5	0,2						
10000					14,6	4	1,3	0,6	0,3	0,1					
12000					20,1	5,5	1,8	0,8	0,4	0,2					
15000					29,7	8,1	2,7	1,2	0,5	0,3					
18000						11,1	3,7	1,6	0,7	0,4	0,1				
20000						13,3	4,5	1,9	0,9	0,5	0,2				
25000						19,7	6,9	2,9	1,3	0,7	0,3				
30000							9	4	1,8	1	0,3	0,1			
35000							11,8	5,2	2,3	1,3	0,5	0,2			
40000							15	6,5	2,9	1,7	0,6	0,2			
45000							18,4	8	3,6	2	0,7	0,3			
50000								9,7	4,3	2,5	0,9	0,4			
60000								13,3	5,9	3,4	1,2	0,5			
70000									7,7	4,4	1,5	0,6			
80000									10,4	5,6	1,9	0,8			
90000									12,9	7,3	2,4	1			
100000										8,9	2,9	1,2			
125000											4,5	1,8			
150000												6,3	2,6		
175000													8,4	3,5	
200000														10,7	4,4
250000															6,7
300000															9,3

Para otras tuberías recomendamos multiplicar los valores obtenidos en la tabla por los siguientes coeficientes:  
 Tuberías de fibrocemento: 1,2  
 Tuberías de hierro galvanizado: 1,5

Fuente: <https://es.scribd.com/document/366623088/perdidas-de-carga-en-tuberia-pcv-pe-gal-pdf>

Tabla 2-9 Pérdida de carga matrices

Matrices	Caudal(m <sup>3</sup> /h)	Diámetro calculado(mm)	Diámetros comerciales(mm)	Pérdida de carga (m.c.a)
Matriz 0	22,50	49,05	50	2,7
Matriz 1	38	63	63	2,7
Matriz 2	43	67,25	75	1,2
Matriz 3	50,76	70	75	1,6
Matriz general	50,76	70	75	1,6

Fuente: elaboración propia basada en la tabla de pérdida de carga para tuberías de pvc-polietileno

## 2.3 Válvulas

El diseño del sistema de riego incluye válvulas estratégicamente seleccionadas para controlar el flujo de agua.

### 2.3.1 Válvulas de control

Las válvulas seleccionadas para las sub matrices corresponden a Serie 75 del catálogo de Dorot, las cuales ofrecen un excelente desempeño hidráulico y facilidad de mantenimiento. Estas válvulas plásticas son ideales para sistemas de riego debido a su resistencia a la corrosión y capacidad de operar en una amplia gama de caudales. Adicionalmente, se han seleccionado modelos con solenoide para permitir su activación a distancia, mejorando la automatización del sistema.

#### 2.3.1.1 Especificaciones de las válvulas para sub matrices

Tabla 2-10 Válvulas para las sub matrices

ubicación	válvulas seleccionadas	Diámetro de las matrices(mm)	Caudal(m <sup>3</sup> /h)	Caudal máximo de las válvulas(m <sup>3</sup> /h)
Sub matriz 0	Válvula eléctrica de 2" (Serie 75)	50	22,5	40
Sub matriz 1	Válvula eléctrica de 2.5" (Serie 75)	63	38	65
Sub matriz 2	Válvula eléctrica de 2,5" (Serie 75)	75	43	65
Sub matriz 3	Válvula eléctrica de 2,5" (Serie 75)	75	50,76	65

Fuente: catálogo válvulas serie 75 Dorot

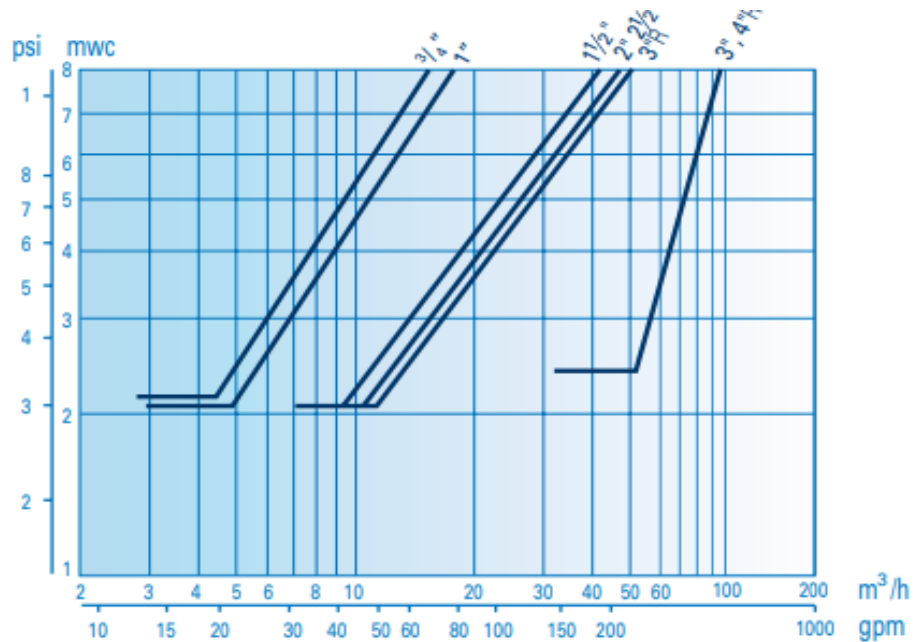
Las válvulas de la Serie 75 con solenoide operan con un sistema de actuación eléctrica de dos vías que garantiza una modulación precisa del flujo según las necesidades del sistema. Además, estas válvulas están diseñadas para minimizar la pérdida de carga, asegurando una eficiencia hidráulica óptima.

Tamaño de válvula	mm pulgada	20mm 3/4"	25mm 1"	35mm 1 1/2"	50mm 2"	65mm 2 1/2"	80mmR 3"R	80mm 3"	100mmR 4"R
Caudal máximo recomendado	m <sup>3</sup> /hr	6	10	25	40	65	90	145	145
	gpm	26	44	110	176	285	396	640	640
Caudal mínimo recomendado	m <sup>3</sup> /hr	>1							
	gpm	>5							
Factor de flujo	Kv (métrico)	7.5	15	60	71	79	90	120	120
	Cv (EE.UU.)	9	17.5	70	82	92	92	140	140
Rango de presión	mca	9 * - 80		7 * - 100			4 - 100		
	psi	13 * - 115		10 * - 150			6 - 145		

\* Diafragmas de baja presión - presión de apertura mínima: 3/4" - 1" : 6 mca / 9 psi  
 1 1/2" - 3" : 3.5 mca / 5 psi

Fuente: catálogo válvulas serie 75 Dorot

Figura 2-3 Desempeño hidráulico válvulas



Fuente: Fuente: catálogo válvulas serie 75 Dorot

Figura 2-4: Gráfico de pérdida de cagar para las válvulas

### 2.3.2 Tabla de pérdida de carga en las válvulas

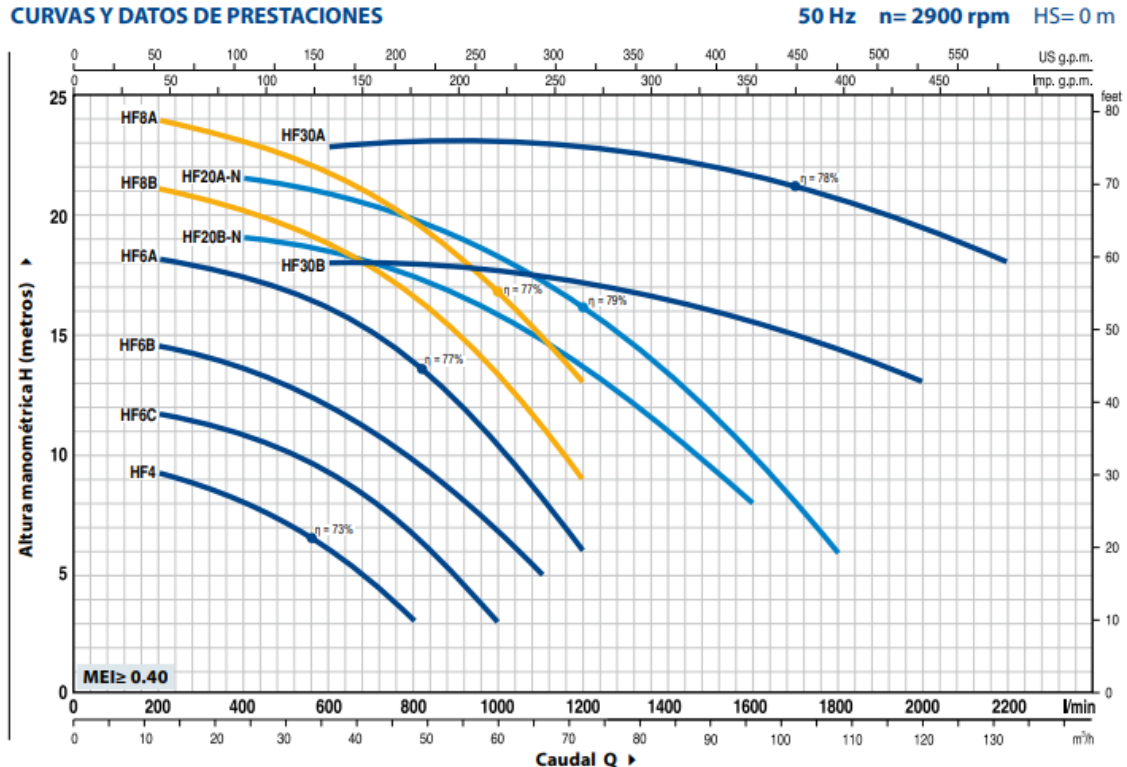
Tabla 2-11 Pérdida de carga en las válvulas

Ubicación	Válvulas seleccionadas	Diámetro de las matrices (mm)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Caudal máximo de las válvulas (m <sup>3</sup> /h)	Pérdida de carga (m.c.a)
Sub matriz 0	Válvula eléctrica de 2" (Serie 75)	50	22,5	40	2,1
Sub matriz 1	Válvula eléctrica de 2,5" (Serie 75)	63	38	90	2,1
Sub matriz 2	Válvula eléctrica de 2,5" (Serie 75)	75	43	90	2,1
Sub matriz 3	Válvula eléctrica de 2,5" (Serie 75)	75	50,76	90	2,2

Fuente: Fuente: catálogo válvulas serie 75 Dorot

### 2.4 Bomba

Para especificar la bomba, se referencia el siguiente gráfico que contiene los datos de la curva característica de las bombas Pedrollo.



Fuente: <https://www.hidrotecnica.cl/files/pdf/102124FT.pdf>

Figura 2-5 Curva característica motores Pedrollo

La gráfica está compuesta por el eje Y, que corresponde a la altura manométrica en m.c.a., y el eje X, que indica el caudal en l/min y m<sup>3</sup>/h que puede suministrar la bomba. Para tener un estimativo de la pérdida por sector, se toma la presión mínima que necesitan las líneas de riego por sector, la pérdida de carga por válvula, la pérdida de carga de la sub matriz y matriz general.

$$P_{total} = P_{minimo} + P_{válvula} + P_{submatriz} + P_{matriz\ general}$$

Sector 0: caudal (3,75m<sup>3</sup>/h)

$$P_{total} = 8 + 2,1 + 2,7 + 1,6 = 14,4m. c. a$$

Sector 1: caudal (6,33m<sup>3</sup>/h)

$$P_{total} = 8 + 2,1 + 2,7 + 1,6 = 14,4m. c. a$$

Sector 2: caudal (7,17m<sup>3</sup>/h)

$$P_{total} = 8 + 2,1 + 1,2 + 1,6 = 12,9m. c. a$$

Sector 3: caudal (8,46m<sup>3</sup>/h)

$$P_{total} = 8 + 2,2 + 1,6 + 1,6 = 13,4m. c. a.$$

Bomba: HFm6A

Características de la bomba:

Tabla 2-12 Características de la bomba

Parámetros	especificación
Corriente	10 A
Caudal máximo:	72m <sup>3</sup> /h
Altura manométrica máxima	18,5m.c.a
Altura de aspiración	7m
Temperatura del líquido	-10°C hasta +90°C
Presión máxima en la bomba	10bar
Voltaje del motor	220V
Frecuencia	50Hz
Potencia	3hp-2,2kW

Fuente: catálogo de electrobombas centrifuga Pedrollo

## 2.5 Diseño del sistema de control

en el sistema de riego automatizado, es necesario describir la lógica de control que coordina su funcionamiento. Esta lógica establece las decisiones previas, secuencias y condiciones de seguridad que determinan cuándo y cómo cada lazo puede actuar.

La lógica de control cumple funciones como la verificación de permisos (nivel mínimo de agua en el estanque, presión estable en el sistema y secuencia de riego a fin), la secuencia de arranque y parada (activación progresiva de bomba y válvulas para evitar sobrepresiones), y la selección de la fuente de setpoint (operador o cálculo automático). Asimismo, se implementan interlocks y bloqueos de seguridad que tienen prioridad sobre la operación normal, de manera que ante condiciones críticas —como baja de nivel o sobrepresión en las matrices— se detenga la bomba y se cierren las válvulas, independientemente del modo de operación.

## 2.6 Lazos de control

Un lazo de control es un sistema que utiliza un conjunto de sensores y controladores para medir y regular una variable de proceso, para tener una mayor claridad, se clasificarán en dos tipos los lazos de control del sistema:

- Lazos de funcionamiento
- Lazos de seguridad

### 2.6.1 Lazos de control funcionamiento

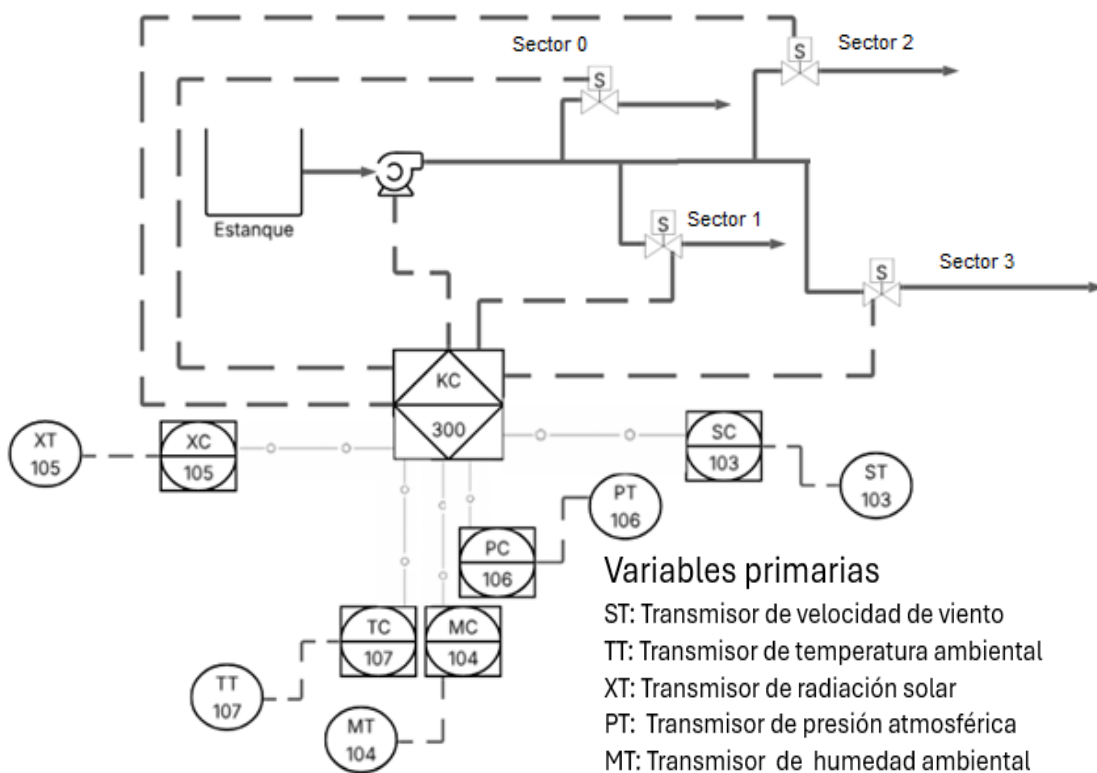


Figura 2-6 Diagrama PI&D Lazos de funcionamiento

Fuente: Elaboración propia con base en la norma ANSI/ISA-5.1-2024

Los lazos de funcionamiento están conformados por las variables primarias (105, 107, 104, 106, 103), estos lazos serían los encargados de medir las variables ambientales que perturban el proceso, al enviar la información de los transmisores hacia los controladores, por medio de la ecuación de Penman-Monteith se calcula la evapotranspiración, para saber el agua que pierden

las plantas, a base de este valor se calcula la lámina de riego y el tiempo de riego, enviando el setpoint de tiempo al controlador KC-300 para activar la bomba y la válvula según el ciclo de riego.

### 2.6.2 Lazos de control seguridad

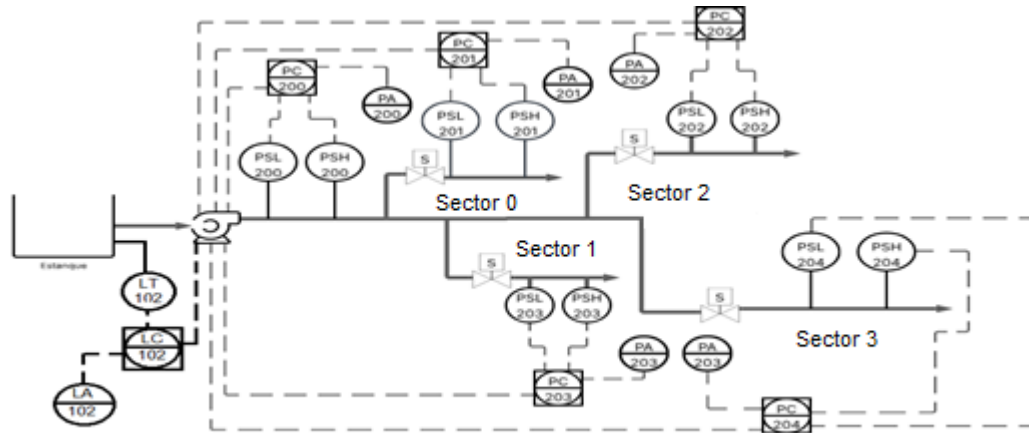


Figura 2-7 Diagrama PI&D lazos de seguridad

Fuente: Elaboración propia con base en la norma ISA S5.1

Los lazos de seguridad controlan las variables de nivel en el estanque y presión en cada una de las matrices, esto con el fin de prevenir fallas en la bomba para que no opere en vacío y delimitar el rango de presión en las matrices. En la siguiente tabla se aprecia el tipo de lazo y la estrategia de control para los lazos del PI&D.

Tabla 2-13 Lazos de seguridad del sistema

Número de lazo	Variable controlada	Tipo de lazo	Estrategia de control	Actuadores
102	Nivel	Lazo cerrado	ON-OFF	Bomba y Alarma
200-204	Presión	Lazo cerrado	ON-OFF	Bomba y Alarma

Fuente: Elaboración propia basada en estrategias y lazos de control

## 2.7 Hardware del sistema

El objetivo de esta sección es especificar todos los componentes físicos del sistema de control automatizado, incluyendo sensores, presostatos y el controlador central (PLC). Aquí se detalla cada uno de los componentes y su integración en el sistema.

### 2.7.1 Sensores de la estación meteorológica

Como ya se especificó en el lazo de funcionamiento se deben medir las variables que perturban el proceso, esto se logrará por medio de los siguientes sensores.

Tabla 2-14 Datos técnicos de los sensores de la estación meteorológica

Sensor	Variable medida	Tipo de sensor	Precisión	Tiempo de respuesta	Salida	Alimentación	Rango
SR20-D2	Radiación solar	Piranómetro	<1,2%	4,5(95% de la respuesta final)	4-20mA	10-40v	0-1600W/m <sup>2</sup>
Vaisala HMP155	Temperatura y humedad relativa	Sensor capacitivo	+1%HR,+0,1°C	60s(90%)	0-10V	7-28v	Humedad:0-100% Temperatura:-80 a 60
PCE-WSV	Velocidad de viento	Anemómetro	+3%	-	0-10V	15-24v	0,8-50m/s
T2114	Presión atmosférica	Transductor piezorresistivo	+1,3 hPa	2s	4-20mA	9-30v	800-1100hPa

Fuente: elaborada en relación con el manual de los sensores (SR20-D2, Vaisala HMP155, PCE-WSV, T2114)

### 2.7.2 Sensores de los lazos de seguridad

El lazo de seguridad del sistema de riego está diseñado para proteger la bomba y la red de tuberías contra condiciones adversas como nivel bajo de agua, sobrepresión y baja presión. Además, activa alarmas visuales y sonoras en caso de fallas críticas.

Tabla 2-15 Datos técnicos de los sensores de los lazos de seguridad

Dispositivo	Variable medida	Modelo	Ubicación	Salida	Rango de medición	Precisión
sensor de nivel	Nivel de agua en el estanque	sensor de nivel (EARUELETRIC )	Estanque	4-20mA	0-10m	0,5%FS
Presostato	sobrepresión en tuberías y baja presión	IFM PK6524	Matrices	contacto seco	0-10bar	+1%FS
Alarma visual y sonora	Activación de seguridad	Werma 450 120 55	Tablero eléctrico	24v	-	-

Fuente: elaboración propia basada en el manual de los instrumentos sensor de nivel (EARUELETRIC, IFM PK6524, Werma 450 120 55)

### 2.7.2.1 Solenoide (24VDC)

Para el solenoide de las válvulas se calculó la caída de voltaje, para verificar si la caída de tensión afecta la señal. El solenoide tolera una caída de voltaje del +-10% por lo que el 10% de 24VDC es 2,4V.

Operator type	Wires color	Operator mark	Operator type	Frequency	Current (Amp)	
					Inrush	Holding
2w 24 VAC	Red	S80-2 24VAC N.C	2w N.C. 24 VAC	50 Hz	0.25	0.11
				60 Hz	0.22	0.095
2w 24 VDC	Black	S80-2 24VDC N.C	2w N.C. 24 VDC		0.12	0.12
2w 12 VDC	Blue	S80-2 12VDC N.C	2w N.C. 12 VDC		0.28	0.28

<b>Voltage:</b>	24 VAC, 24 VDC, 12 VDC
<b>Allowed deviation from voltage:</b>	± 10%
<b>Connecting wires:</b>	2 wires, <b>cross-section-</b> 0.32 mm <sup>2</sup> <b>length</b> - 50 cm
<b>Operating pressure range:</b>	0-10 bar (up to 2.4mm orifice)
<b>Base connection:</b>	3/4" 20 UNEF male threaded
<b>Manual override (optional):</b>	knob (in the valve bonnet) or selector (turn)

Fuente: Catálogo de solenoide DOROT

Figura 2-8 Datos técnicos de solenoide de la válvula DOROT 75

Fórmula:

$$V_{caida} = \frac{2 * I * L * R}{1000}$$

Donde:

- V Caída = Caída de voltaje en el cable (V).
- I = Corriente consumida por el dispositivo (0,12A).
- L = Longitud total del cable (ida y vuelta en metros).
- R = Resistencia del cable en ohmios por kilómetro (Ω/km)

Resultados para un cable de 14AWG, resistencia 8,63Ω/km según la tabla de resistencia y sección transversal de conductores AWG.

Tabla 2-16 Caída de tensión en las líneas de la válvula

Sector	Distancia(m)	Longitud total(m)	Caída de tensión
Sector 1	80	160	0,33V
Sector 2	160	320	0,66V
Sector 3	230	460	0,95V

Fuente: elaboración propia basada en la fórmula de caída de tensión de un cable

Ya que los cables tienen una caída de tensión menor a 2,4V se conectará directamente a los solenoides de la válvula.

### 2.7.3 PLC y módulos de expansión

El **PLC Siemens S7-1200** será el **controlador central del sistema de riego**, encargado de recibir señales de sensores, procesar la información y activar las válvulas y la bomba según los cálculos realizados.

Para identificar si el PLC s7-1200 CPU 1214C DC/DC/Relay cubre las señales del sistema se identificó todas las señales que llegan al controlador, dividiéndolas en entradas y salidas, digitales o analógicas

Tabla 2-17 Instrumentos conectados al PLC

Tipo de señal	Cantidad	Dispositivos Asociados	Tipo digital-analógica
Presostatos	10	IFM PK6524	Entradas digitales (DI)
Válvulas solenoides y Alarma	7	Válvulas 24 VDC y alarma Werma	Salidas digitales (Do)
Sensores analógicos	6	Sensores meteorológicos y nivel	Entradas analógicas

Fuente: elaboración propia basada en los componentes que se conectan al PLC

### 2.7.3.1 Selección del módulo de expansión

Dado que el PLC base tiene suficientes entradas para manejar todas las entradas y salidas digitales, se requiere un módulo de expansión para entradas analógicas

Tabla 2-18 PLC y módulo de expansión

Dispositivo	Modelo	Dispositivos asociados
PLC base	Siemens S7-1200(CPU1214C)	14DI/10DO/2AI
Módulo de entradas Analógicas	SM 1231	4 entradas analógicas (AI)

Fuente: Elaboración propia basada en los datos del datasheet del módulo de expansión SM1231 4AI

Tabla 2-19 Datos técnicos del PLC S7-1200

Características	Especificación
Modelo	S7-1200 1214c DC/DC/RELY
Tensión de alimentación	24VDC (rango 20,4-28,8VDC)
Memoria de trabajo	150KB
Perdida de potencia	14W
Interfaces de comunicación	PROFINET integrado, interfaz ethernet
Entrada análoga	0-10V

Fuente: Elaboración propia basada en los datos del Datasheet de PLC S7-1200 y módulo de expansión SM1231 4AI

### 2.7.4 Especificación de módulo de expansión y pantalla HMI

el modelo de la pantalla HMI es el KTP700basic PN y el del módulo de expansión es el SM1231 4AI (6ES7 231-4HD30-0XB0)

Tabla 2-20 Datos técnicos de módulo de expansión y el HMI

Características	Pantalla HMI	SM1231 4AI
voltaje de alimentacion	24vdc	5vdc
consumo de corriente	230ma	50ma
Memorias disponible	10MB	-
Rango de entradas	-	5+/- 10+/- 2.5+/(V) 4-20ma

Fuente: Datasheet del módulo de expansión (6ES7 231-4HD30-0XB0) y HMI KTP700basic PN

### **2.7.5 Protección eléctrica y fuente de alimentación**

Para garantizar la seguridad y estabilidad del sistema eléctrico, se incorporarán protecciones eléctricas para el PLC, motor y los sensores.

Además, se especifica la fuente de alimentación de 24VDC y su distribución a los diferentes dispositivos.

#### **2.7.5.1 Especificación de la fuente de alimentación de 24VDC**

Siemens LOGO Power 24V (Referencia: 6EP3333-6SB00-0AY0)

Capacidad suficiente para alimentar el PLC S7-1200, módulos de expansión, sensores y válvulas solenoides sin riesgo de sobrecarga

Tabla 2-21 Datos técnicos de la fuente de alimentación

parametros	especificaciones
Voltaje de Salida	24VDC regulado, adecuado para el PLC y sensores
Corriente máxima	10A
Tensión de Entrada	100-240V AC
Protección	IP20

Fuente: Datasheet de la fuente Siemens LOGO 24V 10A (Referencia: 6EP3333-6SB00-0AY0)

#### **2.7.5.2 Especificación partidior suave HT188**

El partidior suave protege el motor de arranques bruscos, evitando picos de corriente y prolongando su vida útil, además de permitir un apagado progresivo, reduciendo costos de mantenimiento.

El partidor suave se especificó con base en los datos del motor, este permite conectar una salida digital del PLC a los pines de control de arranque y parada (COM-x1).

Tabla 2-22 Datos técnicos del partidor suave

Parámetros	Especificaciones
Potencia del motor	2000W
Alimentación	220V
Tipo de control	Partida y parada suave

Fuente: Datasheet del HT188-Partidor-Suave-Monofasico-220Vac

### 2.7.5.3 Protecciones para las líneas monofásicas

Protección de la Línea Monofásica fuente: sobre la base del manual de la fuente se recomienda utilizar un disyuntor de 6A curva B.

Para la bomba, la instalación debe incorporar protecciones que garanticen la desconexión ante sobre corriente y fallas a tierra. Según el RIC N°7 punto 5.6.2.9, cada motor debe estar protegido por un interruptor diferencial en serie y un protector térmico (guardamotor) ajustado a su corriente nominal.

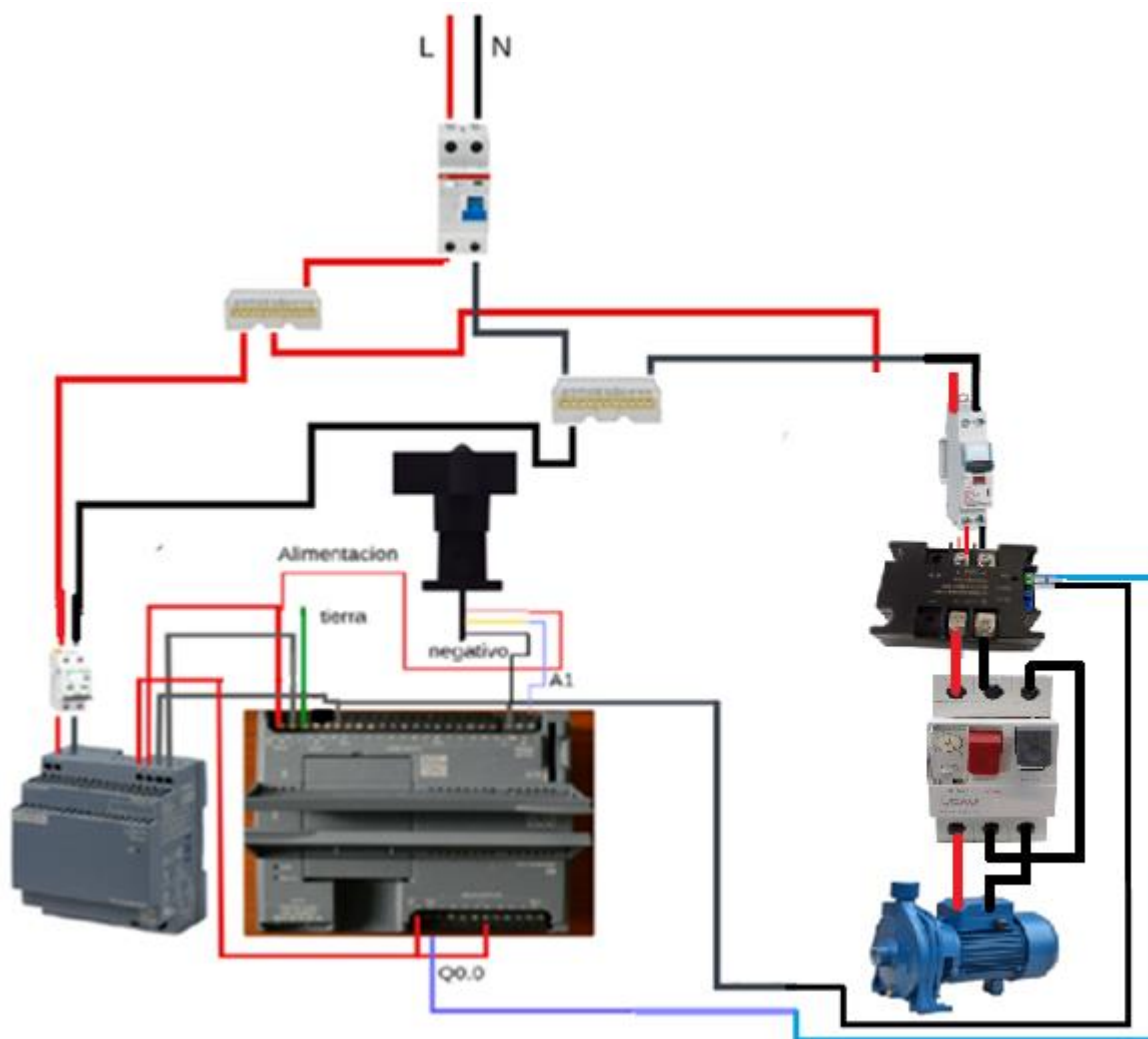
Tabla 2-23 Protecciones del sistema

Protección	Función	Parámetros	Modelo
Interruptor diferencial 30mA	Protege contra fugas de corriente que pueden causar electrocución o incendios.	Corriente nominal: 25A Sensibilidad: 30mA Numero de polos: 2P (bipolar) Voltaje nominal 220V AC.	ABB F202 30mA
Disyuntor 6A	Protege la fuente de alimentación de 24VDC contra sobrecorrientes y cortocircuitos, evitando daños en la fuente y los dispositivos conectados	Corriente nominal: 6A Numero de polos: 2 (bipolar) Curva de disparo: B Voltaje nominal: 220V	Schneider iC60N 6A
Disyuntor 16A	Protege la bomba contra sobrecargas y cortocircuitos	Corriente nominal: 16A Voltaje: 220V Curva de disparo: C Numero de polos: 2	16A Legrand
Guarda motor 16A	Detecta sobrecargas térmicas mide la corriente que pasa por el motor y simula el calentamiento del bobinado mediante elementos bimetálicos.	Corriente nominal: 1,0-16A Frecuencia: 50Hz Tensión de empleo (Ue) 690V	LEXO EGV2 ME16C (5385140)

Fuente: catálogo del diferencial ABB F202, datasheet del disyuntor Legrand 20A y Schneider 6A

### 2.7.6 Conexión de los componentes

La imagen muestra un esquema de conexión, que incluye la fuente Siemens LOGO Power 24V 10A, el PLC Siemens S7-1200 CPU 1214DC/DC/RELAY, el diferencial ABB F202 30mA, el disyuntor Schneider iC60N 6A para la protección de la fuente y el PLC; para proteger el motor se especificó el interruptor automático de 16 A Legrand y el partidor suave.



Fuente: manual del PLC SIEMENS, HT188, PCE-WS V

Figura 2-9 Conexiones de la alimentación del sistema, sensor de velocidad de viento y PLC

Este esquema de conexión ilustra la interconexión de los componentes al PLC, incluidos el presostato IFMPK6524, el solenoide de la válvula, la alarma Werma 450.100.55 y el sensor de nivel configurado para operar con una señal de corriente de 4-20 mA, se adapta a una entrada analógica de 0-10V del PLC mediante una resistencia de 500 ohmios, la resistencia se especificó con base en la ley de Ohm, con la siguiente fórmula:

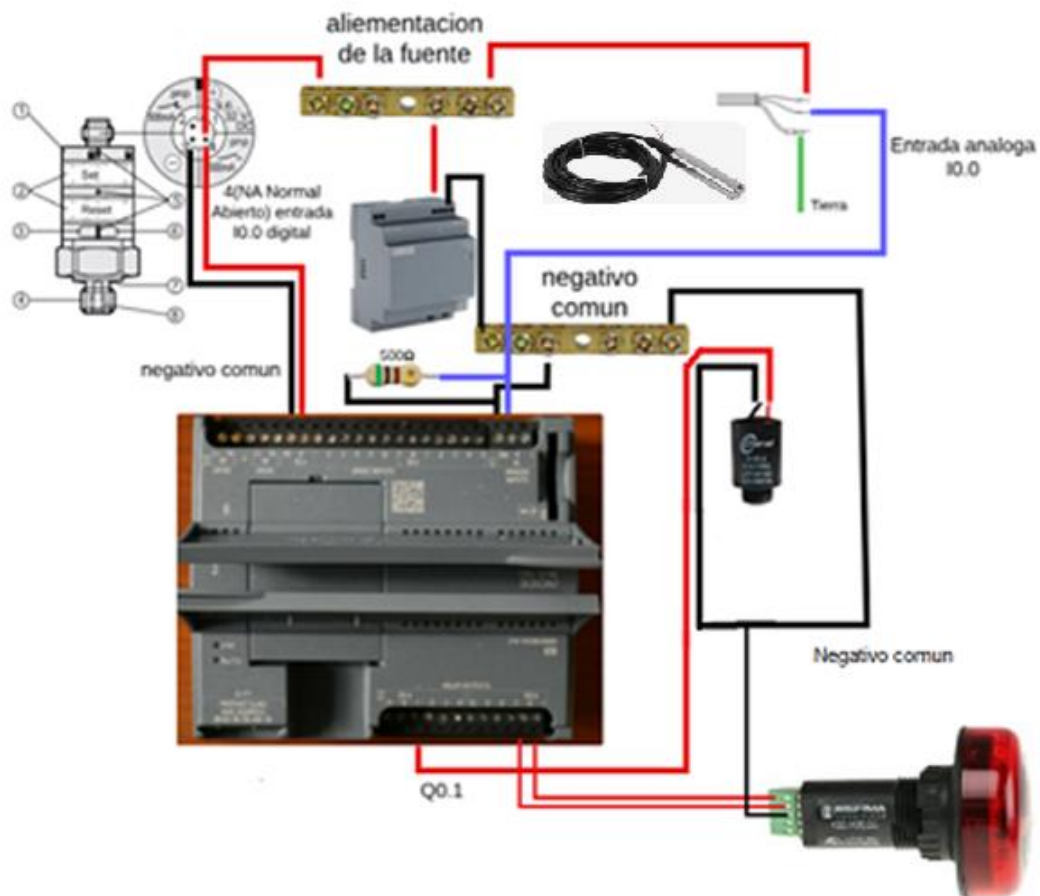
$$R = \frac{V}{I}$$

Donde:

R: resistencia en ohm (500)

V: voltaje en volt (10V)

I: corriente en A (0,02A)

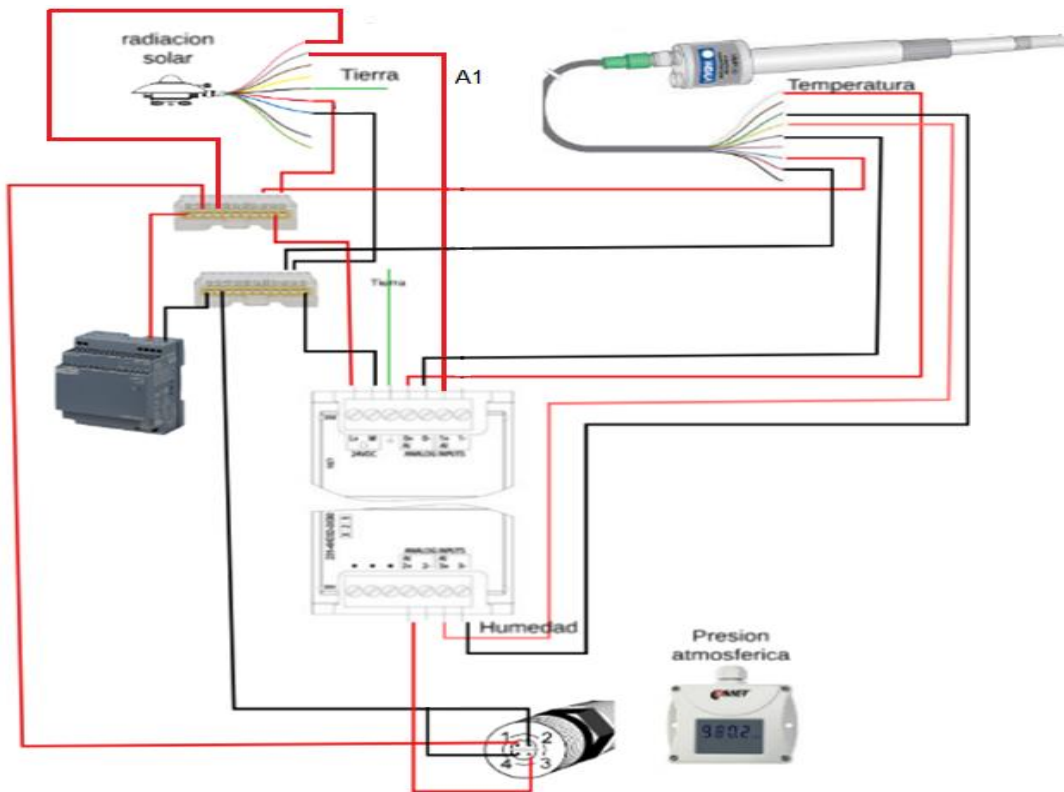


Fuente: manual del presostato IFMPK6524, Werma 450.100.55, Sensor de nivel

Figura 2-10: Conexión del sensor de nivel, presostato, válvula y alarma

Para la correcta integración del Vaisala HMP155 (Temperatura y Humedad), Piranómetro SR20-D2 (Radiación Solar) y COMET T2114 (Presión Atmosférica) con el PLC Siemens S7-1200, es necesario conectar cada sensor al módulo de expansión analógico 6ES7231-4HD32-0XB0, asegurando la correcta configuración de sus entradas para el procesamiento adecuado de las señales.

El Vaisala HMP155, que mide tanto temperatura como humedad relativa, envía sus señales en formato 0-10v, donde la salida correspondiente a temperatura se conectará a la entrada AI2, mientras que la señal de humedad relativa se dirigirá a la entrada AI5 del módulo. Por otro lado, el Piranómetro SR20-D2, encargado de medir la irradiancia solar en  $W/m^2$ , también proporciona una señal 4-20mA, la cual será recibida por la entrada AI3. Finalmente, el COMET T2114, utilizado para la medición de la presión atmosférica en hPa, enviará su señal 4-20mA a la entrada AI4 del módulo.



Fuente: manual de los sensores SR20-D2, HMP155, COMET T2114 y módulo de expansión SM1231

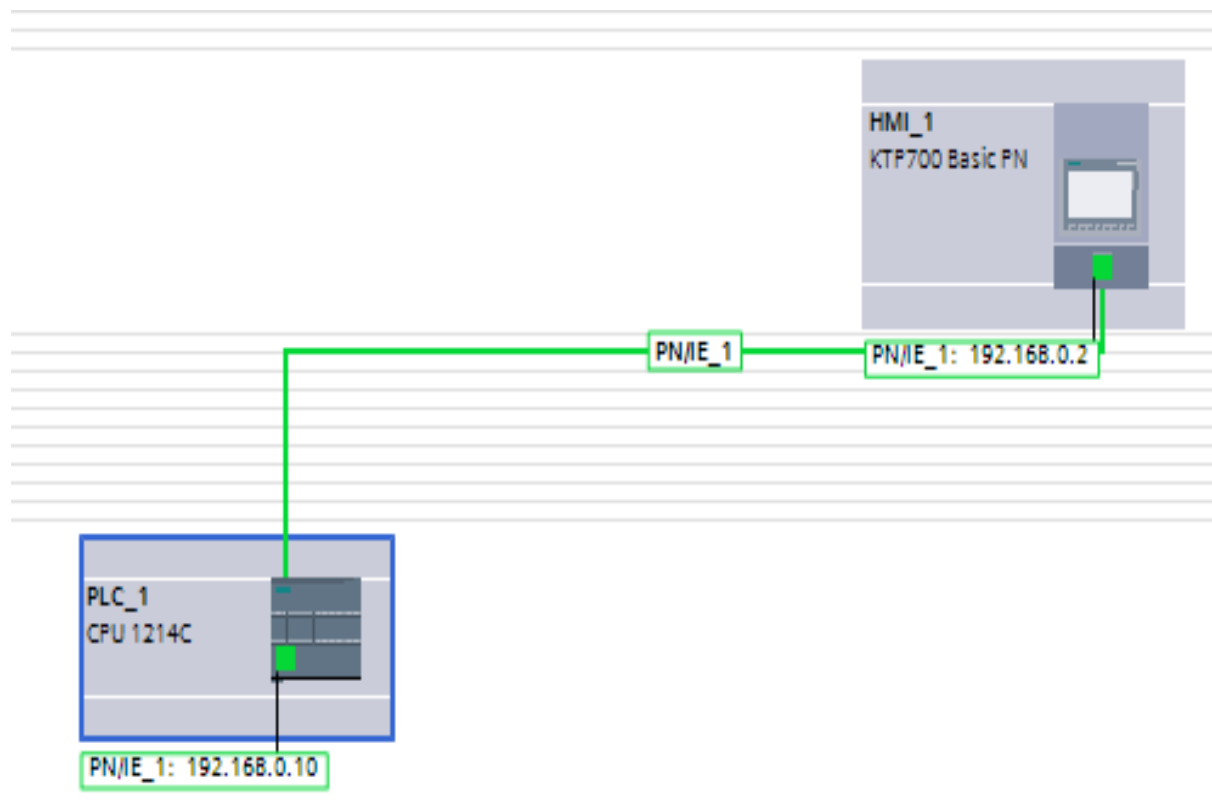
Figura 2-11 Conexión de los sensores SR20-D2, HMP155 y T2114 al módulo de entradas

## 2.8 Software

En este apartado se especifica la configuración de dispositivos, las entradas y salidas del PLC, el diagrama de flujo del programa, y las pantallas HMI con las que interactúa el operario

### 2.8.1 Configuración de dispositivos

El HMI y el PLC deben configurarse dentro de la misma subred para que se logren comunicar por el protocolo de comunicación PROFINET (este es un protocolo de comunicación usa la tecnología ethernet) para hacer esto posible se definió las siguientes IP para el HMI y el PLC



Fuente: elaboración propia con base en la configuración de dispositivos de TIA PORTAL

Figura 2-12 Comunicación entre el HMI y PLC

### 2.8.2 Entradas y salidas de los componentes

En la siguiente imagen se pueden apreciar las entradas y salidas definidas para todos los componentes conectados al PLC

	Name	Data type	Address ▲	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	presostato matriz general alto	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	presostato matriz general bajo	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	presostato matriz 0 alto	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	presostato matriz 0 bajo	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	presostato matriz 1 alto	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	presostato matriz 1 bajo	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	presostato matriz 2 alto	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	presostato matriz 2 bajo	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	presostato matriz 3 alto	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	presostato matriz 3 bajo	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	sensor de nivel	Word	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	sensor de viento	Word	%IW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	temperatura ambiental	Word	%IW96	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	sensor Radiacion solar	Word	%IW98	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	sensor de presion atmosferica	Word	%IW100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	sensor de humedad	Word	%IW102	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	motor	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	valvula 0	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	valvula 1	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	valvula 2	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	valvula 3	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	luz alarma	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	sonido alarma	Bool	%Q1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

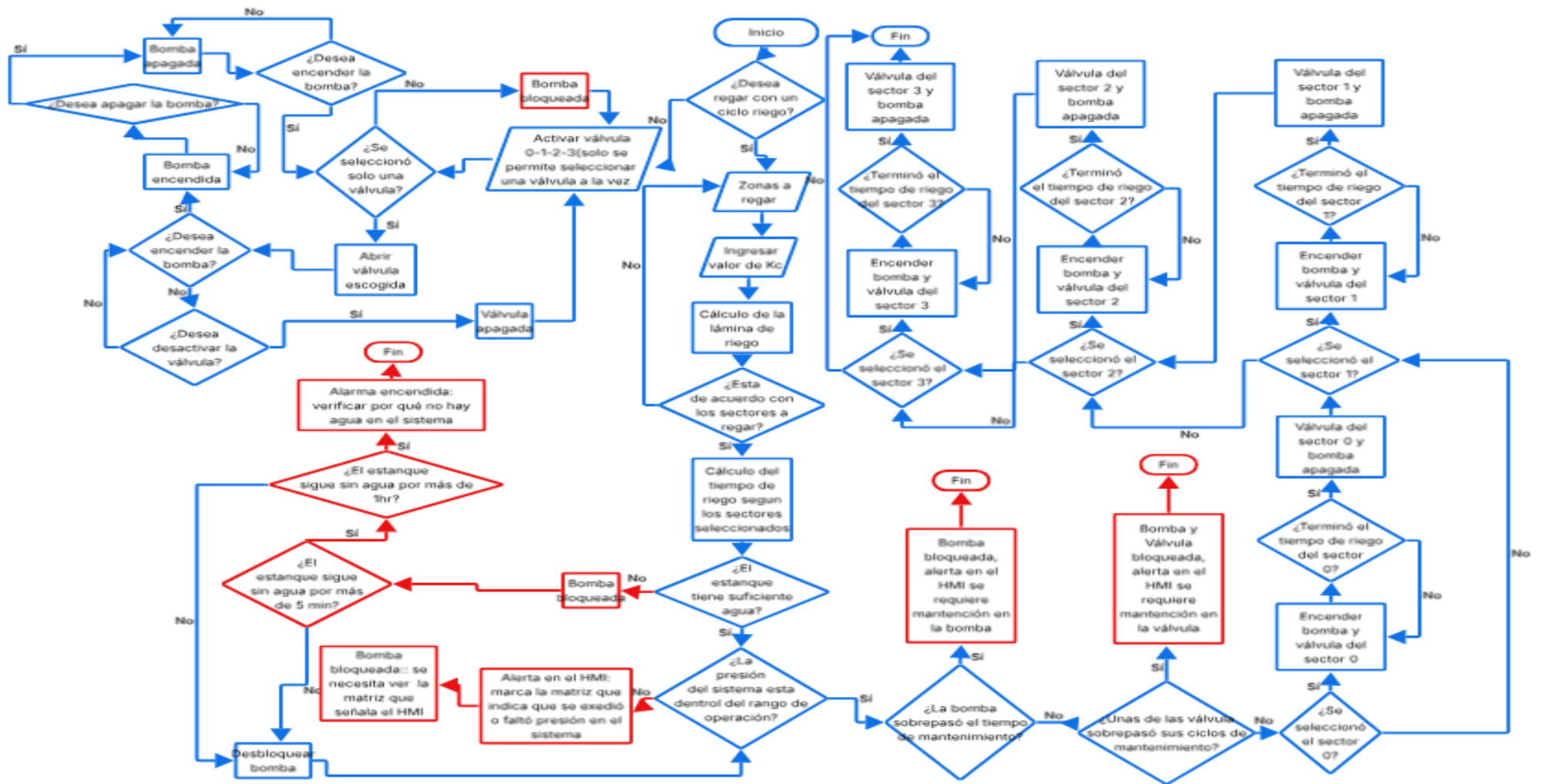
Fuente: Elaboración propia basada en los TAGS del programa del sistema de riego

Figura 2-13 Entradas y salidas del PLC

Para el módulo de entradas se deben configurar las entradas según la señal del sensor si es de 4-20ma o 0-10v en el caso de los sensores propuestos. Para el PLC-S7 1200 no permite configurar las entradas como otros modelos, por lo que se mantendrán sus señales de origen.

### 2.8.3 Diagrama de flujo

La siguiente figura muestra el diagrama de flujo del programa desarrollado para el sistema de riego



Fuente: elaboración propia basada en el programa del sistema en TIA PORTAL

Figura 2-14 Diagrama de flujo de la programación del sistema

### 2.8.4 Pantallas HMI

En este punto se detallan las pantallas programadas en TIA PORTAL para el HMI, estas pantallas se desarrollaron con el fin de que el operario tenga claridad al interactuar con el programa y pueda ver el monitoreo del tiempo de riego, nivel del agua, la lámina de riego y las variables de la estación meteorológica.

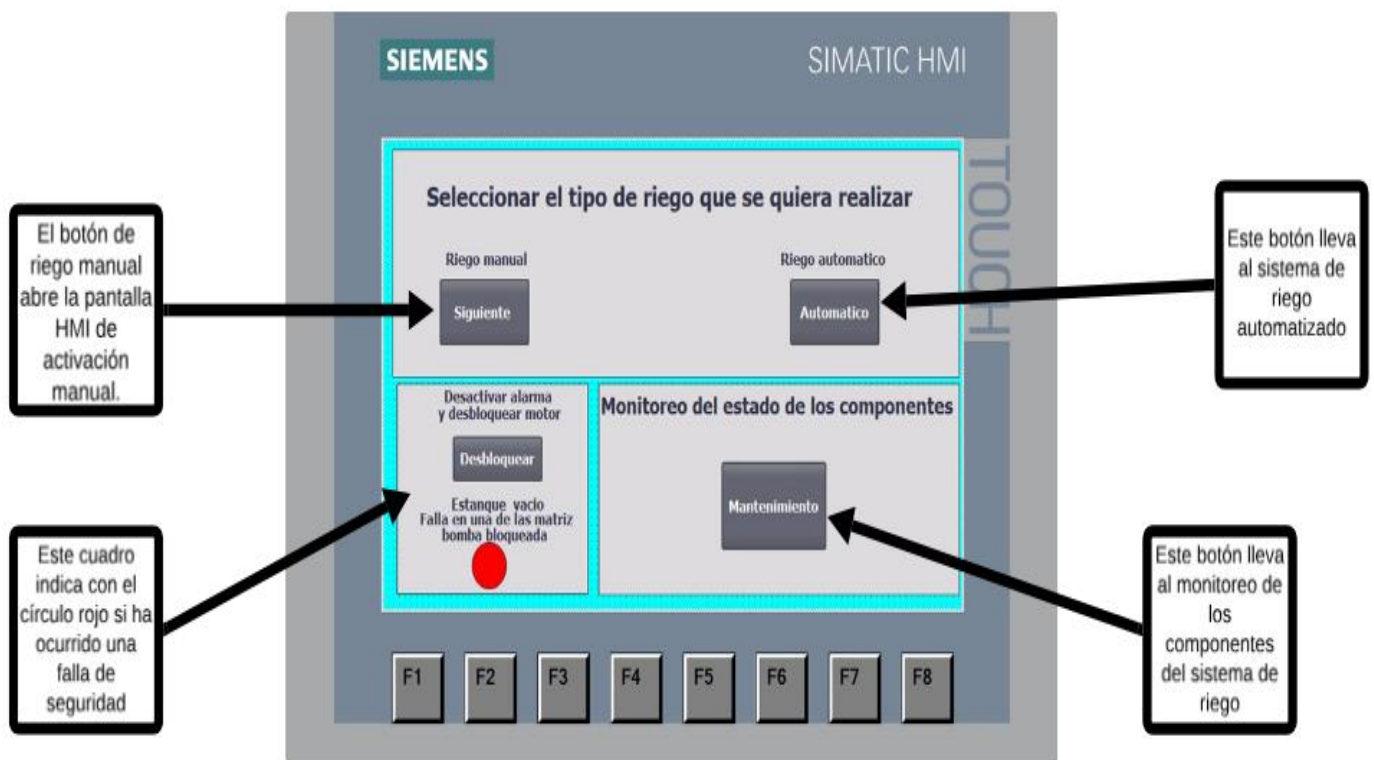


Figura 2-15 Pantalla HMI 1 selección riego

Fuente: Elaboración propia en Tia portal

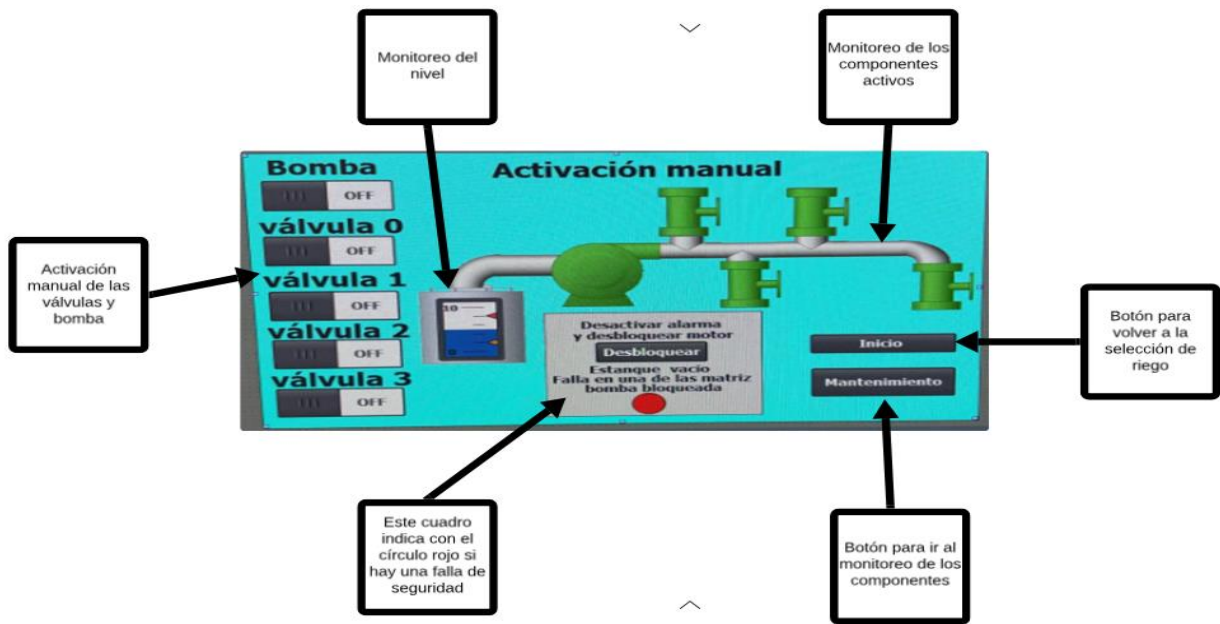
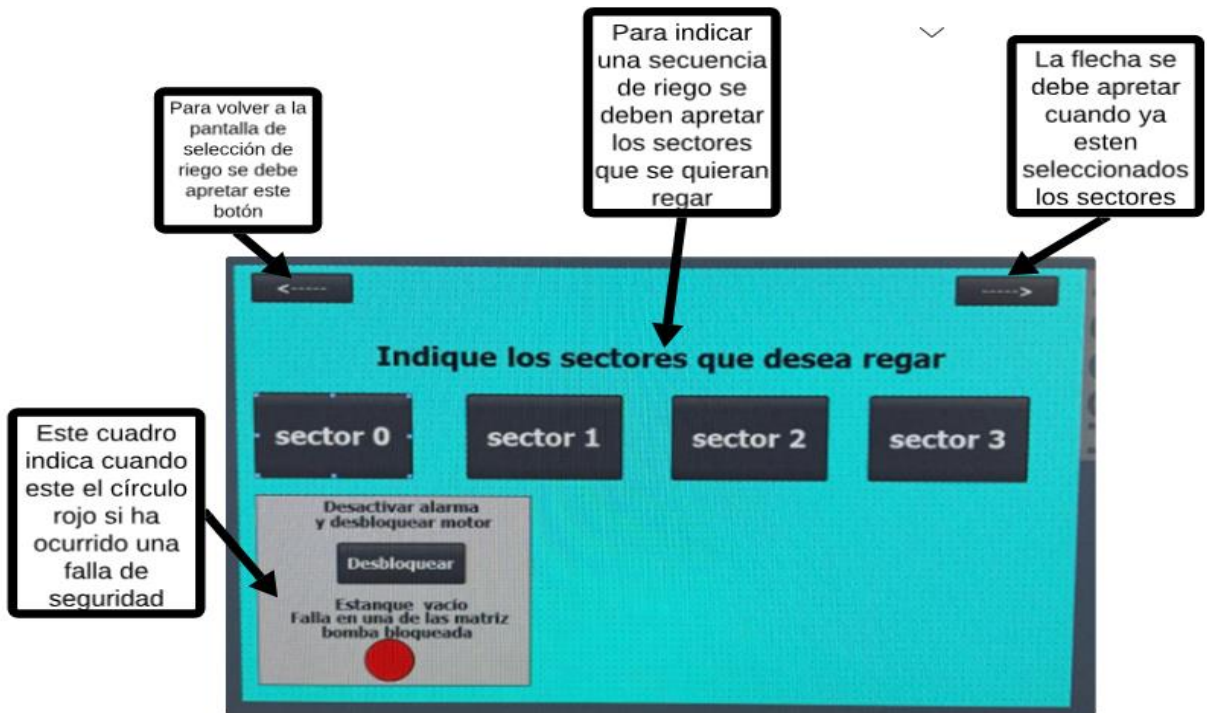


Figura 2-16 Pantalla HMI 2 riego manual

Fuente: Elaboración propia en TIA PORTAL



Figuram2-17 Pantalla HMI 3 riego automatizado inicio

Fuente: elaboración propia basada en el programa desarrollado en TIA PORTAL

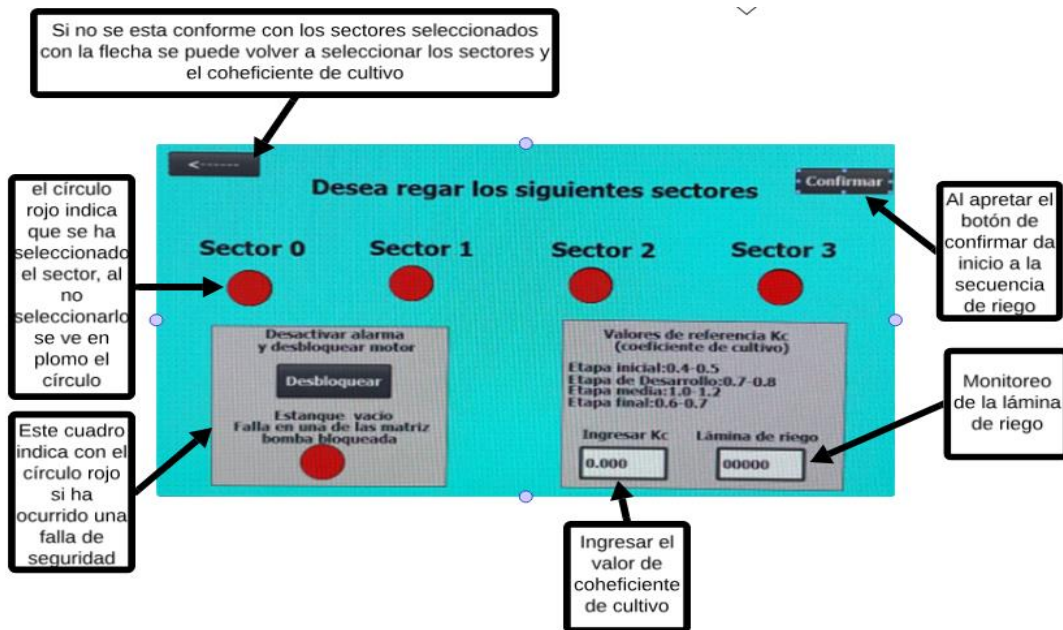


Figura 2-18 Pantalla HMI 4 confirmación del riego

Fuente: elaboración propia basada en el programa del sistema de riego en TIA PORTAL

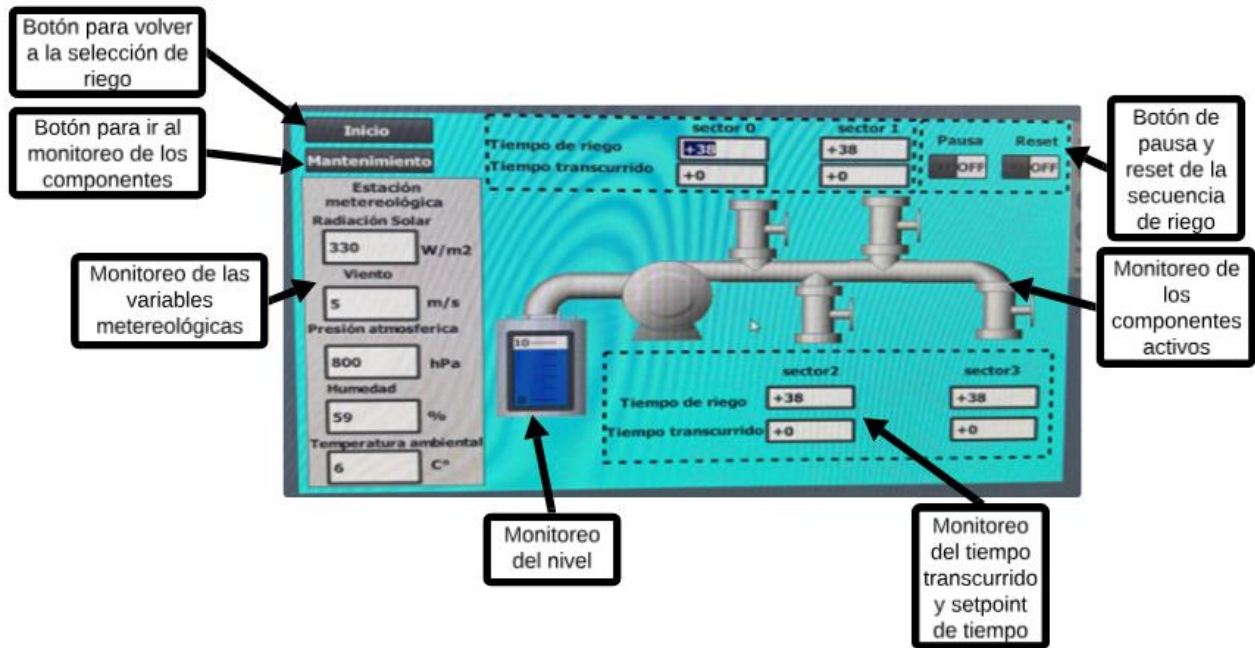


Figura 2-19 Pantalla HMI 5 monitoreo del riego automatizado

Fuente: Elaboración propia basada en el programa de desarrollo TIA PORTAL

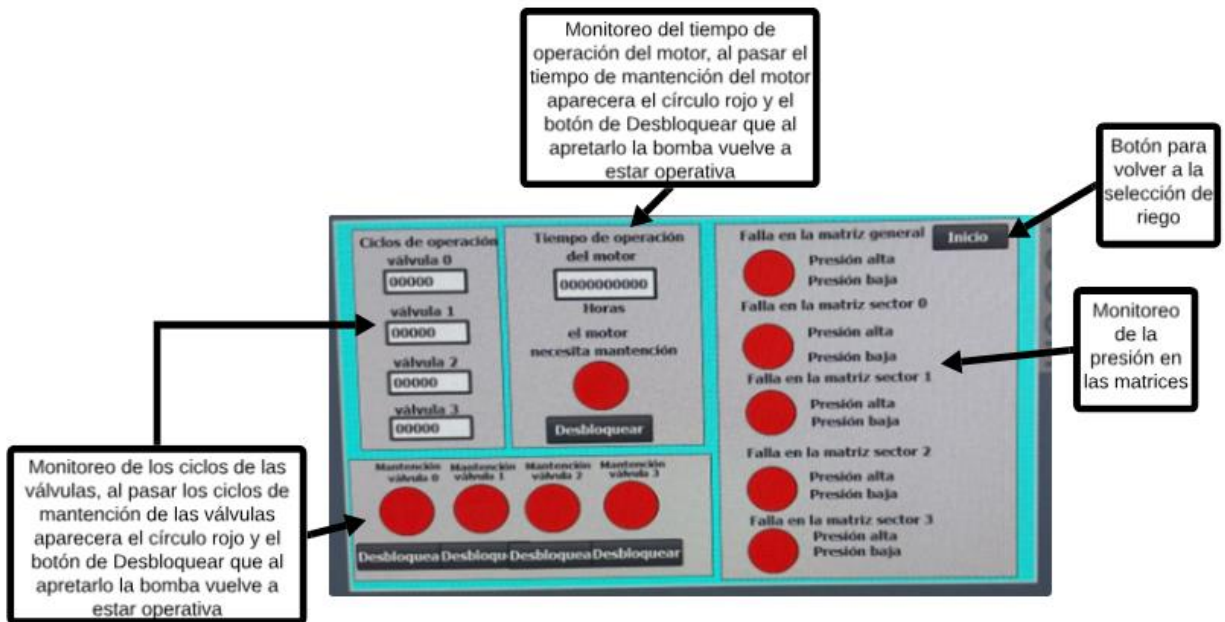


Figura 2-20 Pantalla HMI 6 monitoreo y mantenimiento de los componentes

Fuente: Elaboración propia basada en el programa de desarrollo TIA PORTAL

**CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO**

### 3 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

En esta sección se realizará un análisis económico del sistema contemplando los costos, beneficios, para generar un flujo de caja proyectado a 5 años para ver la rentabilidad del proyecto.

#### 3.1 Costos del proyecto

Para los costos del proyecto se contemplaron los de materiales, implementación con base en la creación de una carta Gantt, de Diseño, capacitación y se asume un 10% con respecto a los costos de materiales para cualquier imprevisto.

##### 3.1.1 Costos de materiales

En la siguiente tabla se muestran los costos de materiales del sistema de riego, el total del valor en UF es de 317,45.

Tabla 3-1 Costos de materiales (CLP)

Componentes	valor
Tubería 75mm	772.320
Tubería 63mm	292.250
Tubería 50mm	105.000
Líneas de riego	315.092
Válvulas DOROT 75 2	242.640
Válvulas DOROT 75 2.5"	694.350
Bomba Pedrollo 3HP	670.174
PLC siemens S7-1200	800.305
HMI	599.367
Sensor de presión	228.615
Sensor Vaisala HMP155	827.091
Sensor de velocidad de viento	337.791
Piranómetro	705.000
Sensor de nivel	36.000
Presostatos	1.395.000
Fuente de alimentación 24VDC	150.000
Cables y accesorios eléctricos	1.642.691
Soportes y estructuras	2.612.691
Modulo de expansion PLC	114.975
<b>Total</b>	<b>12.541.352</b>

Fuente: Elaboración propia basada en el precio de los componentes del sistema

### 3.1.2 Requerimiento personal

Para los costos de implementación, se elaboró una carta Gantt con una duración de 3 meses, contemplando las tareas de diseño, adquisición de materiales, instalación del sistema de riego, instalación del sistema de control y puesta en marcha (las fechas de la carta Gantt son de ejemplo)

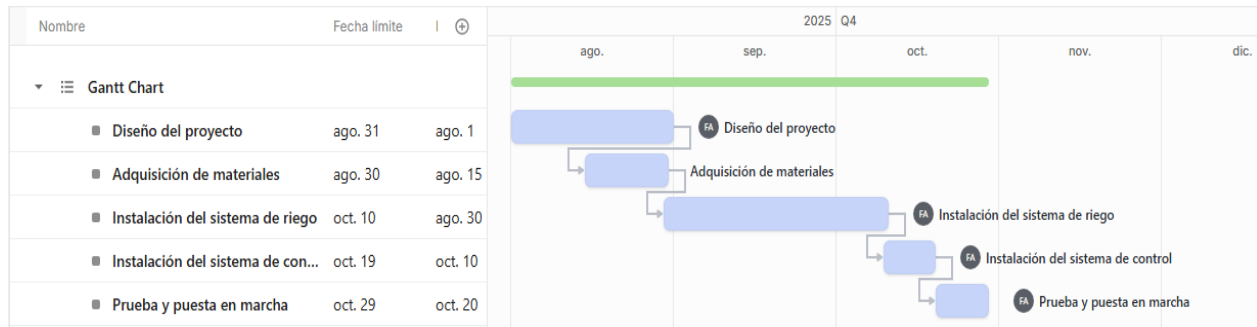


Figura 3-1 Carta Gantt de proyecto

Fuente: Elaboración propia basada en los datos de habitissimo y redcapacitación

- **Diseño del proyecto:** Para el diseño del proyecto se asume un total de 1.000.000 CLP por el tiempo de duración y honorarios de diseño.
- **Adquisición de materiales:** Para la logística se asume un total de 500.000 CLP.
- **Instalación del sistema de riego:** Para la instalación del sistema de riego se contemplan 4 obreros. En Habitissimo, el sueldo bruto por día de un obrero es de 25.000 CLP, por lo tanto, la mano de obra tendría un total de 3.000.000 CLP por 6 semanas de trabajo.
- **Instalación del sistema de control:** Para la instalación del sistema de control se contemplan 2 técnicos con un sueldo de 50.000 CLP por día, según Redcapacitación, por lo que, por 10 días de trabajo, costaría un total de 1.000.000 CLP.
- **Prueba y puesta en marcha:** La puesta en marcha contempla un técnico durante 10 días, por lo que según Redcapacitación, costaría un total de 500.000 CLP, de sueldo bruto.

Tabla 3-2 Costos de implementación

Costos de implementación	Valor
Diseño del proyecto	1.000.000
Adquisición de materiales	500.000
Instalación del sistema de riego	3.000.000
Instalación del sistema de control	1.000.000
Prueba y puesta en marcha	500.000
<b>Total</b>	<b>6.000.000</b>

Fuente: Elaboración propia basada en los datos de costo de implementación y diseñada en Excel

### 3.2 Beneficios del proyecto

Aunque el sistema de riego automatizado por goteo trae consigo múltiples beneficios, como el ahorro de agua y la optimización del tiempo del encargado del riego, estos no se consideran dentro de los beneficios económicos del presente análisis, ya que no implican una reducción de personal, y el agua no representa un costo directo para el fundo, dado que ya se encuentra internalizada mediante la adquisición previa del derecho de agua. Por esta razón, el único beneficio económico directo considerado es el aumento de la producción agrícola.

El estudio Influence of irrigation method and scheduling on patterns of soil and tree water status and its relation to yield and fruit quality in peach de Bryla 2005, evaluó durante tres temporadas el efecto de distintos métodos de riego en la producción de durazno. Los resultados muestran que el riego por goteo (superficial y subsuperficial), comparado con métodos tradicionales como surco o microaspersión, aumento el rendimiento comercial en un rango de 9% y 22%. En la siguiente tabla corrobora el aumento en la producción al indicar que el riego por surco, regándose cada 14 y 7 días, produjo un total de 15,5 y 17,4 toneladas por hectáreas, por otra parte, el riego por goteo subterráneo y en la superficie produjo 26,9 y 28,6 toneladas por hectárea.

Tabla 3-3 Comparación de riegos en producción de duraznos

Year	Irrigation method	Crop load (fruit/tree)	Avg fruit wt (g/fruit)	Marketable yield (t/ha) <sup>a</sup>
2002	Furrow (7 d)	127	137 b <sup>c</sup>	17.4 b
	Furrow (14 d)	125	135 b	15.5 b
	Microspray	111	147 ab	16.5 b
	Surface drip	119	155 a	19.7 a
	Subsurface drip	128	153 a	20.5 a
	<i>P</i> value	0.3155	0.0304	0.0004
2003	Furrow (7 d)	150	164 b	25.4
	Furrow (14 d)	156	162 b	26.5
	Microspray	147	168 ab	25.6
	Surface drip	162	166 ab	28.6
	Subsurface drip	149	175 a	26.9
	<i>P</i> value	0.1154	0.0112	0.2540
2004	Furrow (7 d)	197	137 ab	19.8 a
	Furrow (14 d)	194	129 b	15.9 b
	Microspray	196	125 b	16.7 b
	Surface drip	193	141 a	22.1 a
	Subsurface drip	186	141 a	20.7 a
	<i>P</i> value	0.5073	0.0424	0.0005

Fuente: Bryala 2005 Influence of irrigation method and scheduling on patterns of soil and tree water status and its relation to yield and fruit quality in peach de Bryla 2005

Contemplando el hecho de que la producción máxima que puede brindar un árbol bajo condiciones óptimas, justificándose en estas 2 fuentes:

- (136 kg) - Stark Bro's - Estimated Yield for Fruit Trees
- (61 a 122 kg) - The Seasonal Homestead - How Much to Plant for a Year's Supply of Fruit

Se plantean 3 flujos de cajas con el fin de ver el beneficio del proyecto: optimista, moderado y escenario máximo de aumento. En los 3 escenarios se plantea la producción de los duraznos en su periodo de árbol maduro, ya que en este estado se encuentra la plantación actual (el flujo de caja se realizó en CLP), se tomó en cuenta la precipitación anual de la sexta región para determinar la variación de la producción anual para el flujo de caja sin proyecto donde los años que tenga mayor precipitación mayor será la producción y para los años que exista menor precipitación será menor la producción.

- Escenario máximo de aumento (22%)
- Escenario optimista (16%)
- Escenario moderado (9%)

En el flujo de caja, por parte de la inversión inicial, se toman los costos ya mencionados con anterioridad, con un 10% de contingencia para dar margen al presupuesto, a este valor se le cobra el impuesto de 19%, para los ingresos se multiplican los valores de producción, el precio USD/kg(0,8) y el valor del dólar redondeado a 900\$, El valor de los costos fijos se obtuvo por el flujo de caja del fundo, los costos variables se obtuvieron al dividir los costos variables por hectárea con la producción por hectárea del mismo flujo y multiplicarlo por la cantidad producida. Para el flujo de caja con proyecto se agregan los costos asociados al proyecto, la electricidad, para los costos variables y la mantención para los costos fijos. El beneficio se obtuvo con la diferencia de utilidad después de impuesto, del flujo de caja con y sin proyecto, la inversión indica la tasa de descuento (10%) usada para traer los flujos al valor presente, la tasa muestra el valor actual neto acumulado.

Con los datos del flujo de caja explicado se interpretarán los datos para ver si la inversión es rentable o no.

### 3.2.1 Flujo de caja 22%

El beneficio para el caso de 22% entrega una cifra de \$9.661.470 pesos chilenos anualmente para el año más bajo, es una cifra bastante estable y atractiva, ya que este valor es la ganancia que tiene el proyecto con respecto a la plantación sin proyecto, la fila de la tasa indica que el payback de la inversión ocurriría al año 3 logrando recuperar la inversión inicial, el VAN de \$17.884.390 pesos chilenos al ser positivo agrega valor al dueño, y el TIR de 36%, al superar los 10% de la tasa de descuento, hace que el proyecto sea altamente atractivo, si las condiciones agronómicas son lo suficientemente desfavorable para generar un aumento en la producción de 22%.

Tabla 3-2 Flujo de caja del proyecto beneficio 22%

<b>Sin proyecto</b>						
Producción [kg]		178.660	149.760	161.280	170.880	192.000
Ingresos		133.494.752	111.900.672	120.508.416	127.681.536	143.462.400
Costos Fijos		-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000
Costos cosecha		-5.627.790	-4.717.440	-5.080.320	-5.382.720	-6.048.000
Costos Variables		-56.099.240	-47.024.640	-50.641.920	-53.656.320	-60.288.000
Utilidad antes de IMP.		44.267.722	32.658.592	37.286.176	41.142.496	49.626.400
Impuesto 27%		-11.952.285	-8.817.820	-10.067.268	-11.108.474	-13.399.128
<b>Utilidad después de IMP.</b>		<b>32.315.437</b>	<b>23.840.772</b>	<b>27.218.908</b>	<b>30.034.022</b>	<b>36.227.272</b>
<b>Con Proyecto +22%</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Producción [kg]		217.965	182.707	196.762	208.474	234.240
Ingresos		162.863.597	136.518.820	147.020.268	155.771.474	175.024.128
Costos Fijos		-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000
Costos cosecha		-6.865.904	-5.755.277	-6.197.990	-6.566.918	-7.378.560
Costos Variables		-68.441.073	-57.370.061	-61.783.142	-65.460.710	-73.551.360
Utilidad antes de IMP.		60.056.621	45.893.482	51.539.135	56.243.845	66.594.208
Impuesto 27%		-16.215.288	-12.391.240	-13.915.566	-15.185.838	-17.980.436
<b>Utilidad después de IMP.</b>		<b>43.841.333</b>	<b>33.502.242</b>	<b>37.623.568</b>	<b>41.058.007</b>	<b>48.613.772</b>
Beneficio	-23.616.130	11.525.896	9.661.470	10.404.660	11.023.985	12.386.500
INVERSIÓN	10%	10.478.087	7.984.686	7.817.175	7.529.530	7.691.042
Tasa		-13.138.042	-5.153.357	2.663.818	10.193.348	17.884.390
VAN	\$17.884.390					
TIR	36%					

Fuente: elaboración propia basada en los costos del proyecto y un flujo de caja sobre un proyecto de riego por goteo del fundo El

Carmen de Naicura.

### 3.2.2 Flujo de caja 16%

El beneficio de \$7.026.524 pesos chilenos siguen siendo un valor de beneficio estable para el proyecto, este recupera la inversión inicial el año 4 y se obtiene un VAN de \$7.026.524 pesos chilenos, con un TIR de 20% al igual que en el caso del escenario máximo de aumento le genera ganancia al dueño en el periodo de 5 años, indicando que si el proyecto logra crear un aumento de 16% en la producción el proyecto sigue siendo rentable.

Tabla 3-5 Flujo de caja del proyecto beneficio 16%

<b>Sin proyecto</b>						
Producción [kg]		178.660	149.760	161.280	170.880	192.000
Ingresos		133.494.752	111.900.672	120.508.416	127.681.536	143.462.400
Costos Fijos		-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000
Costos cosecha		-5.627.790	-4.717.440	-5.080.320	-5.382.720	-6.048.000
Costos Variables		-56.099.240	-47.024.640	-50.641.920	-53.656.320	-60.288.000
Utilidad antes de IMP.		44.267.722	32.658.592	37.286.176	41.142.496	49.626.400
Impuesto 27%		-11.952.285	-8.817.820	-10.067.268	-11.108.474	-13.399.128
<b>Utilidad después de IMP.</b>		<b>32.315.437</b>	<b>23.840.772</b>	<b>27.218.908</b>	<b>30.034.022</b>	<b>36.227.272</b>
<b>Con Proyecto +16%</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Producción [kg]		207.246	173.722	187.085	198.221	222.720
Ingresos		154.853.912	129.804.780	139.789.763	148.110.582	166.416.384
Costos Fijos		-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000
Costos cosecha		-6.528.236	-5.472.230	-5.893.171	-6.243.955	-7.015.680
Costos Variables		-65.075.118	-54.548.582	-58.744.627	-62.241.331	-69.934.080
Utilidad antes de IMP.		55.750.558	42.283.967	47.651.964	52.125.295	61.966.624
Impuesto 27%		-15.052.651	-11.416.671	-12.866.030	-14.073.830	-16.730.988
<b>Utilidad después de IMP.</b>		<b>40.697.907</b>	<b>30.867.296</b>	<b>34.785.934</b>	<b>38.051.466</b>	<b>45.235.636</b>
Beneficio	-23.616.130	8.382.470	7.026.524	7.567.025	8.017.444	9.008.364
INVERSIÓN	10%	7.620.427	5.807.044	5.685.218	5.476.022	5.593.485
Tasa		-15.995.703	-10.188.658	-4.503.440	972.582	6.566.067
VAN	\$6.566.067					
TIR	20%					

Fuente: elaboración propia basada en los costos del proyecto y un flujo de caja sobre un proyecto de riego por goteo del fundo El

Carmen de Naicura.

### 3.2.3 Flujo de caja 9%

En el caso de flujo de caja de 9% la inversión no es rentable, ya que esta genera un beneficio de 3.080.292 para el año más bajo, la inversión inicial no se recupere al año 5, esto se ve reflejado en los valores de VAN \$-6.638.644 que al ser negativo genera pérdida al dueño del fundo y el TIR -2% al no superar la tasa requerida 10% y ser negativo, señala que no es atractiva la inversión, señalando que el proyecto puede llegar a no ser rentable si genera un aumento de la producción de 9%.

Tabla 3-6 Flujo de caja del proyecto beneficio 9%

Sin proyecto						
Producción [kg]		178.660	149.760	161.280	170.880	192.000
Ingresos		133.494.752	111.900.672	120.508.416	127.681.536	143.462.400
Costos Fijos		-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000
Costos cosecha		-5.627.790	-4.717.440	-5.080.320	-5.382.720	-6.048.000
Costos Variables		-56.099.240	-47.024.640	-50.641.920	-53.656.320	-60.288.000
Utilidad antes de IMP.		44.267.722	32.658.592	37.286.176	41.142.496	49.626.400
Impuesto 27%		-11.952.285	-8.817.820	-10.067.268	-11.108.474	-13.399.128
Utilidad después de IMP.		32.315.437	23.840.772	27.218.908	30.034.022	36.227.272
Con Proyecto +9%		1	2	3	4	5
Producción [kg]		194.739	163.238	175.795	186.259	209.280
Ingresos		145.509.280	121.971.732	131.354.173	139.172.874	156.374.016
Costos Fijos		-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000	-27.500.000
Costos cosecha		-6.134.291	-5.142.010	-5.537.549	-5.867.165	-6.592.320
Costos Variables		-61.148.172	-51.256.858	-55.199.693	-58.485.389	-65.713.920
Utilidad antes de IMP.		50.726.817	38.072.865	43.116.932	47.320.321	56.567.776
Impuesto 27%		-13.696.241	-10.279.674	-11.641.572	-12.776.487	-15.273.300
Utilidad después de IMP.		37.030.576	27.793.192	31.475.360	34.543.834	41.294.476
Beneficio	-23.616.130	4.715.139	3.952.419	4.256.452	4.509.812	5.067.204
INVERSIÓN	10%	4.286.490	3.266.462	3.197.935	3.080.262	3.146.335
Tasa		-19.329.639	-16.063.177	-12.865.242	-9.784.980	-6.638.644
VAN	\$-6.638.644					
TIR	-2%					

Fuente: elaboración propia basada en los costos del proyecto y un flujo de caja sobre un proyecto de riego por goteo del fundo El Carmen de Naicura.

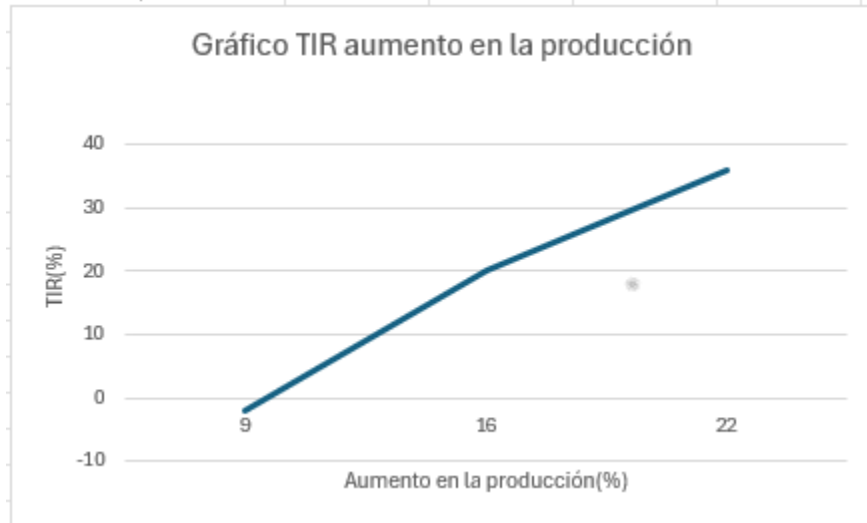
### 3.2.4 Resumen económico

En este punto se muestran los datos relevantes del análisis económico y los gráficos del TIR y el VAN en comparación con el aumento de la producción.

Tabla 3-7 Tabla del VAN, TIR y aumento en la producción

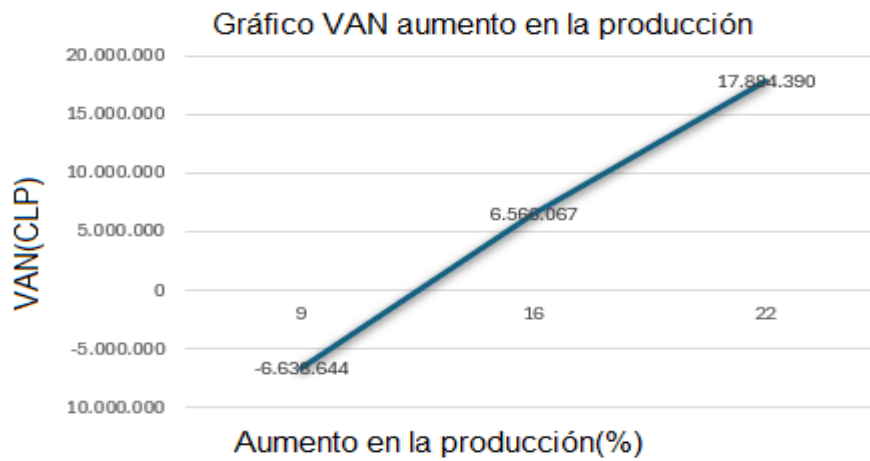
VAN(CLP)	TIR(%)	Aumento en la producción(%)
-6.638.644	-2	9
6.566.067	20	16
17.884.390	36	22

Fuente: Elaboración propia basada en los datos del flujo de caja con proyecto y sin proyecto



Fuente: Elaboración propia basada en los datos del flujo de caja con proyecto y sin proyecto

Figura 3-2 Gráfico TIR



Fuente: Elaboración propia basada en los datos del flujo de caja con proyecto y sin proyecto

Figura 3-3 Gráfico VAN

### **CONCLUSIONES**

El análisis económico realizado mediante los flujos de caja incrementales muestra que la implementación de un sistema de riego por goteo automatizado, controlado mediante PLC y apoyado por una estación meteorológica, puede generar beneficios reales, al igual que traer pérdidas, esto dependiendo de las condiciones agronómicas presentes en la plantación, que como se examinó en el primer capítulo de este trabajo, al estar en mal estado el sistema actual por la falta de mantención y desactualizado al tener el riego californiano, deja en evidencia que al implementar el proyecto mejora estas condiciones, por el hecho de que el riego por goteo tiene mayor eficiencia y al apoyarse en el sistema de control por medio de los datos de evapotranspiración y la estrategia de control feedforward, puede llegar a tener una eficiencia de riego superior al 90% ya suministrada por el riego por goteo, cabe decir que como se vio en el análisis del flujo de caja 9% están las posibilidades de que el proyecto no llegue a ser rentable en el aspecto económico. En cualquiera de estos casos no se están contemplando los beneficios de ahorro en agua y una mejora en la operatividad del encargado de regar, que al integrar sensores meteorológicos con un PLC y una interfaz HMI permite un control preciso y seguro (con lazos de funcionamiento para definir ciclos de riego, lazos de seguridad que previenen fallas como sobrepresiones, operación en vacío de la bomba, datos meteorológicos y sobre los componentes del sistema).

### **BIBLIOGRAFÍA**

- 1) Sruthi et al. (2021). "Optimization in Water Consumption in Irrigation Systems: Current Challenges and Future Directions." *Journal of Water Resources Management*.
- 2)
- 3) Prabhavathi et al. (2021). "Sustainable Agricultural Practices for Water Conservation." *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- 4) <https://www.iagua.es/especiales/sequia-chile>
- 5) <https://grupochamartin.com/noticias/la-importancia-de-un-sistema-de-riego-eficiente-en-la-agricultura-hacia-un-futuro-mas-verde/>
- 6) <https://www.agrohuerto.com/riego-por-goteo-que-es/>
- 7) <https://ventajasydesventajas.com/riego-por-goteo-ventajas-y-desventajas/>
- 8) <https://deagronomia.com/tecnicas-agricolas/sistema-de-riego-por-goteo/>
- 9) <https://agronoblog.com/sistemas-de-riego/los-sistemas-de-riego-en-la-agricultura/>
- 10) <https://rieggo.com/blog/la-importancia-de-la-eficiencia-hidrica-en-la-agricultura-moderna-beneficios-de-los-sistemas-de-riego-agricolas/>
- 11) <https://www.dorot.com/products-solutions/hydraulic-control-valves/plastic-pilot-operated-valves/upvc-valves-95-96-series-valvula-96>
- 12) Babu, S., Kumar, R., & Reddy, P. (2020). Agricultural Automation: Efficient Water Resource Management. *Journal of Agricultural Science*, 12(3), 45-58.
- 13) Batllori, X. (2020). Impacto Económico de la Gestión del Agua en la Agricultura. *Revista de Gestión Agrícola*, 9(1), 23-35.
- 14) Cabrera, A., & Montes, R. (2021). Desafíos y Estrategias en el Uso del Agua para la Agricultura. *Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos*, 18(4), 301-315.

- 15) Hassan, M., Lee, C., & Kim, S. (2021). Eficiencia de los Sistemas de Riego en el Uso de Agua y Energía. *International Journal of Agricultural Engineering*, 7(2), 101-110.
- 16) Nasir, M., Ali, M., & Ahmed, Z. (2020). Comparación de Métodos de Riego Manual y Automatizado. *Advances in Agricultural Systems*, 14(2), 200-210.
- 17) Tahir, M. (2017). Mejora de la Gestión de Recursos Hídricos en la Agricultura mediante Sistemas de Control Modernos. *Water Management Journal*, 5(3), 57-65.
- 18) <https://gargil.es/calculo-de-la-potencia-de-una-bomba-hidraulica/>
- 19) <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut206/doc1tut206.pdf>
- 20) <https://engineerexcel.com/swamee-jain-equation/>
- 21) <https://www.llaberiagroup.com/caracteristicas-tecnicas-generales-del-poli-etileno/>
- 22) <https://tienda.ingebio.cl/product/linea-de-gotero-quillay-16-09-2-0-l-h-a-030-m-x-500-m/>
- 23) [https://homevan.cl/producto/tuberia-75-mm-x-6-mts-pvc/?utm\\_source=Google%20Shopping&utm\\_campaign=WooCommerce%202025&utm\\_medium=cpc&utm\\_term=12390&utm\\_source=google-ads&utm\\_campaign=Maquinas+Maximo+Rendimiento&utm\\_agid=&utm\\_term=&creative=&device=c&placement=&UTM\\_keyword=&utm\\_campaign=Maquinas+Maximo+Rendimiento&gad\\_source=1&gbraid=0AAAAABcIX9kl4K0DkPq5P8mA8TbyUkSBc&gclid=Ci0KCQjwiLLABhCEARIsAJYS6ukieriHfDPIX1X8SZRQv2hCdKBrW89yHYLFpmRTALUSD4T9cl0WC5YaAmZCEALw\\_wcB](https://homevan.cl/producto/tuberia-75-mm-x-6-mts-pvc/?utm_source=Google%20Shopping&utm_campaign=WooCommerce%202025&utm_medium=cpc&utm_term=12390&utm_source=google-ads&utm_campaign=Maquinas+Maximo+Rendimiento&utm_agid=&utm_term=&creative=&device=c&placement=&UTM_keyword=&utm_campaign=Maquinas+Maximo+Rendimiento&gad_source=1&gbraid=0AAAAABcIX9kl4K0DkPq5P8mA8TbyUkSBc&gclid=Ci0KCQjwiLLABhCEARIsAJYS6ukieriHfDPIX1X8SZRQv2hCdKBrW89yHYLFpmRTALUSD4T9cl0WC5YaAmZCEALw_wcB)
- 24) <https://www.copeval.cl/valvula-reductora-dorot-75-2-84320.html>
- 25) <https://www.gaspaservices.cl/bombas-de-agua/bombas-de-superficie/alto-caudal/electrobomba-centrifuga-pedrollo-hf-6a-altos-caudales-de-3hp-en-380v.php#:~:text=%24%20670.174%20IVA%20Incl.>
- 26) <https://www.mercadolibre.cl/plc-siemens-s71200-modelo-1214c-dcdcrly-220-vac/up/MLCU3162933>

- 27) [https://www.mercadolibre.cl/siemens-simatic-hmi-6av21232gb030ax0/up/MLCU319132848#polycard\\_client=search-nordic&searchVariation=MLCU319132848&position=8&search\\_layout=stack&type=product&tracking\\_id=ab66254b-1a44-426c-ba71-ecbbd59d4b11&wid=MLC1463544461&sid=search](https://www.mercadolibre.cl/siemens-simatic-hmi-6av21232gb030ax0/up/MLCU319132848#polycard_client=search-nordic&searchVariation=MLCU319132848&position=8&search_layout=stack&type=product&tracking_id=ab66254b-1a44-426c-ba71-ecbbd59d4b11&wid=MLC1463544461&sid=search)
- 28) <https://redcapacitacion.cl/noticia/convertirse-en-instalador-electrico-todo-lo-que-necesita-saber/6736#:~:text=El%20salario%20de%20un%20instalador,capacitaciones%20y%20las%20certificaciones%20SEC.>
- 29) <https://spanish.alibaba.com/product-detail/IFM-sensor-Pressure-switch-with-intuitive-62482596701.html>
- 30) <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-fruta-abril-2023>
- 31) <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=169989>
- 32) <https://www.researchgate.net/publication/285121228>
- 33) <https://www.nature.com/articles/s41598-023-29852-5>
- 34) <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/51157>
- 35) <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00195032>
- 36) <https://pdfs.semanticscholar.org/cdd2/5f29ec3d451f2e7a9dffb0fcfb1536e78631.pdf>
- 37) <https://web.gruposaes.cl/fet-cliente-empresa>