

Resumen

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTÓNOMO DE GESTIÓN DE RIEGO PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Alvarez Gonzalez, Fermin José

fjalvarez1@gmail.com

García Dávila, Alexander Antonio

alexanderagarciaad@gmail.com

El Diseño de un Sistema Autónomo de Gestión de Riego para la Producción Agrícola, contempla el diseño y la elaboración de una interfaz de monitorización que obtenga, analice y envíe los datos del PLC a un computador que se encargue de tomar decisiones de riego, si está en el modo automático con parámetros previamente establecidos, o si se trabaja de forma manual, entonces el usuario decide si regar, fertilizar o no hacer nada.

Los datos recolectados del Sistema de Riego son: humedad del suelo, nivel mínimo de existencia de agua del tanque principal y presencia de lluvia. Esta información será usada para evaluar el manejo de la cosecha de la finca, realizar la fertilización adecuada y hasta realizar toda esta gestión de manera remota, para cuando no se pueda estar en la plantación.

El sistema está formado por dos subsistemas, el primero es la red de tuberías, bomba de presión, electroválvulas, aspersores, tanque de agua y tanque de fertilizantes e insecticidas, este subsistema está encargado de guiar el recurso del agua hasta la plantación. El segundo subsistema es el control del primer subsistema, que se encarga de enviar la señal de encender o apagar la bomba de presión y las electroválvulas a través del PLC y que es controlado de forma local o remota por la

interfaz de usuario, pero siempre haciendo lectura de los sensores de humedad, lluvia y bajo nivel de agua almacenada.

Palabras Claves: Sistema de Riego, Sensor, PLC, Monitorización y Durazno.

DEDICATORIA

*A nuestros padres (Lillian, Antonio, Lilliam y Coki) por haber estado siempre
a nuestro lado, orientándonos y enseñándonos valores que nos han formado en
hombres de bien.*

AGRADECIMIENTOS

El presente Trabajo Especial de Grado principalmente se lo agradecemos a Dios, que nos dio la fortaleza, la fe y salud para terminarlo. También queremos agradecer a nuestros padres, hermanos, abuelos, familiares y amigos que nos apoyaron, directa o indirectamente, leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndonos paciencia, dándonos ánimo, acompañándonos en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

A nuestro tutor el Ing. Luis Molner, por guiarnos y ayudarnos en el desarrollo de este proyecto, con su mejor actitud y disposición, dándonos sus consejos e importantes sugerencias en todo momento.

Al Prof. Wilfredo Torres, por la orientación que ayudó a preservar el enfoque inicial a lo largo de toda la elaboración de este Trabajo Especial de Grado.

A Mariana Pellicer, por todo su apoyo, compañía y paciencia a lo largo de la carrera, y en especial por aconsejarnos y estimularnos cada día de nuestras vidas a ser mejores personas.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	V
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
I.2 OBJETIVOS	6
I.2.1 Objetivo General.....	6
I.2.2 Objetivos Específicos.....	6
I.3 JUSTIFICACION.....	7
I.4 LIMITACIONES Y ALCANCES	9
I.4.1 Limitaciones	9
I.4.2 Alcances	9
CAPITULO II.....	10
MARCO TEÓRICO	10
II.1 El Riego	10
II.1.1 Tipos de Riego.....	11
II.1.1.1 Riego por Aspersión	11
II.1.1.2 Aspersores.....	12
II.1.1.3 Riego por Goteo	14
II.1.1.4 Goteros.....	15
II.1.2 Fuentes de Presión	16
II.1.2.1 Motor	16
II.1.3 Unidad de Filtraje	17
II.1.4 Unidad de Fertilización	18
II.1.4.1 Sistemas de fertirriego	18
II.1.4.2 Tanques de fertilización.....	18
II.1.5 Inyectores	21
II.1.6 Bomba del sistema	22
II.1.7 Elementos de Programación y Control de Flujo.....	22

II.1.8 Red de Distribución	23
II.1.9 Tuberías	23
II.1.9.1 Tubería de PVC	23
II.1.9.2 Tuberías de PE.....	25
II.2 Duraznos	26
II.2.1 Requerimientos del cultivo de duraznos	28
II.2.2 El cultivo de durazno en la cordillera de la costa	29
II.2.3 Aspectos críticos de la producción	29
II.2.4 Criterios de Riego	30
II.3 PLC.....	33
II.3.1 Tipo de entradas de un PLC	34
II.3.2 Tipos de salidas de un PLC	35
II.3.2.1 Salidas Digitales	35
II.3.2.2 Salidas Analógicas.....	36
II.4 Sensores	37
II.4.1 Discretos.....	37
II.4.2 Analógicos	38
II.5 Protocolo TCP/IP	39
CAPÍTULO III	42
METODOLOGÍA DEL DESARROLLO	42
III.1 FASE I: Investigación y Levantamiento de información.	42
III.2 FASE II: Diseño del Sistema y Selección de Equipos	43
III.3. FASE III: Diseño de Interfaz Gráfica y Código del PLC.....	43
III.4 FASE IV: Evaluación del Sistema Diseñado.....	44
III.5 FASE V: Ajustes del Sistema	44
CAPITULO IV	45
DESARROLLO	45
IV.1. Estudio de la situación actual de la finca	45
IV.2. Diseño del Sistema.....	47
IV.2.1 Esquema del Diseño.....	48
IV.2.2 Descripción del Sistema	49
IV.2.2.1 Riego.....	50
IV.2.2.1.1 Manual	50
IV.2.2.1.1.1 Requerimientos.....	51
IV.2.2.1.1.2 Condiciones	51
IV.2.2.1.2 Automático.....	52

IV.2.2.1.2.1 Requerimientos.....	52
IV.2.2.1.2.2 Condiciones	52
IV.2.2.2 Fertilización.....	54
IV.2.2.2.1 Requerimientos	54
IV.2.2.2.2 Condiciones	55
IV.3 Selección de Equipos	55
IV.3.1 Bomba de Riego	55
IV.3.2 Tuberías	56
IV.3.3 Goteros.....	56
IV.3.4 Sensor de Humedad	57
IV.3.5 Inyector tipo Venturi	57
IV.3.6 Flotante de Agua	58
IV.3.8 Sensor de Lluvia.....	58
IV.3.9 Electroválvulas	59
IV.3.10 Sistema de PLC	59
IV.3.10.1 CPU del PLC	59
IV.3.10.2 Chasis del PLC.....	60
IV.3.10.3 Modulo de Entradas del PLC.....	60
IV.3.10.4 Modulo de Salidas del PLC	61
IV.4 Selección de Software	61
IV.4.1 Software de Programación del PLC	62
IV.4.2 Software Emulador del PLC	62
IV.4.3 Software de Comunicaciones.....	62
IV.4.4 Software de la Interfaz con el Usuario	63
IV.5 Selección de la solución para la comunicación con el sistema remoto.....	63
IV.6 Interfaz Gráfica y Pruebas del Sistema	65
CAPÍTULO V	71
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	71
CAPÍTULO VI	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
VI.1 Conclusiones.....	73
VI.2 Recomendaciones	74
BIBLIOGRAFÍA	75
APÉNDICES	77

APÉNDICE A: ESPECIFICACIONES DE SENSOR IRROMETER WATERMARK 200SS-V	78
APÉNDICE B: TABLA DE CALIBRACIÓN DEL 200SS-V	80
APÉNDICE C: RUTINA PRINCIPAL	81
APÉNDICE D: CODIGO PLC, RUTINA DE CONTROL DE ENCENDIDO/APAGADO DE LA BOMBA.....	82
APÉNDICE E: RUTINA SIMULACIÓN VALORES DE HUMEDAD.....	86
APÉNDICE F: RUTINA APERTURA Y CIERRE DE ELECTROVÁLVULAS.....	89

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Riego por aspersión	11
Ilustración 2: Aspersor Movil.....	13
Ilustración 3: Aspersores Fijos	13
Ilustración 4: Riego por goteo	14
Ilustración 5: Goteo de botón insertado	15
Ilustración 6: Filtro de arena (izquierda) y de malla (derecha)	17
Ilustración 7: Inyector de fertilizante tipo Venturi	19
Ilustración 8: Inyector Tipo Venturi	20
Ilustración 9: Fertilización con Tanque en Paralelo	21
Ilustración 10: Inyector Hidráulico	21
Ilustración 11: Inyector Eléctrico	22
Ilustración 12: Red de distribución de una instalación de riego localizado	26
Ilustración 13: Duraznos	27
Ilustración 14: Árbol de Durazno de altura media (3 a 5 metros)	28
Ilustración 15: Varios Modelos de PLC.....	34
Ilustración 16: Sensor de humedad del suelo	38
Ilustración 17: Sensor de humedad del suelo resistivo	39
Ilustración 18: Tanque principal de agua Finca el Pinar con medidas	46
Ilustración 19: Esquema de diseño general	48
Ilustración 20: Bomba de Agua IPT de 2HP.....	56
Ilustración 21: Tubería de Polietileno	56
Ilustración 22: Gotero RainBird	57
Ilustración 23: Sensor de Humedad Watermark 200SS-V.....	57
Ilustración 24: Inyector Venturi Mazzei Venturi-75	58
Ilustración 25: Flotante de Agua ALS HYSK104	58
Ilustración 26: Sensor de Lluvia RainBird RSD-BEX	59
Ilustración 27: Electroválvula RainBird 150-PEB	59

Ilustración 28: CPU del PLC ControlLogix 1756	60
Ilustración 29: Chasis del PLC ControlLogix	60
Ilustración 30: Modulo de Entradas del PLC 1756 ControlLogix Digital/Analog VAC Input Module	61
Ilustración 31: Modulo de Salidas del PLC 1756 ControlLogix Digital VAC 2 Amp Output Module.....	61
Ilustración 32: Puerta de configuración de equipos remotos vía Linx.....	64
Ilustración 33: RSLogix Emulate 5000 Chassis Monitor	65
Ilustración 34: Interfaz grafica, modo de operación “Manual”	67
Ilustración 35: Interfaz grafica, modo de operación “Automatica”	68
Ilustración 36: Ventana parametros de simulacion.....	68
Ilustración 37: Interfaz grafica, modo de operación “Fertilizacion”	70
Ilustración 38: Especificaciones de sensor Irrometer Watermark 200SS-V (Parte 1)	78
Ilustración 39: Especificaciones de sensor Irrometer Watermark 200SS-V (Parte 2)	79
Ilustración 40: Tabla de calibración del 200SS-V	80
Ilustración 41: Rutina Principal del Programa	81
Ilustración 42: Codigo PLC, rutina de control de encendido/apagado de la bomba (Parte 1).....	82
Ilustración 43: Codigo PLC, rutina de control de encendido/apagado de la bomba (Parte 2).....	83
Ilustración 44: Codigo PLC, rutina de control de encendido/apagado de la bomba (Parte 3).....	84
Ilustración 45: Codigo PLC, rutina de control de encendido/apagado de la bomba (Parte 4)	85
Ilustración 46: Rutina de Simulación de Valores de Humedad (Parte 1)	86
Ilustración 47: Rutina de Simulación de Valores de Humedad (Parte 2)	87
Ilustración 48: Rutina de Simulación de Valores de Humedad (Parte 3)	88
Ilustración 49: Rutina Apertura y Cierre de Electroválvulas (Parte 1).....	89
Ilustración 50: Rutina Apertura y Cierre de Electroválvulas (Parte 1).....	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Presión de trabajo y presión de ruptura para tubos de PVC	25
Tabla 2: Déficit permitido de manejo de riego (DPM, %) y profundidades de las raíces (pies) para algunos cultivos	32
Tabla 3: Configuración de equipos remotos	64

INTRODUCCIÓN

Hoy en día las tecnologías de automatización y comunicación experimentan un explosivo crecimiento, desde rotativas de imprenta hasta embotelladoras son controladas completamente por PLC y gestión remota. Este vertiginoso crecimiento ha incentivado a la Producción Agrícola, específicamente la Finca El Pinar del Jarillo a realizar un estudio de diseño para la automatización y control de riego remoto para la plantación de Durazno.

La finca en busca del mejor manejo del recurso del agua y los fertilizantes ha dejado realizar un estudio a fondo de la problemática, para elaborar un diseño final que abarque toda la estructura necesaria para cumplir con dicho objetivo.

El siguiente Trabajo Especial de Grado se divide en varios capítulos, los cuales exponen el procedimiento llevado a cabo en el estudio propuesto.

En el primer capítulo se presenta el planteamiento del problema, los objetivos a lograr, el alcance del estudio y sus limitaciones; y por último, la justificación del mismo.

El segundo capítulo presenta el marco teórico que sustenta de conocimientos el desarrollo del proyecto. Éste se basa en los conceptos y equipos referentes a los sistemas de riego y protocolos de comunicación, funcionamiento y herramientas del sistema de gestión y técnicas de riego para la producción agrícola.

En el capítulo tres, se detalla la metodología empleada para la realización del proyecto, junto con una descripción de las actividades llevadas a cabo en cada fase de desarrollo del mismo. De esta forma se trabajó de una manera ordenada y óptima, asegurando así el cumplimiento de los objetivos planteados.

Seguidamente, el capítulo cuatro expone de manera detallada el desarrollo del proyecto en las distintas fases y módulos que lo componen, según la metodología implementada. Los resultados obtenidos en este capítulo fueron expuestos y analizados con detenimiento en el capítulo cinco, referente a resultados.

Por último, el sexto capítulo presenta las conclusiones obtenidas de la ejecución del proyecto, además de las recomendaciones.

El diseño final de ser implementado contribuiría con el ahorro del recurso más importante para el sustento humano, el agua, ya que el sistema buscara hacer uso del recurso lo mínimo necesario para una cosecha ideal del Durazno evitando pérdidas de siembra en temporadas de sequía, basándose en el valor de la humedad relativa del suelo y en otros factores como la lluvia.

CAPÍTULO I

I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es el principal e imprescindible componente del cuerpo humano. El ser humano no puede estar sin beberla más de cinco o seis días sin poner en peligro su vida. El cuerpo humano tiene un 75 % de agua al nacer y cerca del 60 % en la edad adulta.

Dicho recurso es potencialmente más vulnerable a los cambios climáticos. A pesar del enorme volumen de agua que existe en el planeta, 1,41 mil millones de km³, sólo el 2% es agua dulce, la mayor parte de la cual (alrededor del 87%), se encuentra en capas de hielo, glaciares y aguas subterráneas, y un 13% (unos 2000 km³) es la cantidad de agua disponible, que se encuentra en ríos, lagos y otros cuerpos de agua dulce.

Durante décadas uno de los principales problemas para el cultivo ha sido la falta o abundancia de agua, esta ha sido causante de grandes pérdidas a través de la historia donde por causas de sequía, las cosechas se secaban bajo el incesante sol, o por otro lado, a causa de grandes tormentas donde el exceso de agua ha sido tal que ha llegado a dañar las plantas y se han llegado a perder innumerables hectáreas desde que se practica la agricultura.

Para obtener una buena cosecha es necesario e indispensable el buen uso del recurso del agua, cada planta requiere de una cierta cantidad para su sano crecimiento, por lo que el suelo requiere mantener un nivel de humedad constante y adecuado.

En la actualidad, incluso después de miles de años esto sigue siendo un problema y un factor a considerar para todo aquel que desee incursionar en este mundo de las tierras y sus frutos, gracias a la tecnología actual es posible controlar este factor de una manera mucho más eficiente que en la antigüedad, aunque muchas fincas aún no se han familiarizado a estas tecnologías donde se sigue implementando un riego manual, en donde se accionan los aspersores según el criterio y conocimiento de una persona sin ningún instrumento tecnológico.

Es por esto que se desea diseñar un sistema de riego para la Finca el Pinar capaz de controlar distintas variables de manera medible, como son la humedad relativa de los suelos, la cual nos permitirá mantener un crecimiento óptimo de los cultivos. La Finca posee una extensión de 30 hectáreas, ubicada en las montañas del Jarillo, Edo. Miranda, cercano a la Colonia Tovar y fundado por alemanes, se encuentra a unos 1500 msnm con una temperatura promedio de 18 grados centígrados y una humedad relativa de 70%. Las tierras por esa zona tienden a ser laderas por lo que dicho diseño tendrá que ser adecuado para las características del terreno.

Estos controles se lograrán configurando un sistema (como podría ser un PLC) y distintos sensores que se implementarán en distintas locaciones de la finca para obtener los datos antes mencionados.

Como medida para controlar el fertilizante y los insecticidas entonces se integrará al sistema todos los controles necesarios para la aspersión de los mismos.

Con la implementación de este sistema se busca lograr una abundante cosecha, manteniendo los suelos regados con la cantidad necesaria de agua, en caso de lluvia o sequía se podrá conocer si es necesario una mayor o menor cantidad de agua, así como se podrá reducir el tiempo de riego si el suelo alcanza la humedad necesaria antes del tiempo esperado, por lo que el uso de un recurso natural tan importante en la actualidad como el agua es mucho más eficiente e impediría que se perdiese la cosecha.

El encargado de la finca podrá ver a través de una interfaz gráfica en un sitio remoto si así se quisiese, el estado actual de todo lo referente a las variables antes mencionadas y así podrá sacar una conclusión para tomar una acción o simplemente dejar trabajando el sistema con su configuración automática.

Si dicho sistema fuese aplicado en toda la producción agrícola, entonces el ahorro del recurso sería inmenso, usando solo lo necesario y asegurando a nuestra generación de relevo la disponibilidad de agua para el sustento de la vida.

I.2 OBJETIVOS

I.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de riego automatizado para una plantación agrícola, controlándose el recurso del agua, fertilizantes e insecticidas de manera óptima, para esto se diseñará una plataforma donde se realizarán las acciones de gestión y monitoreo a través de una interfaz gráfica remota.

I.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio exhaustivo de la finca El Pinar, de manera tal de reconocer las variables y parámetros a ser usados para el diseño del sistema de riego.
- Evaluar los equipos necesarios para llevar a cabo el diseño del sistema de riego.
- Diseñar una solución de comunicaciones que realizará la gestión y monitoreo remoto del sistema de riego.
- Diseñar una interfaz gráfica que permita al usuario la gestión y monitoreo remoto del sistema de riego.
- Evaluar el sistema de riego automatizado diseñado.

I.3 JUSTIFICACIÓN

La realización de este proyecto se justifica en el hecho de que un sistema de riego autónomo es muy útil en diferentes aspectos. En este punto se presentan las ventajas que traería la implementación del proyecto en la finca agrícola El Pinar, entre ellas están:

1. Establecer un sistema que sea capaz de controlar de manera óptima el recurso del agua. Gracias a este sistema basado en PLC, durante la época de sequía, el suministro de agua para las plantas estará garantizado.
2. Control del valor de humedad presente en el suelo mediante las mediciones realizadas por distintos sensores, lo que permite un mayor control y racionamiento de agua.
3. Capacidad de detener el riego, si existiese la presencia de lluvia en la finca.
4. Capacidad de evitar daños en el sistema a la hora de regar o fertilizar, mediante algoritmos que verificarán que las condiciones necesarias para realizar dichas actividades se cumplan.
5. Control de fertilización, logrando un mayor control de los químicos a través de una aspersión más uniforme, reduciendo los insecticidas necesarios, así como reduciendo los costos para la finca.

Si el sistema de riego basado en PLC además se relaciona con una interfaz gráfica la cual pueda ser controlada y gestionada remotamente a través de un protocolo IP, se pueden obtener las siguientes ventajas:

1. Los operarios pueden verificar la situación del riego de la finca, de manera remota, sin necesidad de encontrarse presente en la Finca.
2. El sistema puede activar o desactivar el proceso de fertilización de manera remota.

3. La interfaz gráfica representa una herramienta intuitiva para el operario, la cual es capaz no solo de activar o desactivar el riego y la fertilización, sino que es capaz también de verificar el estado del motor, las electroválvulas, la humedad, entre otras, de una manera gráfica.

I.4 LIMITACIONES Y ALCANCES

I.4.1 Limitaciones

En este Trabajo Especial de Grado se realizará únicamente el diseño, y no contará con el suministro de equipos, los mismos serán adquiridos a posterior bajo un proceso de licitación.

Este sistema de riego será específico para un tipo de siembra, el durazno en nuestro caso.

Las Licencias para el uso de los Software's de Rockwell Automotion son sumamente costosas, por lo que en algunos casos no se cuentan con todas las características del programa.

I.4.2 Alcances

El presente trabajo incluirá el diseño de un programa en escalera para el PLC a través del Software *RSLogix 5000*, además incluirá una interfaz gráfica creada a través del Software *Factory Talk View Studio*, donde el usuario podrá tener acceso remoto para el monitoreo y gestión del riego en la finca.

Además incluirá el diseño del sistema de riego que será capaz de proporcionar el agua necesaria para mantener los suelos a una humedad específica para el cultivo de durazno y surtir el fertilizante e insecticida. El sistema podrá ser programado para cumplir dichas funciones apoyándose en las lecturas de distintos sensores, basándose por supuesto en la teoría específica para una buena cosecha de durazno.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Para lograr el desarrollo de este proyecto, es necesario familiarizarnos con distintos conceptos, es por ello que se realiza una exhaustiva investigación en todas las partes que compondrán el sistema de riego autónomo. Es necesaria la investigación de muchos aspectos diferentes, comenzando por los sistemas de riego en sí, desde los tipos de ductos que existen, así como de bombas que nos permitan dar movimiento del agua, aspectos muy importantes como los distintos tipos de aspersores existentes, entre otras cosas. Muy importante también, viene siendo cómo se comporta el duraznero, cuales son las condiciones necesarias, que niveles de agua necesita, cada cuanto tiempo debe recibir agua, entre otros.

Desde el punto de vista tecnológico es necesario estudiar detalladamente los distintos tipos de soluciones posibles para lograr el objetivo final de poder regar el durazno de manera autónoma, entran en juego distintos elementos, desde sensores, módulos de control, interfaces web, comunicaciones entre el usuario y el sistema entre otros.

II.1 El Riego

El riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer en este el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos. Un buen riego no es el que moja uniformemente la superficie del suelo, sino aquel

que moja adecuadamente el perfil del suelo hasta donde se encuentra la gran masa de las raíces de un cultivo.

II.1.1 Tipos de Riego

II.1.1.1 Riego por Aspersión

El riego por aspersión es aquel que se aplica en forma parecida a la lluvia, resultado que se obtiene haciendo pasar el agua por orificios, necesitando para ello considerables presiones, obtenidas por gravedad o bombas de agua.

Este riego puede ser usado para una gran gama de suelos debido a la flexibilidad de su uso y control. Entre los suelos que no pueden ser regados eficientemente con métodos tradicionales tenemos los suelos arenosos, arcillosos y aquellos que poseen pendientes pronunciadas, es aquí donde el riego por aspersión trabaja de forma más eficiente que otros métodos [1].



Ilustración 1: Riego por aspersión
Fuente: [1]

Entre las principales ventajas de este tipo de riego tenemos:

- 80% en la aplicación, uniformidad y penetración en el perfil del suelo.
- No posee limitación en el tipo de suelo.
- Se pueden aplicar fertilizantes.
- Mano de obra muy económica si se cuenta con automatización.

- Se puede aplicar en suelos de cualquier pendiente sin necesidad de nivelación del suelo.

II.1.1.2 Aspersores

Se denomina aspersor al dispositivo mecánico que está destinado a esparcir a presión un determinado líquido (al cual transforma en rocío), tal como ocurre con el agua para el riego o los herbicidas químicos.

En agricultura es bastante común el uso de aspersores (pulverizadores) para la aplicación de: insecticidas, herbicidas, fungicidas y micronutrientes. Algunos de los materiales se aplican directamente en forma de polvo, pero la mayoría en forma de soluciones (concentrado soluble), suspensiones (polvo mojable) o emulsiones (concentrado emulsionable).

De acuerdo a las características que posea este elemento o cómo haya sido construido, es posible identificar a este objeto como un aspersor de giro mecánico o como un aspersor eléctrico en distintos tamaños y hasta en una amplia variedad de colores.

El primero de los tipos mencionados tiene la particularidad de acumular la energía para girar a través de la presión del líquido previo a ser expulsado, mientras que el segundo funciona con energía eléctrica, la cual estimula un rotor embobinado para lograr el giro [1].

Los aspersores se pueden clasificar según distintos criterios:

Según el mecanismo de giro:

- De Impacto: los más utilizados en la agricultura

Según la superficie regada:

- Circulares: aspersores que mojan una superficie circular
- Sectoriales: aspersores que solo mojan una porción de una superficie circular

Según la presión de trabajo:

- Aspersor de alta presión: Superior a 4 kg/cm², entre 4 y 8 bar, especialmente diseñados para riego de cultivo de maíz, caña de azúcar, plantaciones de alfalfa, etc. El diámetro de círculo varía entre 60 y 150 metros.
- Aspersor de presión media: presión entre 2 y 4 kg/cm², entre 2 y 4 bar, diseñados con una dostoheras y se adaptan a todo tipo de cultivo y suelo. El diámetro de círculo humedecido varía entre 21 y 39 metros.
- Aspersor de baja presión: presión inferior a 2 kg/cm², entre 1 y 2 bar, diseñado especialmente para riego de árboles frutales, posee una boquilla de bajo ángulo de salida.



Ilustración 2: Aspersor Movil
Fuente: [1]



Ilustración 3: Aspersores Fijos
Fuente: [1]

II.1.1.3 Riego por Goteo

El riego por goteo es que aquel aplica agua filtrada y fertilizantes directamente sobre el cultivo. Este método no esparce el agua sino que la libera a baja presión en el perfil del suelo en una forma predeterminada.

El agua se transporta a través de una red de tuberías hasta cada planta en donde sale por los emisores en forma de gotas, dichos emisores son los goteros y se encargan de disipar la presión del agua por medio de un orificio muy pequeño, solo descargan unos pocos litros por hora en cada emisor [1].



Ilustración 4: Riego por goteo
Fuente: [1]

Después de dejar el gotero, el agua cae producto de la gravedad, y se distribuye por todo el perfil del suelo.

Las principales ventajas del riego por goteo son:

- Su eficiencia de riego es la más alta de entre todos los tipos de riego, entre un 90 a 95%, teniendo además una distribución de agua muy uniforme.
- Reduce las pérdidas directas por evaporación.
- No causa movimiento de gotas de agua por efecto del aire.
- Los intervalos de aplicación de riego se pueden ajustar exactamente al tipo de suelo y cultivo.
- El sistema necesita supervisión constante.

- El agua se aplica de modo que llegue sólo a las raíces del cultivo, evitando el crecimiento de malezas, pérdidas de agua, etc.
- Se puede aplicar fertilizantes y pesticidas solubles a través del riego.
- Ayuda a controlar la erosión.

II.1.1.4 Goteros

Los goteros son los dispositivos por el cual el agua pasa de las tuberías de la red de distribución al suelo en forma lenta y pareja.

Los goteros están diseñados para entregar caudales de agua que varían entre 1 a 10 litros por hora, dependiendo de las características del gotero. Su funcionamiento consiste en hacer pasar el agua del sistema al suelo a través de pequeños orificios, lo que provoca una pérdida de carga, producto del roce, haciendo que la presión a la salida tenga un valor mínimo, cercano a cero.

Existe una gran variedad de goteros, los modelos más usados son, los de largo recorrido, los de orificio y las cintas de goteros [1].



Ilustración 5: Goteo de botón insertado
Fuente: [1]

Entre los goteros de largo recorrido están:

- Los goteros de micro tubo, el cual se inserta directamente al lateral de riego. Posee la ventaja de su bajo costo, pero tiene la desventaja de ser muy sensible a los cambios de temperatura y presión, afectando con ello la uniformidad de la entrega del agua.
- Los goteros helicoidales, los que consisten en una variación del micro tubo, pero este se enrolla alrededor de un cilindro, con los que se consiguen goteros más compactos.
- Los goteros de laberinto, son el último tipo de goteros de largo recorrido. En ellos el agua recorre una larga trayectoria con el fin de producir una alta pérdida de carga, con lo que son muy sensibles a la variación de temperatura, presión y obstrucciones.

Entre los goteros de orificio, están los goteros de botón autocompensantes, los que poseen un mecanismo que responde a las variaciones de presión.

Además de ser más caro, su principal inconveniente es el envejecimiento de un material que posee, esto pasa debido a la acción de la variación de la temperatura y presión. Para este tipo de goteros se justifica su utilización en terrenos muy accidentados.

II.1.2 Fuentes de Presión

Sin lugar a dudas el principal componente de un sistema de riego presurizado es la fuente impulsora, esta es la que debe otorgar presión y un caudal de agua suficiente al sistema: situación que debe estar en función de las necesidades que demanda una instalación en particular [1].

II.1.2.1 Motor

Los Motores pueden ser de explosión, a gasolina, a diésel o eléctricos. La aplicación dependerá de la ubicación geográfica de los sistemas de riego, ya que si se dispone de energía eléctrica con la potencia suficiente en el sector, se recomienda la

utilización en mayor parte de un motor eléctrico que uno de gasolina o diésel para hacer trabajar la bomba.

II.1.3 Unidad de Filtraje

Corresponde a una unidad de singular importancia en el cabezal, dado que su acción impide el taponamiento u obturación de los emisores. Esto nos indica que el agua que se va a aplicar al terreno debe ir filtrada: utilizándose para tal función dos elementos complementarios:

- Filtro de arena
- Filtro de Malla

Ambos tipos de filtros deben instalarse si se utilizan aguas superficiales (canal, vertiente). Cuando se utiliza agua de pozo se puede obviar el filtro de arena [1].

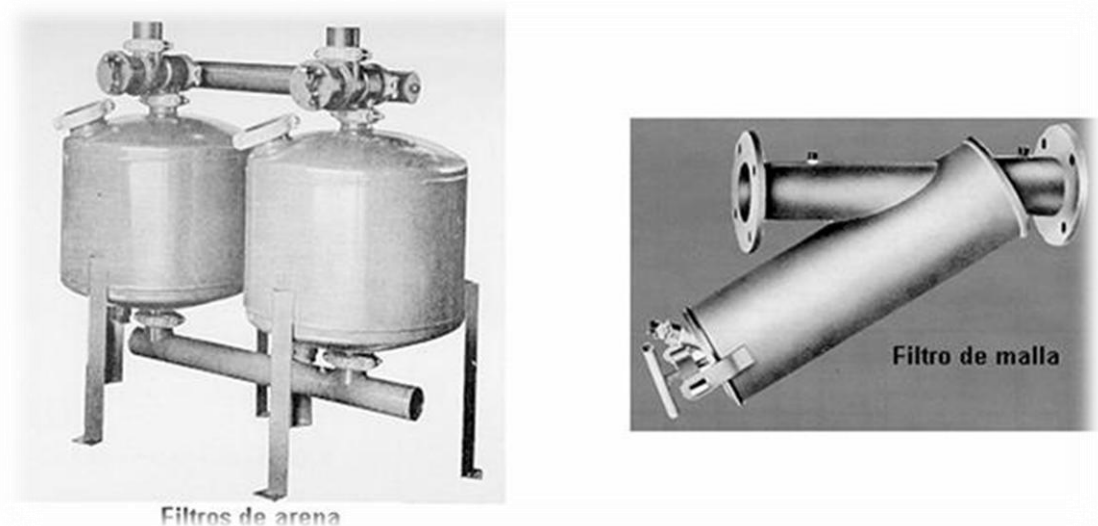


Ilustración 6: Filtro de arena (izquierda) y de malla (derecha)
Fuente: [1]

II.1.4 Unidad de Fertilización

II.1.4.1 Sistemas de fertirriego

La fertirrigación es una práctica imprescindible cuando se riega de manera localizada. Consiste en la distribución del fertilizante a través del agua de riego. Es una práctica bastante sencilla y usual en riego localizado para aportar al cultivo los elementos nutritivos necesarios para un desarrollo adecuado.

Lo más usual es que los elementos del sistema de fertirriego se instalen en el cabezal. Sin embargo, en determinadas ocasiones se colocan en cabecera de cada unidad de riego si el sistema riega diferentes cultivos con distintas necesidades de abonado. Es indispensable que el equipo de fertirriego se instale después del sistema de filtrado basto (hidrociclón o arena) y antes de la unidad de filtro de malla o anillas.

Tanto los abonos principales como los micro elementos que el parronal, frutal o cultivo necesita, cuando se utilizan estos sistemas, pueden ser incorporados en el agua de riego, siempre y cuando estos abonos sean solubles en agua. También pueden aplicarse ácidos (ácido sulfúrico, clorhídrico, fosforo, nítrico), fungicidas y desinfectantes, como hipoclorito de sodio, por ejemplo.

Existen dos clases de aparatos para la incorporación de abonos al agua: los tanques de fertilización y los inyectores de abono [2].

II.1.4.2 Tanques de fertilización

Los tanques de fertilización, en general son depósitos de 20-200 litros, en donde se coloca el abono. De acuerdo a como funcionan pueden dividirse en dos tipos:

-Tipo Venturi

Son dispositivos muy sencillos que consisten en una pieza en forma de T con un mecanismo Venturi en su interior. El mecanismo Venturi aprovecha un efecto vacío que se produce a medida que el agua fluye a través de un pasaje convergente

que se ensancha gradualmente. El Venturi funciona cuando hay diferencia entre la presión del agua entrante y la de la combinación de agua y fertilizante saliente al sistema de riego.

Este dispositivo generalmente se instala en paralelo, debido a que el caudal que circula por el sistema rebasa la capacidad del propio Venturi. Por este motivo los dispositivos más usados se basan en una combinación del principio Venturi y de diferencia de presión. Si se decide instalar el Venturi en paralelo se requerirá una diferencia de presión entre la entrada y la salida del orden del 20%. Es necesario indicar que el tanque tipo Venturi tiene una capacidad de succión reducida, por lo que se recomienda su uso, principalmente en instalaciones pequeñas. La mayor ventaja de este tipo de fertilizador es su bajo costo y fácil mantención.



Ilustración 7: Inyector de fertilizante tipo Venturi
Fuente: [2]

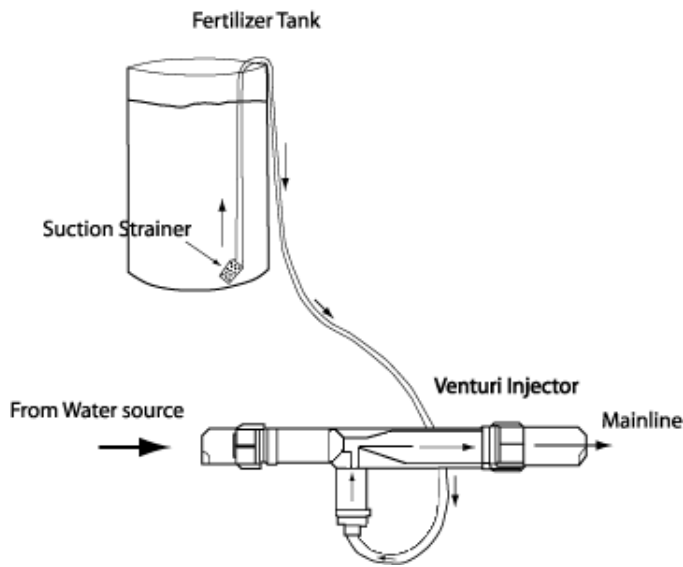


Ilustración 8: Inyector Tipo Venturi
Fuente: [2]

-Tipo tanque en paralelo

Son dispositivos cuya principal característica es la de poseer un depósito donde se pone la solución concentrada de abono que quiere incorporarse a través del sistema de riego. En su interior alcanza la misma presión que en la red de riego una vez que ha sido cerrado. Por este motivo, el tanque debe ser metálico o de plástico reforzado, colocándose paralelamente a la conducción principal. En esta se instalan dos tomas de enganche rápido separadas por una válvula para producir una diferencia de presión entre ellas.

Estos tanques son sencillos y de buen funcionamiento aunque presentan el inconveniente de no mantener una aplicación uniforme, ya que la concentración de abono va disminuyendo con el riego hasta el final del mismo. Para solucionar este inconveniente se recomienda consumir una carga del tanque por unidad operacional de riego.

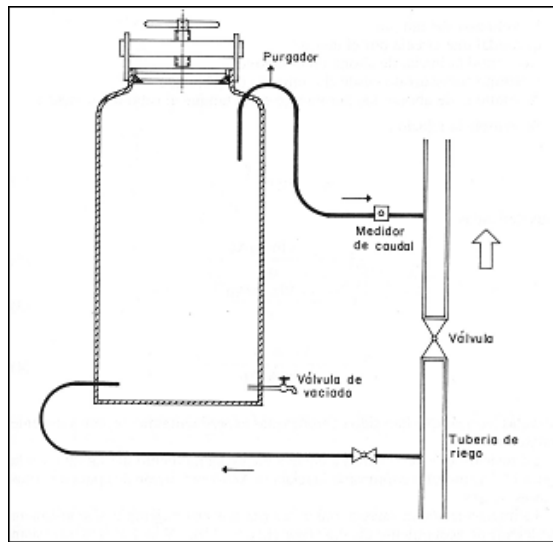


Ilustración 9: Fertilización con Tanque en Paralelo
Fuente: [2]

II.1.5 Inyectores

Son dispositivos que introducen la solución contenida en un depósito accionando una bomba eléctrica o hidráulica. Inyectan, mediante una bomba conectada al motor, la solución nutritiva contenida en un depósito que no está conectado a la red y por tanto no está sometido a presión. Mantiene una concentración constante de fertilizante en el agua de riego que puede ser seleccionada con un dosificador acoplado al inyector [3].



Ilustración 10: Inyector Hidráulico
Fuente: [3]



Ilustración 11: Inyector Eléctrico
Fuente: [3]

II.1.6 Bomba del sistema

Algunos agricultores e instaladores, usan como inyector de fertilizante la propia bomba del sistema de riego por goteo. En este caso, la mezcla de fertilizante es ubicada en un tanque paralelo para luego ser aspirada por la bomba. Es necesario indicar que este sistema podría tener el inconveniente de deterioro anticipado del rotor de la bomba [4].

II.1.7 Elementos de Programación y Control de Flujo

Son Elementos electrónicos que permiten automatizar el accionamiento de la red y a la vez operar en forma de secuencias en distintos sectores. Su inclusión, aun cuando es opcional, se justifica en instalaciones de gran superficie o de difícil manejo. Se usan también para automatizar el proceso de limpieza de los filtros.

Entre los elementos de regulación y control de flujo están las válvulas de distinto tipo: de paso, reguladores de presión, de retención (check), hidráulicos, electrónicos, volumétricos, etc. Su operación directa o indirecta (mediante programadores) regulan el comportamiento del flujo y la presión de la red [4].

II.1.8 Red de Distribución

La red de distribución conduce el agua desde el cabezal hasta las plantas. La tubería que parte del cabezal se denomina principal. El área a regar se divide en unidades de riego según determinados criterios, superficie, cultivo, suelo, etc., siendo la tubería que abastece cada unidad de riego la denominada secundaria. Las tuberías denominadas laterales (ramales o porta emisores) están abastecidas por una tubería terciaria y es donde se encuentra colocados los emisores de riego localizado. La superficie regada por cada terciaria se llama subunidad de riego. Al conjunto de subunidades de riego que se riegan desde un mismo punto se denomina unidad de riego.

Las tuberías que se utilizan en riego localizado son normalmente de plástico, siendo los materiales más frecuentes el PVC (policloruro de vinilo) y el PE (polietileno). Las tuberías laterales, las terciarias y normalmente las secundarias se instalan de PE, mientras que la tubería principal puede ser de PE o de PVC, dependiendo de su diámetro, cuando se riega cultivos anuales. En el caso de cultivos leñosos, ya que van a estar ocupando el terreno por un largo periodo de tiempo, se instalan tuberías de PVC enterradas (para evitar el deterioro ocasionado por la exposición a la radiación solar) incluidas la terciaria, de las que parten los laterales porta emisores, que suelen ser de PE de baja densidad [3].

II.1.9 Tuberías

II.1.9.1 Tubería de PVC

Entre los plásticos más comunes (PVC, ABS, PE, EXPOXXY), hay grandes diferencias en sus propiedades físicas y químicas, dando lugar estos a diversos tipos y grados para cada plásticos. El PVC tiene cuatro tipos, los cuales a su vez pueden tener varios grados, de esta forma el Tipo I tiene gran resistencia a la tracción y buena resistencia química aunque su resistencia al impacto es menor a la del Tipo II, este a su vez no tiene buena resistencia a la tracción y a los agentes químicos

(corrosión) como el Tipo I, pero presenta mayor resistencia al impacto.

La aceptación de las tuberías de PVC se debe a sus ventajas económicas y técnicas, algunas de estas propiedades son:

- Gran resistencia a la erosión.
- Gran resistencia mecánica.
- Alta resistencia química.
- Alta resistencia al envejecimiento.
- Bajo coeficiente de elasticidad.
- Bajo coeficiente de fricción.
- Bajo peso.
- Gran resistencia al golpe de ariete.

Algunas limitaciones de los materiales PVC son:

- La resistencia al impacto se reduce a temperatura cercana o inferior a 0°C.
- La tubería PVC Tipo I, grado I, no debe quedar expuestas a los rayos solares por periodos prolongados, ya que estos pueden afectar sus propiedades mecánicas.

En la tabla siguiente se muestra la presión mínima de ruptura y máxima de trabajo en función de la clase de tubería [1].

Clase	Presión Mínima de Ruptura	Presión Máxima de Trabajo
16	68 kg/cm ² (680 m.c.a)	16 kg/cm ² (160 m.c.a)
10	51 kg/cm ² (510 m.c.a)	10 kg/cm ² (100 m.c.a)
6	28 kg/cm ² (280 m.c.a)	6 kg/cm ² (60 m.c.a)
4	22 kg/cm ² (220 m.c.a)	4 kg/cm ² (4 m.c.a)

Tabla 1: Presión de trabajo y presión de ruptura para tubos de PVC

Fuente: [1]

II.1.9.2 Tuberías de PE

El polietileno (PE) es un plástico derivado del etileno, al que se somete a un proceso de calor y presión y que provoca su polimerización. Las tuberías de polietileno se fabrican mediante extrucción [1].

Las tuberías de PE presentan dos ventajas respecto a la tubería de PVC:

- Se puede instalar al aire libre.
- Es flexible y menos frágil.

Estas tuberías presentan también algunas desventajas, como lo son:

- La tubería y accesorios de PE, es de mayor costo que la tubería de PVC, ya que el PE posee menor resistencia a la tracción y para un mismo diámetro y presión nominal se necesita un espesor mayor de tubería implicando más cantidad de material en su fabricación.
- La presión de trabajo en la tubería de PE se reduce al aumentar su temperatura.

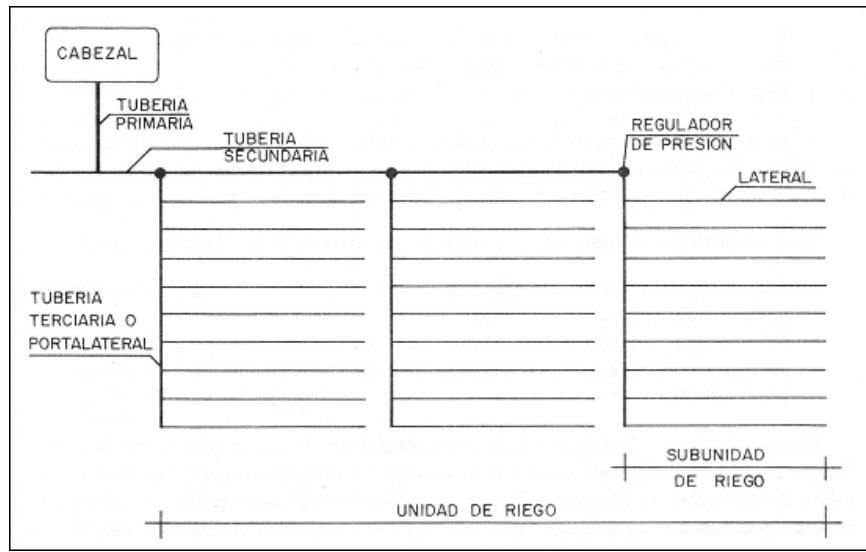


Ilustración 12: Red de distribución de una instalación de riego localizado
Fuente: [1]

II.2 Duraznos

Aunque el durazno no es un árbol muy fácil de cultivar, cada vez que gozamos de sus frutos al jugo, de los "huesillos", de un kuchen, o simplemente de esta rica fruta fresca, se puede apreciar que vale la pena el esfuerzo.

El durazno es un árbol muy particular: prefiere los veranos muy calurosos y los inviernos fríos, aunque sin caer en exageraciones. Sus necesidades de frío fluctúan entre las 700 y las 900 horas bajo los 7 grados; y es una necesidad vital, pues cuando no consigue tales condiciones se produce cierta caída de yemas, la rotación se hace desuniforme y la época de floración se extiende demasiado. Los duraznos deben ubicarse en lugares soleados y donde no se formen bolsas de aire helado. Con respecto al suelo, no son muy exigentes, siempre y cuando contenga bastante humus.

Se plantan a comienzos de la primavera, salvo en climas muy suaves, debido a que el tiempo frío los perjudica en su primer año. Es importante elegir la variedad adecuada, tanto en lo que respecta a sus preferencias como a la adaptación de la

especie al clima específico donde está situada su parcela. Para ello pida asesoría en el vivero de su localidad.

Por lo general, la distancia de plantación en huertos de gran producción es de seis metros, pero en el huerto de la parcela pueden ubicarse hasta a cuatro metros [5].



Ilustración 13: Duraznos
Fuente: [5]

Las principales características son:

- Peludos priscos: de piel vellosa (peludos), que se desprende fácilmente de la pulpa y ésta a su vez del huesco.
- Pavias: de pulpa adherida al huesco y la piel a la pulpa. Son utilizados para conservas y para secado.
- Semipriscos: su carne se adhiere al huesco, pero la piel es fácilmente removible de la pulpa.
- Pelados no priscos o briñones: pelados y de huesco adherido a la carne.
- Entre las variedades conserveras, las más conocidas son la Reina Elena, Fortuna y Pomona.
- Para consumo fresco: Red Haven, Red Top, J.H. Hale.



Ilustración 14: Árbol de Durazno de altura media (3 a 5 metros)
Fuente: [5]

II.2.1 Requerimientos del cultivo de duraznos

Una vez plantado, el árbol joven necesita ser podado, sobre todo en la punta, y luego hay que procurar dejarlo con tres o cuatro ramas principales creciendo juntas, para formar así el "esqueleto del árbol". Las podas posteriores deben hacerse cada año a comienzos del verano, para mantener su forma, eliminando los brotes dirigidos hacia el interior y todas aquellas ramas secas o dañadas, como en cualquier árbol frutal. Lo que se debe recordar al momento de podar los duraznos es que la fruta sale sólo en las ramas leñosas del año anterior, por lo que si se corta demasiado, no producirá frutos en el año o al menos lo hará en muy escasa cantidad.

Una vez que los frutos comienzan a aparecer en las ramas, es necesario seleccionarlos mediante un raleo, dejándolos a 10 cm de distancia. Se cortan los más débiles y unas semanas más tarde, cuando se encuentren del tamaño de una nuez, nuevamente es preciso cortar algunos hasta dejarlos a 20 cm de distancia. De esta forma obtendrá unos duraznos más grandes y fuertes.

Otro punto importante es el riego. El árbol necesita agua en forma permanente durante todo su crecimiento, en especial en la época de desarrollo de los frutos [5].

II.2.2 El cultivo de durazno en la cordillera de la costa

La producción de durazno en el trópico ha sido poco estudiada, dada la característica de cultivo de latitudes subtropicales y templadas. Sin embargo, existen algunos ambientes agroecológicos en Venezuela, donde se ha asentado la producción de durazno, aprovechando algunas condiciones climáticas que favorecen al cultivo. Una de ellas es la zona de la Cordillera de la costa, específicamente en los municipios Tovar del Estado Aragua y Guaicaipuro del estado Miranda, en la Colonia Tovar y la localidad de El Jarillo; situadas entre los 1.200 y 1.900 msnm, 10° 28' y 10° 20' latitud norte y entre 67° 20' y 67° 10' longitud oeste de Greenwich. La precipitación oscila entre 800 y 1200 mm/año, está distribuida en seis meses, siendo Julio el mes más húmedo, las temperaturas promedios anuales oscilan entre los 18 y 24°C. Existen no menos de 23 poblados agrícolas que tienen al cultivo de duraznero como importante fuente de ingresos, en una superficie aproximada de 1400 ha, para la Colonia Tovar y unas 410 ha para El Jarillo, donde aproximadamente 500 productores, en su mayoría originarios de inmigrantes alemanes, cultivan una población total de aproximadamente 305.200 plantas.

El rendimiento es muy variable pudiéndose encontrar fincas con producciones tan bajas como 20 a 30 Kg/planta, sin embargo es utilizado comúnmente el promedio de 111,73 kg/planta el volumen aproximado de producción en la zona es de 34 millones de Kg. de frutos, obtenido en condiciones de suelos ácidos y 55% de pendiente [6].

II.2.3 Aspectos críticos de la producción

Se puede identificar tres procesos básicos que influyen en la producción de durazno en la zona de la Colonia Tovar y El Jarillo:

- El control del estrés biótico (plagas y enfermedades)
- El control de la floración (permite cosechas todo el año)
- El manejo de agua y nutrientes. (uso de fertilizantes y materia orgánica)

II.2.4 Criterios de Riego

Déficit permitido en el manejo del riego (DPM) es el contenido de agua en el suelo al cual no se debe permitir bajar o llegar al punto de marchitez permanente para evitar el estrés de la planta por falta de agua, y por lo tanto, evitar la reducción en la producción. La diferencia entre el contenido de agua a capacidad de campo y el DPM debe ser la lámina de riego por aplicar. El contenido de agua que queda debajo de este límite es la cantidad de agua que queda en el suelo. El déficit permitido (DPM) dependerá de las especies de plantas y variará de acuerdo a las temporadas de cultivo. Generalmente, el déficit permitido se expresa en porcentajes. El nivel de déficit permitido recomendado para muchos cultivos de campo es de alrededor del 50 por ciento. Para cultivos sensibles a la sequía (incluyendo muchas verduras), el déficit permitido puede ser tan bajo como de un 25 por ciento. La Tabla 2 muestra el déficit permitido de manejo del riego para algunos cultivos seleccionados.

Otro criterio que se utiliza frecuentemente para determinar el momento oportuno para aplicar el riego es la tensión de la humedad del suelo. Este método es más utilizado para programar el riego en los sistemas por aspersión, micro irrigación y goteo, los cuales permiten aplicar láminas pequeñas y muy precisas. La tensión de la humedad del suelo se puede medir con un sensor o un tensiómetro. La tensión de la humedad del suelo a la que se aplica el riego variará dependiendo del tipo de suelo y a la profundidad que se coloque el sensor de humedad. La calibración y la experiencia que se tenga del sitio predeterminado optimizan la utilización de este método en la programación de la irrigación. Algunos valores para accionar el riego de acuerdo a valores de la tensión del agua en el suelo se sugieren en la Tabla 2.

La profundidad de la raíz determinará la cantidad de agua que la planta puede disponer del suelo. La Tabla 2 muestra las profundidades de raíz estimadas para algunos cultivos seleccionados. Las condiciones del suelo (por ejemplo, capas compactadas, nivel freático superficial, suelo seco) pueden limitar la profundidad de la raíz. En general las hortalizas tienen un sistema radicular relativamente superficial y por lo tanto tienen menos capacidad para extraer el agua almacenada en el suelo. Los cultivos que tienen sistemas radiculares superficiales y menores niveles de déficit permitidos requieren de riegos más frecuentes [7].

Cultivo	Déficit permitido de manejo del riego (%)	Profundidad de la raíz (pies)
Cultivos de fibra		
Algodón	65	3.3–5.6
Cereales		
Cebada y avena	55	3.3–4.5
Maíz	50–55	2.6–6.0
Sorgo	50–55	3.3–6.6
Arroz	20	1.6–3.3
Legumbres		
Frijoles	45	1.6–4.3
Soya	50	2.0–4.1
Forrajes		
Alfalfa	50–60	3.3–9.9
Bermuda	55–60	3.3–4.5
Pasto para pastizales	60	1.6–3.3
Césped		
Temporada fría	40	1.6–2.2
Temporada caliente	50	1.6–2.2
Caña de azúcar	65	4.0–6.5
Árboles		
Duraznos	50	3.3–6.6
Cítricos		
70% bajo sombra	50	4.0–5.0
50% bajo sombra	50	3.6–5.0
20% bajo sombra	50	2.6–3.6
Árboles coníferos	70	3.3–4.5
Huerto de nogales	50	5.6–8.0
Verduras		
Zanahorias	35	1.5–3.3
Melones y sandías	40–45	2.6–5.0
Lechuga	30	1.0–1.6
Cebollas	30	2.0–3.0
Papas	65	1.0–2.0
Pimientos dulces	30	1.6–3.2
Calabacines y pepinos	50	2.0–4.0

*Nota: Las profundidades de la raíz pueden ser afectadas por el suelo y por otras condiciones. Con frecuencia, las profundidades efectivas de la zona de la raíz son más superficiales.

**Tabla 2: Déficit permitido de manejo de riego (DPM, %) y profundidades de las raíces (pies)
para algunos cultivos**
Fuente: [7]

II.3 PLC

El término PLC proviene de las siglas en inglés para Programmable Logic Controller, que traducido al español se entiende como “Controlador Lógico Programable”. Se trata de un equipo electrónico, que, tal como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Para que un PLC logre cumplir con su función de controlar, es necesario programarlo con cierta información acerca de los procesos que se quiere secuenciar. Esta información es recibida por captadores, que gracias al programa lógico interno, logran implementarla a través de los accionadores de la instalación.

Un PLC es un equipo comúnmente utilizado en maquinarias industriales de fabricación de plástico, en máquinas de embalajes, entre otras; en fin, son posibles de encontrar en todas aquellas maquinarias que necesitan controlar procesos secuenciales, así como también, en aquellas que realizan maniobras de instalación, señalización y control.

Dentro de las funciones que un PLC puede cumplir se encuentran operaciones como las de detección y de mando, en las que se elaboran y envían datos de acción a los preaccionadores y accionadores. Además cumplen la importante función de programación, pudiendo introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa.

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentra que, gracias a ellos, es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales. Por otra parte, son de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo, además permiten ahorrar dinero en mano de obra y la posibilidad de controlar más de una máquina con el mismo equipo. Sin embargo, y

como sucede en todos los casos, los controladores lógicos programables, o PLCs, presentan ciertas desventajas como es la necesidad de contar con técnicos calificados y adiestrados específicamente para ocuparse de su buen funcionamiento [8].



Ilustración 15: Varios Modelos de PLC
Fuente: [8]

II.3.1 Tipo de entradas de un PLC

Entradas Digitales:

Los módulos de entradas digitales permiten conectar al autómata captadores de tipo todo o nada como finales de carreras o pulsadores, estos trabajan con señales de tensión, por ejemplo cuando por una vía llegan 24 V se interpreta como un “1” y cuando llegan cero voltios se interpreta como un “0”.

El proceso de adquisición de la señal digital consta de las siguientes etapas:

- Protección contra sobretensiones

- Filtrado
- Puesta en forma de la onda
- Aislamiento galvánico o por opto acoplador

Entradas Analógicas

Los módulos de entradas analógicas permiten que los autómatas programables trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de tipo analógico como pueden ser la temperatura, la presión, la humedad o el caudal.

Estas entradas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable interna del autómata. Lo que realiza es una conversión A/D, puesto que el PLC solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo de muestreo)

El proceso de adquisición de la señal analógica consta de las siguientes etapas:

- Filtrado
- Conversión A/D
- Memoria interna

II.3.2 Tipos de salidas de un PLC

II.3.2.1 Salidas Digitales

Un módulo de salida digital permite al PLC actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admitan ordenes de tipo todo o nada. El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del PLC en el caso de módulos de salidas a relé.

En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al módulo.

El proceso de envío de la señal digital consta de varias etapas:

- Puesta en forma
- Aislamiento
- Circuito de mando (relé interno)
- Protección electrónica
- Tratamiento cortocircuitos.

II.3.2.2 Salidas Analógicas

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómata se convierta en tensión o intensidad. Lo que realiza es una conversión D/A, puesto que el PLC solo trabaja con señales digitales, Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

El proceso de envío de la señal analógica consta de varias etapas:

- Aislamiento galvánico.
- Conversión D/A.
- Circuitos de amplificación y adaptación.
- Protección electrónica de la salida.

II.4 Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una Tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

Un sensor diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Áreas de aplicación de los sensores: Industria automotriz, Industria aeroespacial, Medicina, Industria de manufactura, Robótica, etc.

Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, etc.

Los sensores se clasifican en dos discretos y analógicos de los cuales se derivan otros varios [9].

II.4.1 Discretos

Los sensores discretos simplemente nos indican si se encuentran detectando algún objeto o no, esto es, generan un “1” lógico si detectan o un “0” lógico si no detectan, esta información es originada principalmente por presencia de voltaje o por

ausencia de este, aunque en algunos casos la información nos la reportan por medio de un flujo de corriente eléctrica. Los sensores discretos pueden operar tanto con señales de voltajes de corriente directa (VCD) como con señales de voltajes de corriente alterna (VCA) [9].

II.4.2 Analógicos

Los sensores analógicos pueden presentar como resultado un número infinito de valores, mismos que pueden representar las diferentes magnitudes que estén presentes de una variable física, por lo tanto en los sensores analógicos su trabajo se representa mediante rangos, por ejemplo, de 0V a 1.5V y dentro de este rango de posibles valores que puede adquirir la señal del sensor, está comprendido el rango de medición que le es permitido al sensor de medir una variable física. En los sensores analógicos la señal que entrega puede representarse mediante variaciones de una señal de voltaje o mediante variaciones de un valor resistivo [9].



Ilustración 16: Sensor de humedad del suelo
Fuente: [9]



Ilustración 17: Sensor de humedad del suelo resistivo
Fuente: [9]

II.5 Protocolo TCP/IP

Internet es un conglomerado muy amplio y extenso en el que se encuentran ordenadores con sistemas operativos incompatibles, redes más pequeñas y distintos servicios con su propio conjunto de protocolos para la comunicación. Ante tanta diversidad resulta necesario establecer un conjunto de reglas comunes para la comunicación entre estos diferentes elementos y que además optimice la utilización de recursos tan distantes. Este papel lo tiene el protocolo TCP/IP. TCP/IP también puede usarse como protocolo de comunicación en las redes privadas intranet y extranet.

Las siglas TCP/IP se refieren a dos protocolos de red, que son Transmission Control Protocol (Protocolo de Control de Transmisión) e Internet Protocol (Protocolo de Internet) respectivamente. Estos protocolos pertenecen a un conjunto mayor de protocolos. Dicho conjunto se denomina suite TCP/IP.

Los diferentes protocolos de la suite TCP/IP trabajan conjuntamente para proporcionar el transporte de datos dentro de Internet (o Intranet). En otras palabras, hacen posible que accedamos a los distintos servicios de la Red. Estos servicios

incluyen: transmisión de correo electrónico, transferencia de ficheros, grupos de noticias, acceso a la World Wide Web, etc.

Hay dos clases de protocolos dentro de la suite TCP/IP que son: protocolos a nivel de red y protocolos a nivel de aplicación.

Protocolos a Nivel de Red y Transporte:

Estos protocolos se encargan de controlar los mecanismos de transferencia de datos. Normalmente son invisibles para el usuario y operan por debajo de la superficie del sistema. Dentro de estos protocolos tenemos:

- **Transporte: (TCP)** Controla la división de la información en unidades individuales de datos (llamadas paquetes) para que estos paquetes sean encaminados de la forma más eficiente hacia su punto de destino. En dicho punto, TCP se encargará de re ensamblar dichos paquetes para reconstruir el fichero o mensaje que se envió. Por ejemplo, cuando se nos envía un fichero HTML desde un servidor Web, el protocolo de control de transmisión en ese servidor divide el fichero en uno o más paquetes, numera dichos paquetes y se los pasa al protocolo IP. Aunque cada paquete tenga la misma dirección IP de destino, puede seguir una ruta diferente a través de la red. Del otro lado (el programa cliente en nuestro ordenador), TCP reconstruye los paquetes individuales y espera hasta que hayan llegado todos para presentárnoslos como un solo fichero.
- **Red: (IP)** Se encarga de repartir los paquetes de información enviados entre el ordenador local y los ordenadores remotos. Esto lo hace etiquetando los paquetes con una serie de información, entre la que cabe destacar las direcciones IP de los dos ordenadores. Basándose en esta información, IP garantiza que los datos se encaminarán al destino correcto. Los paquetes recorrerán la red hasta su destino (que puede estar en el otro extremo del

planeta) por el camino más corto posible gracias a unos dispositivos denominados encaminadores o routers.

Protocolos a Nivel de Aplicación:

Aquí tenemos los protocolos asociados a los distintos servicios de Internet, como FTP, Telnet, Gopher, HTTP, etc. Estos protocolos son visibles para el usuario en alguna medida. Por ejemplo, el protocolo FTP (File Transfer Protocol) es visible para el usuario. El usuario solicita una conexión a otro ordenador para transferir un fichero, la conexión se establece, y comienza la transferencia. Durante dicha transferencia, es visible parte del intercambio entre la máquina del usuario y la máquina remota (mensajes de error y de estado de la transferencia, como por ejemplo cuantos bytes del fichero se han transferido en un momento dado) [10].

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DEL DESARROLLO

La metodología de trabajo nos ayuda a organizar y elaborar un plan de estudios para profundizar y retroalimentar todos los conocimientos adquiridos. Con este capítulo se conocerán los cinco saberes que se desean lograr con el desarrollo de este proyecto.

Para lograr el éxito de este proyecto, se realizaron cinco fases que han sido estudiadas como las más convenientes teniendo como referencia el Capítulo II, dicha metodología se explica a continuación.

III.1 FASE I: Investigación y Levantamiento de información.

Investigación profunda sobre los trabajos especiales de grado realizados anteriormente concernientes a sistemas de riego, así como cualquier otro proyecto existente, los cuales sirvieron de antecedente y referencia a la hora de diseñar el sistema de riego.

Investigación documental para adquirir conocimientos más profundos acerca de las necesidades de las plantas de durazno, enfocados en la cantidad de agua requerida para lograr una mejor cosecha.

Estudio de distintos sistemas de riego autónomos ya existentes, para tener una mejor noción de los mismos antes de empezar a trabajar y tomar ideas que pudieron ayudar al desarrollo del proyecto.

Evaluación de los diversos programas de PLC así como lenguajes de programación para la configuración de los mismos que pudieron ser utilizados para satisfacer los requerimientos de nuestro sistema.

Se debió realizar una cantidad de mediciones de distintos parámetros que se tomaron en cuenta en la finca El Pinar, tanto físicos como meteorológicos así como se realizó un estudio de la situación actual de la misma y el sistema de riego que posee para el momento.

III.2 FASE II: Diseño del Sistema y Selección de Equipos

Se diseñó el sistema de riego en todas sus partes, tanto la aspersión del agua y el fertilizante, así como la distribución del insecticida, totalmente adecuado para la geografía de la finca.

Selección de los equipos necesarios que cumplieron con los requerimientos adecuados para el sistema en función de sus características técnicas.

III.3. FASE III: Diseño de Interfaz Gráfica y Código del PLC

Realización del código en escalera para el PLC desarrollado en el *RSLogix 5000* el cual controlara los valores de entrada medidos por los distintos sensores.

Diseño de una interfaz gráfica realizada con el software *Factory Talk View Studio*, capaz de permitir al usuario monitorear y gestionar el sistema de riego de forma local y remota.

Diseño de una solución de comunicaciones y control a través del software *RSLinx*, necesaria para el monitoreo y gestión remota.

III.4 FASE IV: Evaluación del Sistema Diseñado

Se buscó verificar la efectividad y viabilidad del sistema con la ayuda de las pruebas realizadas con el simulador de forma local y también verificar el funcionamiento de los sistemas de comunicación y control para las pruebas realizadas con el simulador de forma remota.

III.5 FASE V: Ajustes del Sistema

En base a la evaluación del sistema, se realizaron ajustes para mejorar el diseño, tanto del sistema de riego como la solución de comunicaciones.

CAPITULO IV

DESARROLLO

La primera parte del presente trabajo especial de grado consistió en estudiar y analizar las variables y parámetros a ser usados para el diseño del sistema de riego y los equipos necesarios para llevar a cabo dicho sistema. El conocimiento adquirido constituyó la base para la búsqueda de las combinaciones de parámetros que optimizarán el sistema en diseño.

En base a lo anteriormente expuesto, primero se presentarán los conocimientos obtenidos al analizar la estructura de un sistema de riego, específicamente para la finca El Pinar. Posteriormente, se mostrarán los análisis de los sistemas de automatización y comunicación para que dicho sistema pueda ser controlado remotamente.

IV.1. Estudio de la situación actual de la finca

Se realizó una visita a la finca El Pinar, ubicada en la Zona de El Jarillo, aledaña a El Junquito, Edo. Miranda, en donde se documentó la situación actual del sistema de riego. Dicho sistema, aunque cumple su función, lo hace de manera ineficiente puesto a que no aprovecha los recursos del agua y tampoco los fertilizantes de la manera más óptima, razón por la cual dio origen a la realización de este trabajo especial de grado.

El estudio partió del análisis del tanque de almacenamiento de agua de la finca, ubicado a unos 15 metros de altura del lugar donde comienza la zona de riego,

dicho tanque posee unas dimensiones de 6 metros de largo por 4 metros de ancho y 2,5 metros de altura. Para calcular el volumen de dicho tanque, se utilizó la fórmula $V = L(\text{largo}) \times W(\text{ancho}) \times H(\text{alto}) = 6\text{mts} \times 4\text{mts} \times 2,5\text{mts} = 60\text{metros cúbicos de agua o } 60.000 \text{ litros de agua}$. Conociendo la capacidad de almacenamiento de agua y la altura de la zona de riego al tanque, se pudo obtener la presión a la salida de la toma de agua, se hizo uso de la fórmula de la presión hidrostática $P = p \times g \times h$, donde p es la densidad del agua en kg por metro cúbico, g es la constante de aceleración de la gravedad, h es la altura del agua por encima de la válvula en metros y P es la presión en pascales. Para el agua cerca del nivel del mar, $p = 1.000 \text{ kg por metro cúbico}$ y $g = 9,81 \text{ metros por segundos al cuadrado}$. Para convertir los pascales a psi, divide entre 6.894,76. La presión en pascales del tanque en la finca sería la siguiente: $P = (1000\text{kg}) \times (9,81\text{mts/seg}^2) \times (2,5\text{mts}) = 24.525 \text{ kg.mts}^2/\text{seg}^2$. En libras por pulgada cuadrada, la presión es de $24.525/6.894,76 = 3,55 \text{ psi}$. Básicamente no es presión suficiente para hacer llegar el agua muy lejos cuando se pretende usar aspersores para regar el cultivo.



Ilustración 18: Tanque principal de agua Finca el Pinar con medidas
Fuente: Elaboración Propia

Del tanque de agua hasta la bomba de riego existe una tubería de 1,5 pulgadas de diámetro, que se encuentra en perfectas condiciones, pero la situación cambia cuando se llega a la bomba, del fabricante Acme que se encuentra totalmente obsoleta y no operativa.

Las tuberías de salida de la bomba de agua se encuentran sumamente deterioradas, las mismas presentan grietas y fugas de agua durante todo su recorrido y mayormente entre los empalmes. Además de lo antes mencionado, las tuberías se encuentran mal sectorizadas ya que de funcionar no se cubren totalmente las zonas que se desean regar. Hoy en día el trabajo se realiza manualmente haciendo uso de mangueras conectadas directamente a las tuberías y sin ninguna presión de una bomba de agua, únicamente la presión que sale del tanque, esto trae como consecuencia el desperdicio de agua, de fertilizantes y abundantes horas de trabajo humano que se traducen en dinero.

IV.2. Diseño del Sistema

Luego de levantada la situación actual del sistema de riego de la finca El Pinar, se está en pleno conocimiento de las deficiencias que presenta dicho sistema, por tal motivo es necesario remplazar la bomba de agua, la red de tuberías y los aspersores, esto en cuanto al segmento que conforma el riego. En referencia al segmento de automatización y control remoto se requerirá una instalación completamente nueva ya que el sistema actual carece de ello, esto comprendería la fase de modernización de la finca.

IV.2.1 Esquema del Diseño

A continuación se presenta un gráfico que comprende el esquema general del diseño.

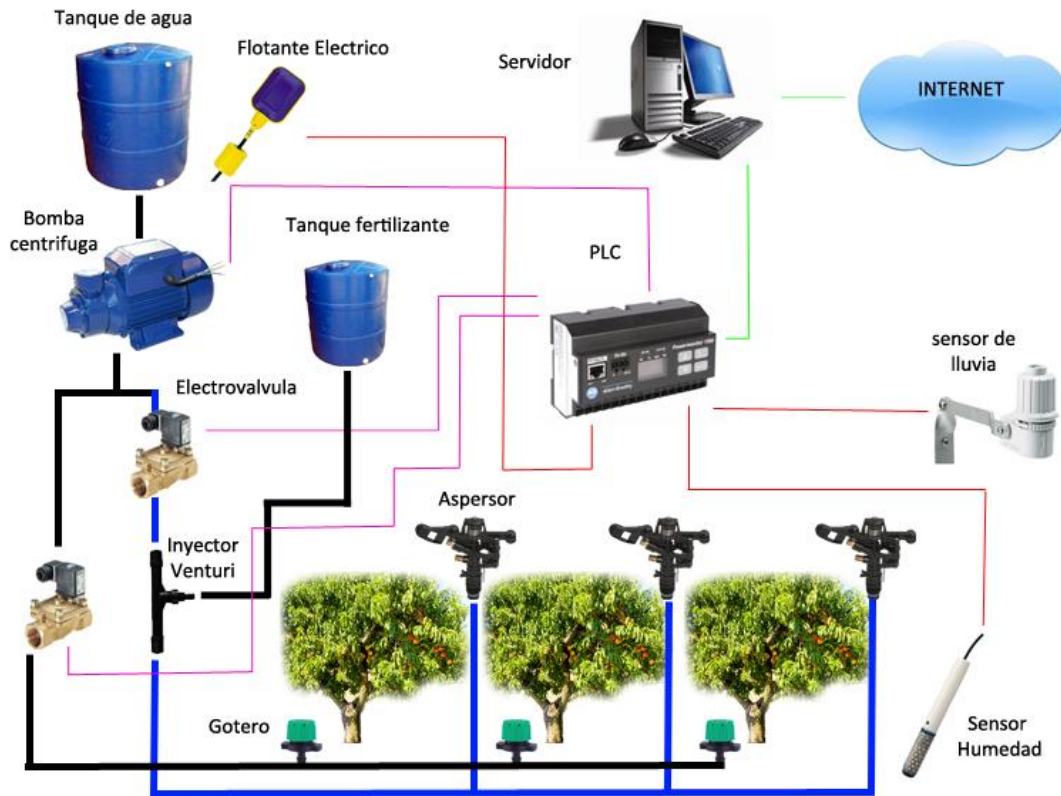


Ilustración 19: Esquema de diseño general
Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 19 se observa básicamente el diseño global, el mismo comprende ambas partes del proyecto, es decir el sistema de riego y control remoto a través del PLC.

El sistema de riego comienza en un tanque de agua que surtirá dicho líquido a la bomba de presión, a partir de allí se distribuirá el agua hacia dos electroválvulas que estarán conectadas a la red de tuberías de riego y hacia la base de los árboles utilizando goteros y la otra estará conectada hacia la red de tuberías que surtirá los

fertilizantes a la parte alta de las matas, es decir directamente a las hojas, utilizando aspersores.

La fertilización tiene un tanque donde se mezcla el agua con los productos, luego de la salida de dicho tanque, el mismo se conecta a un inyector de tipo Venturi, el cual a su salida, va conectado a la línea de fertilización mencionada en el párrafo anterior.

El tanque principal de agua tiene un flotante electrónico que apaga la bomba y dispara una alarma en caso de que el nivel de agua sea mínimo.

La bomba de agua y las electroválvulas se accionan a través del sistema de control, ya sea de forma automática o manual y su control es local o remoto. Todo este sistema lo gestiona el PLC siguiendo las instrucciones [Ver apéndice C, D, E, F] configuradas para los requerimientos iniciales de este proyecto.

Dichos requerimientos son estudiados de forma continua por el sensor de humedad y de lluvia, los cuales dependiendo de su lectura, el PLC decide o no regar, si se está en modo automático.

IV.2.2 Descripción del Sistema

El sistema de control de riego debe cumplir ciertos parámetros y lineamientos para que su comportamiento se pueda considerar óptimo y adecuado para los requerimientos y objetivos establecidos en el Trabajo Especial de Grado.

Se deben considerar distintas variables para establecer criterios de riego, entre las cuales tenemos: la lluvia, el nivel de agua en el tanque principal, la temperatura del motor y lo más importante y centro del proyecto, la humedad del suelo.

Estas variables a su vez deben de estar entrelazadas entre ellas, y seguir cierto algoritmo para no ocasionar problemas y posibles daños en la infraestructura del sistema.

Para el trabajo especial de grado se planteó como objetivo el riego de un cultivo de matas de Durazno monitorizado y gestionado por una interfaz de usuario, el criterio para que el sistema riegue o no, será el nivel de humedad presente en el suelo, este será medido a través de un sensor de humedad, el cual estará conectado directamente al PLC, que recibirá y traducirá esos valores de voltaje en valores porcentuales, así mismo se podrá accionar el proceso de fertilización de la finca de manera remota.

Las funciones que debe desempeñar el sistema son las siguientes:

IV.2.2.1 Riego

IV.2.2.1.1 Manual

El sistema de riego debe ser capaz de controlarse de manera manual, tanto a través de la aplicación remota como directamente en la finca, esto es necesario ya que podría presentarse alguna falla en el sistema y el operador presente en la finca tendría la posibilidad de cancelar la operación, otra situación posible sería que el sensor de humedad podría estar dando lecturas erradas con lo que el sistema no estaría cumpliendo su función y de esta manera se podría continuar con el riego de manera manual.

IV.2.2.1.1.1 Requerimientos

Bajo la modalidad de riego manual el operador debe ser capaz de manejar el riego si existiese alguna falla en la automatización, tanto en la finca directamente como a través de la interfaz gráfica.

El operador debe poder accionar (abrir o cerrar) la electroválvula de la tubería que se encargará de regar la mata de durazno a través de los goteros, debe poder a su vez accionar o deshabilitar la bomba.

IV.2.2.1.1.2 Condiciones

Se estableció un conjunto de condiciones para el sistema de riego manual, entre ellas tenemos:

- **Nivel del agua:** la bomba antes de activarse debe verificar si existe o no agua en el tanque, para evitar posibles daños en la misma. Si por el contrario hubiese agua en el tanque, la bomba puede accionarse sin problemas.
- **Electroválvulas:** la electroválvula, situada en la tubería de riego, debe encontrarse abierta antes de ser activada la bomba, si dicha electroválvula se encuentra cerrada el sistema no podrá accionarse, evitando el accionar de la bomba.

En caso de que el sistema se encuentre funcionando de manera correcta y se pretenda detenerlo, es necesario primero detener el funcionamiento de la bomba y luego cerrar la electroválvula, si por el contrario, se cierra primero la electroválvula, el sistema de manera automática procederá a apagar la bomba, para evitar cualquier daño en el sistema.

La electroválvula de fertilización debe estar cerrada, para que la electroválvula de riego pueda abrirse.

IV.2.2.1.2 Automático

El sistema de riego se controlara de manera autónoma, sin necesidad de un operador en la finca que active o desactive el riego, sino basándose en la humedad del suelo; logrando así, el aprovechamiento y ahorro del agua, recurso tan escaso en la finca en épocas de sequía. El sistema de riego podrá a su vez ser gestionado y monitorizado desde una interfaz gráfica, tanto localmente en la finca como a través de internet en cualquier parte del mundo.

IV.2.2.1.2.1 Requerimientos

Bajo la modalidad de riego automático, el sistema debe ser capaz de realizar el riego de la finca de manera totalmente autónoma, basándose en la lectura de valores proporcionados por sensores de humedad que se encontraran en el suelo, estos valores de humedad serán tratados por el PLC, y de acuerdo a ellos y al requerimiento de humedad específico de la mata de durazno comenzara el riego o no de la siembra, activándose o desactivándose la bomba y electroválvula correspondiente. Se debe poder asignar una banda de humedad en la que el sistema en caso de estar por debajo de la humedad necesaria comience el riego y en caso de estar por encima lo suspenda.

El sistema de riego debe considerar otro parámetro para regar de manera autónoma, la lluvia, conocer la existencia o no de esta se realizara a través de un sensor de lluvia, el cual estará conectado al PLC y en caso de que exista lluvia el riego debe detenerse.

IV.2.2.1.2.2 Condiciones

Se estableció un conjunto de condiciones para el sistema de riego automático, entre ellas tenemos:

- **Nivel del agua:** la bomba antes de activarse debe verificar si existe o no agua en el tanque, para evitar posibles daños en la misma. Si por el contrario hubiese agua en el tanque, la bomba puede accionarse sin problemas.
- **Electroválvulas:** la electroválvula, situada en la tubería de riego, debe encontrarse abierta antes de ser activada la bomba, si dicha electroválvula se encuentra cerrada el sistema no podrá accionarse, evitando el accionar de la bomba.

Al encontrarse regando el sistema y llegar el momento en que debe cesar, es necesario primero detener el funcionamiento de la bomba y luego cerrar la electroválvula, si por el contrario, se cerrara primero la electroválvula, el sistema podría sufrir daños.

La electroválvula no se podrá apagar y encender de manera consecutiva, sin esperar un tiempo determinado, dado que esta acción puede llevar a la falla de la misma. La electroválvula del sistema de fertilización debe estar cerrada.

- **Bomba:** la bomba solo se accionara en caso de que el nivel de humedad del suelo se encuentre por debajo del límite inferior. La bomba no se podrá accionar y apagar de manera consecutiva, por lo que requerirá de un tiempo determinado, para evitar estropear la misma.

Se deberá controlar la temperatura de la bomba, si esta aumenta demasiado podría traer como consecuencia el fallo de la misma, por lo que en caso de que la bomba presente una temperatura superior a la permitida el sistema deberá de apagarla inmediatamente.

- **Sensor de humedad:** la humedad del suelo debe ser controlada constantemente, ya que este será el criterio principal para el riego de la siembra, esta humedad será medida por un sensor, el cual debe de comunicarse con el PLC, para activar o desactivar el riego de la finca.

El sistema debe de tener la capacidad de establecer una banda de riego, que sirva como criterio para iniciar o detener el riego. Estos límites tanto

superiores como inferiores deben poder modificarse, para poder ajustarse a distintos tipos de cultivo.

En caso de que el sensor detecte un nivel de humedad más bajo del límite inferior establecido, el sistema deberá iniciar el riego, activando la electroválvula y la bomba respectivamente, verificando las condiciones antes expuestas.

En caso de que el sensor detecte un nivel de humedad más alto del límite superior establecido, el sistema deberá cesar el riego, apagando el motor y cerrando la electroválvula, verificando las condiciones antes expuestas.

- **Sensor de Lluvia:** en caso de presentarse lluvia, un sensor, la detectara y deberá cesar el riego en caso de que este estuviera activo o no, de esta manera no se satura la siembra, y se ahorra de manera más eficiente el recurso del agua.

IV.2.2.2 Fertilización

El diseño planteado no solo es capaz de controlar el riego de manera autónoma basándose en la humedad presente en los suelos, sino que también es capaz de comenzar la fertilización de manera remota, sin necesidad alguna de estar presente en la finca, permitiendo así un mayor control y ahorro de recursos.

IV.2.2.2.1 Requerimientos

Bajo la modalidad de fertilización el sistema debe ser capaz accionar la bomba de agua y la electroválvula, para que de esta manera a través del inyector Venturi se mezcle el agua proveniente del tanque principal con el agua proveniente del tanque de fertilización (donde se encuentra el agua mezclada con los químicos para fertilizar), y todo este proceso debe ser capaz de realizarse de manera remota sin necesidad de encontrarse en la finca.

IV.2.2.2.2 Condiciones

- **Nivel del agua:** la bomba antes de activarse debe verificar si existe o no agua en el tanque principal, para evitar posibles daños en la misma. Si por el contrario hubiese agua en el tanque, la bomba puede accionarse sin problemas.
- **Electroválvulas:** la electroválvula, situada en la tubería de fertilización, debe de encontrarse abierta antes de ser activada la bomba, si dicha electroválvula se encuentra cerrada el sistema no podrá accionarse, evitando el accionar de la bomba.

La electroválvula no se podrá apagar y encender de manera consecutiva, sin esperar un tiempo determinado, dado que esta acción puede llevar a la falla de la misma.

En caso de que el sistema se encuentre fertilizando a través de los aspersores, y se desee detener el proceso, primero se deberá apagar la bomba y luego cerrar la electroválvula.

Ambas electroválvulas no podrán estar abiertas, es necesario que la electroválvula del sistema de riego se encuentre cerrada.

IV.3 Selección de Equipos

Una vez definido el diseño, se procedió a seleccionar los equipos ideales cuyas características se ajustan mejor al esquema planteado, a continuación se describen dichos equipos.

IV.3.1 Bomba de Riego

Se seleccionó una bomba de agua centrífuga de la marca IPT de 2 HP con una capacidad de 7200 galones por hora, modelo 2828-IPT-95.

Las bombas tienen una curva característica, en función de la altura que se desea alcanzar y el caudal en litros por minuto, para este diseño la altura no es un factor fundamental debido a que la ubicación de la bomba se encuentra por encima de la zona de riego lo que nos permite utilizar una bomba de poca fuerza.



Ilustración 20: Bomba de Agua IPT de 2HP
Fuente: [11]

IV.3.2 Tuberías

Se seleccionaron tuberías de polietileno de 1,5 pulgadas de diámetro en bobinas de 100 metros de longitud.



Ilustración 21: Tubería de Polietileno
Fuente: [12]

IV.3.3 Goteros

Se seleccionaron goteros de botón insertados de la marca RainBird para el riego directo de la planta y colocados 4 por cada una para mantener una humedad idónea alrededor de la misma.



Ilustración 22: Gotero RainBird
Fuente: [13]

IV.3.4 Sensor de Humedad

Se seleccionó un sensor de humedad de la marca Irrometer modelo Watermark 200SS-V, el mismo tiene salidas de voltaje que dará información al sistema automático de cuando regar por falta de humedad.



Ilustración 23: Sensor de Humedad Watermark 200SS-V
Fuente: [14]

IV.3.5 Inyector tipo Venturi

Se seleccionó un inyector de tipo Venturi de la marca Mazzei modelo Venturi-75, la cual introducirá el fertilizante al sistema sin necesidad de una bomba para inyectarlo debido a su propio sistema de succión.



Ilustración 24: Inyector Venturi Mazzei Venturi-75
Fuente: [15]

IV.3.6 Flotante de Agua

Se seleccionó un flotante de agua eléctrico capaz de enviar una señal al PLC el cual permitirá desactivar el funcionamiento del sistema en caso de que el agua llegue al límite inferior del tanque, evitando de esta manera el mal funcionamiento de bomba por motivo de falta de agua. Dicho flotante es de la marca ALS modelo HYSK104.



Ilustración 25: Flotante de Agua ALS HYSK104
Fuente: [16]

IV.3.8 Sensor de Lluvia

Se seleccionó el sensor de lluvia de la marca RainBird modelo RSD-BEX el cual permitirá el ahorro del agua mediante el corte automático del riego en caso de lluvia.

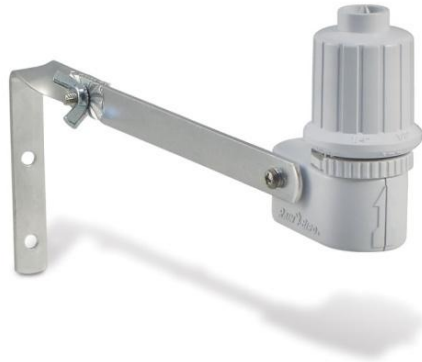


Ilustración 26: Sensor de Lluvia RainBird RSD-BEX
Fuente: [17]

IV.3.9 Electroválvulas

Se seleccionaron las electroválvulas de la marca RainBird serie PEB modelo 150-PEB de 1,5 pulgadas de diámetro. Posee cierre lento para prevenir golpes de ariete y por lo tanto daños en el sistema.



Ilustración 27: Electroválvula RainBird 150-PEB
Fuente: [18]

IV.3.10 Sistema de PLC

IV.3.10.1 CPU del PLC

Se seleccionó un procesador de la marca Rockwell Automation modelo ControlLogix 1756, ya que cumple los requerimientos necesarios de manejo de

entradas, salidas, capacidad de cómputo, capacidad de manejo remoto a través de una interfaz Ethernet y compatibilidad con el software de simulación RSLogix 5000.



Ilustración 28: CPU del PLC ControlLogix 1756
Fuente: [19]

IV.3.10.2 Chasis del PLC

Se seleccionó un chasis de la marca Rockwell Automation para el modelo de PLC ControlLogix donde irán instalados los módulos del PLC como el CPU y los módulos de entradas y salidas.

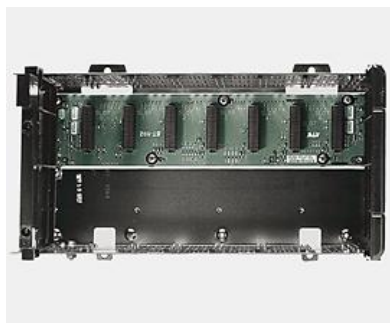


Ilustración 29: Chasis del PLC ControlLogix
Fuente: [19]

IV.3.10.3 Módulo de Entradas del PLC

Se seleccionó el módulo de entradas de la marca Rockwell Automation modelo 1756 ControlLogix Digital/Analog VAC Input Module, el mismo posee hasta 16 entradas y conexión directa al chasis. Se encargara de leer las variables a medir.



Ilustración 30: Módulo de Entradas del PLC 1756 ControlLogix Digital/Analog VAC Input Module
Fuente: [19]

IV.3.10.4 Módulo de Salidas del PLC

Se seleccionó el módulo de salidas de la marca Rockwell Automotion modelo 1756 ControlLogix Digital VAC 2 Amp Output Module, el mismo posee hasta 8 salidas y conexión directa al chasis. Se encargará de activar la bomba y las electroválvulas.



Ilustración 31: Módulo de Salidas del PLC 1756 ControlLogix Digital VAC 2 Amp Output Module
Fuente: [19]

IV.4 Selección de Software

Para el sistema se debe programar tanto la aplicación del PLC, como la aplicación del computador que servirá de interfaz con el usuario para el control del sistema, por eso para cada uno de los dispositivos se debe escoger un lenguaje de programación que facilite los objetivos del proyecto.

IV.4.1 Software de Programación del PLC

El software escogido fue RSLogix 5000 de la empresa Rockwell Automotion, ya que permite fragmentar la aplicación en programas más pequeños que pueden volver a utilizarse, rutinas e instrucciones que pueden crearse al utilizar distintos lenguajes de lógica de escalera, diagrama de bloque de funciones y texto estructurado.

Dicho software está diseñado específicamente para los productos de la marca Rockwell Automotion de la serie ControlLogix pero también es compatible con la familia de controladores programables de automatización (PAC) de la serie Logix.

IV.4.2 Software Emulador del PLC

Se seleccionó el software RSLogix Emulate 5000 Chassis Monitor de la empresa Rockwell Automotion, la misma es una aplicación de escritorio basado en Windows que puede emular un PLC ControlLogix 1756. Se puede usar en combinación con el software RSLogix 5000 para ejecutar y probar el código de aplicación sin necesidad de conectarse al hardware físicamente, además antes de iniciar un proyecto, es posible reducir drásticamente errores de programación que usualmente podrían surgir al momento de implementar en el campo de trabajo.

IV.4.3 Software de Comunicaciones

Se seleccionó la herramienta de software RSLinx que se encarga de regular las comunicaciones entre los diferentes dispositivos. Proporciona el acceso de los controladores de Rockwell Automotion a una gran variedad de aplicaciones de software de la misma marca, tales como RSLogix 5000, RSLogix Emulate y Factory Talk View.

IV.4.4 Software de la Interfaz con el Usuario

El software escogido para la realización de la aplicación grafica que hará de interfaz con el usuario final fue Factory Talk View de Rockwell Automotion, básicamente con él se construye una interfaz amigable que simula el producto final programado en el RSLogix 5000. Existen otros programas como Visual Basic que pueden simular de forma muy gráfica las funciones de un PLC, pero por cuestiones de costos de licencias fue mejor opción la utilización del Factory Talk View.

IV.5 Selección de la solución para la comunicación con el sistema remoto

Para establecer una comunicación entre la interfaz remota y la aplicación que corre en el PLC, se usó el software de comunicaciones RSLinx, el mismo a través de un protocolo TCP/IP, conociendo la dirección IP de cada computador y siguiendo los pasos de configuración, se logró establecer de manera eficiente la comunicación entre el PLC y la maquina remota. A continuación se detallan los pasos configurados:

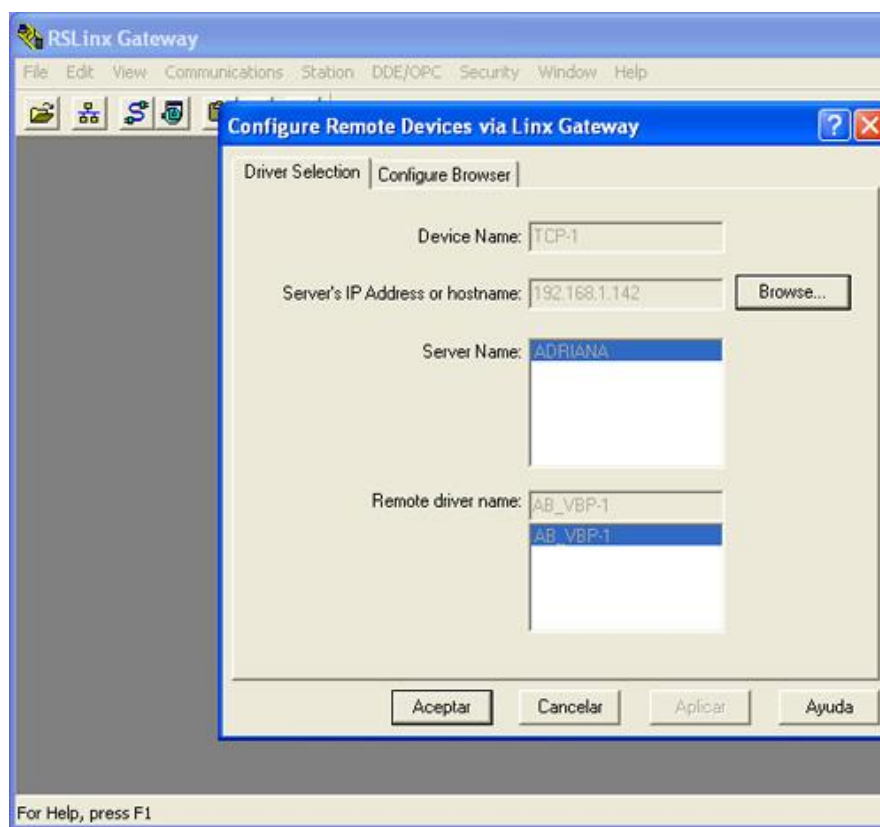


Ilustración 32: Puerta de configuración de equipos remotos vía Linx
Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 32 se observa la configuración de equipos remotos vía RSLinx y se realiza desde la máquina remota. La descripción de cada parámetro se muestra en la Tabla a continuación:

Device Name	Se configura por defecto “TCP-1”
Server’s IP Address	Dirección IP de la maquina servidora
Server Name	Nombre del equipo servidor
Remote driver Name	Se configura por defecto “AB_VBP-1”

Tabla 3: Configuración de equipos remotos
Fuente: Elaboración Propia

Al colocar la dirección IP de la máquina donde se encuentra corriendo la aplicación se puede gestionar a través del software Factory Talk View desde la máquina remota, usando la red de internet existente.

IV.6 Interfaz Gráfica y Pruebas del Sistema

Para poder gestionar y controlar de manera remota el sistema de riego diseñado, fue necesario la creación de una interfaz gráfica, donde el operador fuera capaz de manera simple, amigable e intuitiva controlar el riego en la finca, de modo manual o automático, así mismo debía tener la capacidad de accionar o desactivar la fertilización.

Fue necesario el uso del software Factory Talk View de Rockwell Automation para crear esta interfaz, con dicho software se logró crear distintos controles, los cuales se encuentran ligados directamente al PLC mediante el uso de TAGs, cabe acotar que el PLC se encuentra en funcionamiento mediante el emulador RSLogic Emulate, el cual debió estar activo para lograr la realización de las pruebas ya que este simula al PLC RSLogix5000.

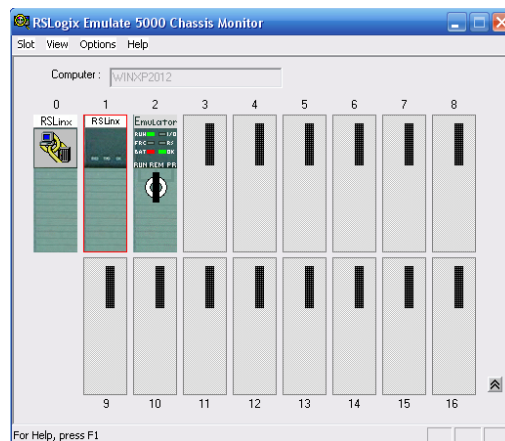


Ilustración 33: RSLogix Emulate 5000 Chassis Monitor
Fuente: Elaboración Propia

La interfaz se diseñó de manera tal que siempre fuese posible observar en tiempo real la situación actual del sistema, poder saber a simple vista si el sistema se encuentra regando, mediante el flujo gráfico en los goteros, o si la bomba o las electroválvulas se encuentran encendidas, con el simple hecho del color en que se encuentren, sea verde o roja, entre otras. Al buscarse mantener visible lo más posible la situación actual del sistema y no sobrecargar con controles y selectores la pantalla, fue necesario el uso de ventanas para controlar los distintos parametros.

Fue colocado un recuadro en la esquina inferior derecha donde se visualizaron las alarmas que generó el sistema (bajo nivel en el tanque de agua, alta temperatura del motor, presencia de lluvia), es posible incluso borrar ese registro de alarmas con el boton “Clear all”, así como en caso de existir más de tres alarmas lograr desplazarse con los selectores a través del cuadro y poder visualizar las más antiguas.

Se colocó un selector en la esquina superior izquierda donde es posible seleccionar el modo de operación, ya sea riego manual, riego automatico o fertilización.

Al seleccionar el modo de operación “Manual”, fueron creados tres botones, uno para la bomba de agua, y otros dos para las electroválvulas, los cuales actuaron como switches para encender o apagar la bomba o las electroválvulas de manera manual, sin basarse en la lectura del sensor de humedad.

A través de este modo de operación es posible activar el riego, encendiendo la bomba y la electroválvula ubicada en la tubería que da a los goteros, así mismo es posible fertilizar activando la bomba y la electroválvula que da a los aspersores.

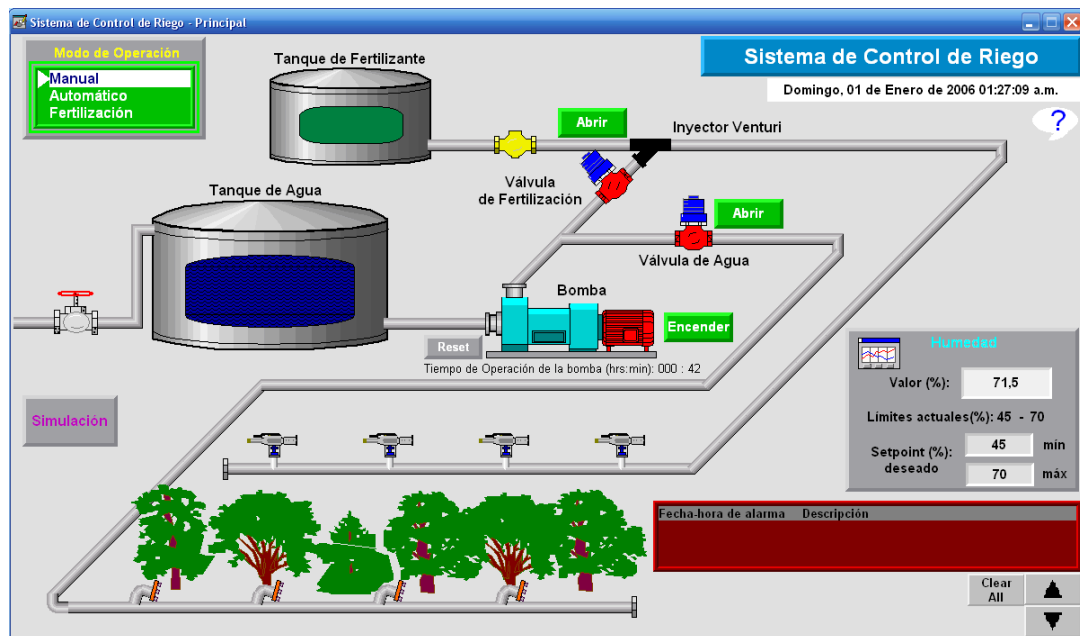


Ilustración 34: Interfaz grafica, modo de operación “Manual”
Fuente: Elaboración Propia

Al seleccionar el modo “Automático”, los botones ubicados al lado de las electroválvulas y la bomba dejan de visualizarse. Se puede observar en la pantalla, en la esquina inferior derecha, un recuadro titulado “Humedad”, en este recuadro se puede visualizar el porcentaje de humedad presente en el suelo medido en tiempo real por los sensores, seguidamente se encuentran dos casillas con el valor del porcentaje mínimo y máximo de humedad admitido por el sistema. Estos valores pueden ser modificados directamente por el operador, permitiendo a este sistema ajustarse a cualquier cultivo distinto al durazno.

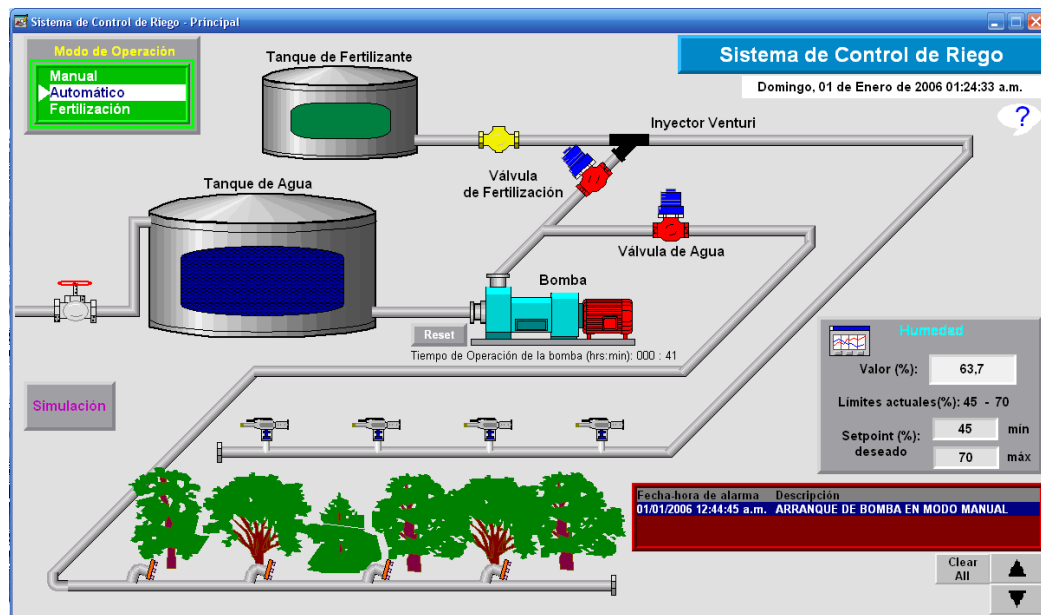


Ilustración 35: Interfaz grafica, modo de operación “Automatica”

Fuente: Elaboración Propia

Al encontrarse en modo automatico, se puede acceder a la venta “Parametros de simulacion” haciendo click sobre el boton “Simulacion”, ubicado a la izquierda de la pantalla.

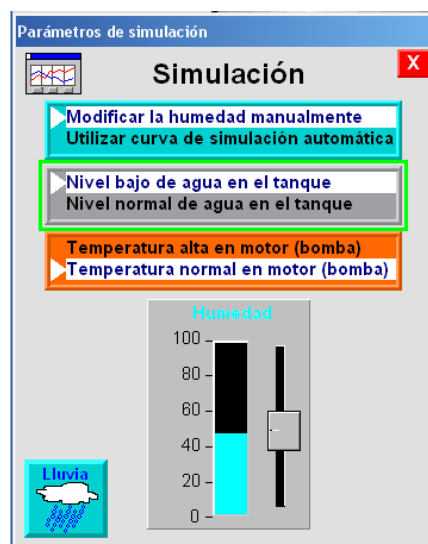


Ilustración 36: Ventana parametros de simulacion

Fuente: Elaboración Propia

En esta ventana fue posible modificar distintos parametros para generar la simulacion del sistema. Se pueden observar tres recuadros en la parte superior, el primer recuadro nos permitió simular el cambio de la humedad, como si de la naturaleza se tratase, a traves del uso de una ecuacion matemática para su incremento y otra ecuación para su decremento. Al hacer uso de esta opcion la humedad cambiará de forma automatica, y se mostrará en el indicador de humedad ubicado en la parte inferior de la ventana.

En el primer recuadro es posible seleccionar la opcion “Modificar la humedad manualmente”, bajo esta opcion se fue capaz de fijar varios porcentajes de humedad a través del selector ubicado en la parte inferior de la ventana donde antes permitía únicamente la visualización de la humedad ahora, aparece un selector y es posible modificarla, con la variacion de estos valores se comprobó el correcto funcionamiento del sistema.

En el segundo recuadro de la ventana “Simulación”, se pudo simular la situación en donde el flotante ubicado en el tanque de agua da la señal de bajo nivel de agua, y esto evita encender la bomba para prevenir daños en la misma.

En el tercer recuadro se pudo simular la presencia de alta temperatura en la bomba de agua, donde se logró observar cómo el sistema se detenía en caso de existir un recalentamiento en la bomba y así se evitaba la pérdida de esta.

En la esquina inferior izquierda se encuentra un boton llamado “Lluvia”, el cual permitio simular la presencia de lluvia en la finca, la cual seria medida a traves de un sensor, lográndose observar el detenimiento del riego en presencia de lluvia.

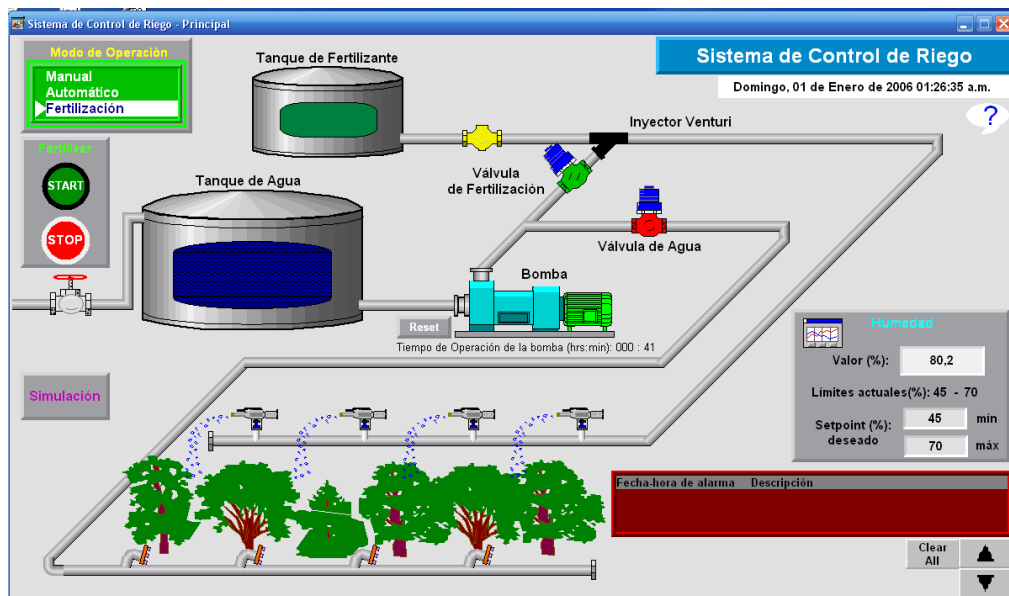


Ilustración 37: Interfaz grafica, modo de operación “Fertilizacion”
Fuente: Elaboración Propia

Al seleccionar el modo de operación “Fertilizacion”, se puede observar la presencia de un recuadro al lado izquierdo de la pantalla, donde se visualizan dos botones, Start y Stop, con los cuales se pudo simular el proceso de fertilizacion, abriendose de manera correcta la electrovalvula respectiva, asi como la bomba de agua.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de haber desarrollado el código de escalera bajo el cual se rigió el PLC para el control de las variables existentes en el diseño, así como la interfaz gráfica que permitió el control remoto del sistema de riego, se procedió al análisis de los resultados obtenidos.

En el diseño planteado, se observan distintos elementos, tanto electrónicos, mecánicos, como a nivel de software, siendo este el corazón del sistema.

Se pudo observar en las simulaciones realizadas en el software RSLogix 5000 y el emulador RSLogix Emulate 5000 Chasis Monitor, el correcto funcionamiento general del sistema, logrando gestionar de manera remota el riego y la fertilización.

Fueron varios los escenarios simulados, entre ellos se tienen:

- **Bajo nivel de humedad en el suelo:** Se logró simular el descenso de la humedad óptima para el cultivo de durazno, trayendo como consecuencia que el sistema respondiera, activando la bomba de agua, así como la electroválvula, que permitió el paso del flujo de agua a través de la tubería, hacia los goteros ubicados en la parte baja de la mata.
- **Alto nivel de humedad en el suelo:** De igual manera, se logró simular el ascenso de la humedad en el suelo, donde a través de la interfaz

gráfica se pudo observar cómo la humedad iba incrementando su valor, en función del tiempo, hasta el momento en que dicho valor llegó al valor máximo establecido en el código desarrollado para el PLC, o límite superior, donde el sistema, de manera efectiva, dejó de regar, apagando la bomba, y cerrando la electroválvula correspondiente.

- **Riego y presencia de lluvia:** Otro escenario planteado fue la presencia de lluvia en el momento en el que el sistema se encontraba regando, donde se pudo observar cómo inmediatamente el sensor de lluvia al activarse, suspendió el riego, evitando el exceso de agua en la mata.
- **Control manual:** Fue simulado el control manual, a través de un selector que permitió apagar o encender el sistema, observándose el correcto funcionamiento de este elemento, apagando o encendiendo el riego sin importar que estuviese ocurriendo en el momento de activarlo.
- **Fertilización:** Fue simulado el proceso de fertilización, donde se observó la correcta activación (en caso de encendido) y cierre (en caso de apagado) de la electroválvula presente en la tubería que da hacia los aspersores, así como la bomba.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1 Conclusiones

El sistema autónomo de gestión de riego está dirigido a la finca El Pinar, que debe controlar eficientemente el periodo de cosecha del durazno, permitiendo administrar el recurso del agua y los fertilizantes a través de distintos sensores que leerán ciertos parámetros los cuales serán mostrados en la aplicación final.

Todos los equipos utilizados para el proyecto fueron seleccionados según características teóricas, sin embargo con la integración de ellos se logró cumplir con todos los objetivos propuestos, por lo que se podría decir que el diseño del sistema autónomo de gestión de riego se llevó a cabo sin problemas obteniendo buenos resultados.

El software utilizado para la programación del PLC fue el RSLogix 5000 de Rockwell Automation en el cual se establecieron el conjunto de instrucciones necesarias para llevar a cabo el control de riego y a la vez permitir arrojar los parámetros necesarios a la interfaz de control la cual está realizada bajo el software de Rockwell Automation, Factory Talk View y la comunicación se realiza a través del puerto de red.

Gracias a que los lenguajes de programación no son muy complicados es importante destacar que los parámetros que se obtienen de los sensores y que se muestran en las herramientas del sistema pueden ser modificados de acuerdo a los requerimientos de la Finca a futuro.

Los umbrales de riego pueden ser cambiados según los propósitos de la Finca desde la interfaz de control remoto, según el tipo de cultivo.

Durante el desarrollo del Trabajo Especial de Grado, se observó que los autómatas (PLC) son una tecnología que puede expandirse a un sinnúmero de aplicaciones dependiendo prácticamente del criterio del usuario que la utilice. En el caso de este proyecto esta tecnología se pudo adaptar sin problema con todas las herramientas utilizadas.

El sistema de riego es capaz de encontrarse operativo, las 24 horas y los 7 días de la semana y no es necesario un personal altamente calificado para el uso del sistema.

VI.2 Recomendaciones

- En el caso de implementar el proyecto se recomienda comprar los equipos seleccionados para el mismo.
- Al instalar los software's de Rockwell Automation se recomienda leer el manual de uso antes de comenzar a trabajar con ellos.
- Es necesario capacitar a los empleados de la finca sobre el sistema de control antes de usarlo.
- Si se desea ampliar el sistema a todos los cultivos manejados en una misma interfaz, se recomienda la adquisición de módulos de entrada y salidas con mayor capacidad.
- Se recomienda la instalación de una planta eléctrica en caso de falla en el suministro de corriente.
- Además es altamente recomendable la implementación de un sistema de seguridad, también instalar filtros en las tuberías para prevenir fallas en las partes mecánicas del sistema por residuos sólidos que podría contener el agua.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. G. Vergara, «Manual de Diseño de Sistemas de Riego Tecnificado,» Talca, 2001.
- [2] «elRiego.com Todo el Riego en Internet,» [En línea]. Available: <http://info.elriego.com/portfolios/utilidad-y-funcionamiento-de-los-componentes-del-sistema-de-fertirriego/>. [Último acceso: 15 08 2012].
- [3] «Open Course Ware Universidad de Sevilla,» [En línea]. Available: http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_06.htm. [Último acceso: 04 06 2012].
- [4] A. Osorio, «Validación de Tecnologías de riego en el valle del Huasco».
- [5] «Mis Jardines,» [En línea]. Available: <http://www.misjardines.net/plantas-de-jardin/duraznos-en-el-jardin.php>. [Último acceso: 07 06 2012].
- [6] E. A. E. y R. A. Soto, «Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias,» Revista Digital CENIAP , 2003. [En línea]. Available: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n5/arti/esoto.htm. [Último acceso: 05 07 2012].
- [7] D. P. a. X. P. Juan M. Enciso, «Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego,» *Sistema universitario Texas A&M*.
- [8] S. M. Maricarmen, «Manipulación de sistemas de control lógico,» [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/65586556/El-PLC>. [Último acceso: 26 04 2012].
- [9] J. C. Villajulca, «Instrumentación y Control,» 10 2009. [En línea]. Available: <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/automatizacion/curso-completo-de-plcs/item/108-capitulo-41-sensores-para-un-plc-al-detalle.html>.
- [10] H. y. R. J. Ureña, «Programa de Nuevas Tecnologías de la Información,» Dirección General de Ordenación e Innovación Educativa de la Consejería de

- Educación del Gobierno de Canarias, [En línea]. Available: http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/conocernos_mejor/paginas/ip.htm.
- [11] «Northern Tool Equipment,» 2013. [En línea]. Available: http://www.northerntool.com/shop/tools/product_200317403_200317403.
- [12] «OLX,» 2013. [En línea]. Available: <http://ciudadmoquegua.olx.com.pe/mangueras-para-riego-por-goteo-y-microaspersion-goteros-de-diferentes-clases-iid-195396887>.
- [13] «AguaMarket,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=16745&nombr eproducto=gotero>.
- [14] «Irrometer Company,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.irrometer.com/sensors.html>.
- [15] «TodoAgua,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.todoagua.aqua-soft.com.mx/generadores-de-ozono-inyector-venturi-34pulgadas-color-negro-polipropileno-reforzado-p-444.html>.
- [16] «Global Market,» 2013. [En línea]. Available: <http://pressure-control.gmc.globalmarket.com/products/details/float-switch-for-electric-water-pump-909793.html>.
- [17] «RainBird Corporation,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.rainbird.com/landscape/products/controllers/RSD.htm>.
- [18] «Rain Bird Corporation,» 2013. [En línea]. Available: http://www.rainbird.com/landscape/products/valves/PEB_PESBseries.htm.
- [19] Allen Bradley, «Rockwell Automotion,» 2013. [En línea]. Available: <http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers>.
- [20] «Rockwell Automotion,» 2013. [En línea]. Available: <http://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/ControlLogix-Chassis>.
-

APÉNDICES

APÉNDICE A: Especificaciones de sensor Irrometer Watermark 200SS-V

WATERMARK Soil Moisture Sensor with Voltage Output – MODEL 200SS-V

IRROMETER®

The WATERMARK 200SS-V voltage output sensor is an innovation that combines the patented WATERMARK soil moisture sensor with an integral electronic adapter. This feature provides a linear voltage output which makes the sensor very easy to read by most data loggers or devices that can read a voltage signal. The voltage output signal is temperature compensated and directly proportional to the soil water tension measurement. This value represents the energy a plant's root system uses to draw water from the soil.

In use since 1978, the patented WATERMARK sensor is a solid-state electrical resistance sensing device. The sensor consists of a pair of highly corrosion resistant electrodes that are imbedded within a granular matrix. As the soil water tension changes with water content, the resistance changes as well. The sensor translates the resistance value into a linear voltage output which can be read by a compatible reading device. The reading device can then be configured to display the voltage output in centibars (cb) or kilopascals (kPa) of soil water tension.

The WATERMARK is designed to be a permanent sensor, placed in the soil to be monitored and "read" as often as necessary with a portable or stationary device. Internally installed gypsum provides some buffering for the effect of salinity levels normally found in irrigated agricultural crops and landscapes.

Features:

- Proven stable calibration
- Inexpensive, easy to install and use
- Fully solid-state
- Will not dissolve in soil
- Not affected by freezing temperatures
- Internally compensated for commonly found salinity levels
- Compatible with many voltage reading devices
- Range of measurement from 0 to 239 cb (kPa)
- Does not require the reading device to have a custom electronic circuit to read the WATERMARK sensor
- NO maintenance required

APPLICATIONS INCLUDE • Irrigation Scheduling • Water Table Monitoring • Leak Detection • Agronomy Research • Environmental Monitoring • Anywhere you need to know when or if the soil moisture status is changing

Model 200SS-V — WATERMARK Soil Moisture Sensor with Voltage Output

Specifications –

MATERIALS: Electronic Adapter is housed inside 1/2 in. PVC pipe and pre-mounted on the WATERMARK Sensor which has ABS plastic caps with stainless steel body over a hydrophilic fabric covered granular matrix.

DIMENSIONS –

DIAMETER: .875 in. (22 mm)
LENGTH: 7.25 in. (18.5 cm)
WEIGHT: 4 lb. (181 g)

WIRE LEADS: 10 ft. (3 m), 3 conductor AWG 22 direct burial cable

ELECTRICAL: 3.2–30 volt, 1.5 mA input, polarity protected / 0–3 volt output, linear / 0–239 cb (kPa) = 0 to 2.8 volts linear / 2.9 volts = frozen fault code / 3.0 volts = open circuit fault code. Sensor is not galvanically isolated. Additional circuitry may be necessary on earth grounded systems.

- Soil moisture readings will automatically be temperature compensated.
- When power is applied, a reading will be supplied within 500 ms.
- If power is left applied, a new reading will be provided every second.
- Once power is removed, a minimum off time of 30 seconds is required before power can be re-applied.

WARRANTY: One year

ORDERING INFORMATION: Catalog #200SS-V — WATERMARK Soil Moisture Sensor with Voltage Output

SPECIFICATION INFORMATION: The soil moisture measurement device, or sensor, shall represent soil moisture status in units of soil water tension or matric potential, registering in centibars (cb) or kilopascals (kPa) when read with a compatible device using a linear voltage scale. Its construction shall be of the Granular Matrix Sensor (GMS) type and require no on-site calibration or routine maintenance. It shall be durable, long-lasting, not subject to dissolving in a wet soil environment with an outer surface of stainless steel and ABS and PVC plastic. It shall be the WATERMARK Sensor as manufactured by the IRROMETER Company, Inc. of Riverside, California.

Optimizing Irrigation... Maximizing Conservation... Worldwide Since 1951

Ilustración 38: Especificaciones de sensor Irrometer Watermark 200SS-V (Parte 1)

MODEL 200SS-V – WATERMARK Soil Moisture Sensor with Voltage Output

Installation Instructions —

SENSOR SITE SELECTION — Often more than one sensor should be placed at a given location, at varying depths. For instance, one sensor in the upper portion of the plant's effective root zone and other sensor(s) located deeper into the root zone profile. We refer to this as a "sensing station", and it can give a better representation of the plant's uptake of water. A rule of thumb is one sensing station every 10–20 acres, however more stations may be required based on site conditions such as topography, wind and solar exposure, variations in soil type, irrigation system efficiencies, etc. See information listed below, consult our design guide, or contact us if you have questions about placement.

Note — Our recommendation for anyone using sensors for the first time is to use an adequate number of "stations" over a smaller area to begin with, to get an accurate picture. Then read them regularly over the season to learn the patterns which normally develop.

PLACEMENT —

Furrow or Flood Irrigation — Locate sensing station about 2/3 the way down the run, just ahead of the tail or backup water. This is the area where water penetration is usually the poorest. With tree crops, locate sensors on the southwest side of the tree (in the Northern Hemisphere) as this side gets the hot afternoon sun.

Sprinkler Irrigation — Even though the distribution is typically more uniform with sprinkler irrigation, there can be great differences in penetration and holding capacity due to soil variations, interfaces and contour. These various sites make good locations for sensor stations. With tree crops, locate sensors at the drip line of the canopy being sure that they are not obstructed from the sprinkler's distribution. With row crops, locate sensors right in the plant row.

Center Pivot Irrigation — Place sensors at 4–5 locations down the length of the pivot (between towers) just ahead of the "start" point. Additional locations at "hot spots" (good or poor production areas of the field) can help give a better overall view of the field. Be sure to use enough "sensing stations".

Drip or Micro Irrigation — Sensors must be located in the wetted area. With drip emitters, this is usually 12–18 in. (30–45 cm) from the emitter. With micro-sprinklers, usually 24–36 in. (60–90 cm) is best. Monitor often enough to get a good overall picture of the field, or irrigation "block", and consider the soil variations which exist. Keep in mind that light soils dry very quickly and heavy soils more slowly.

DEPTH — This depends on the rooting depth of your crop, but can also be affected by soil depth and texture. With shallow rooted vegetable crops, one depth may be adequate (root system less than 12 in. [30 cm]). With deeper rooted row crops (small grains, vines and trees) you need to measure soil moisture in at least two depths. With deep well-drained soils, crops will generally root deeper — if moisture is available. With



coarse, shallow or layered soils, root systems may be limited in depth. In general, sensors must be located in the effective root system of the crop. Guidelines on proper depths for specific crops and conditions can be obtained from IRROMETER as well as your local farm advisor.

INSTALLATION — Soak the sensors overnight in irrigation water. Always "plant" a wet sensor. If time permits, wet the sensor for 30 minutes in the morning and let dry until evening, wet for 30 minutes, let dry overnight, wet again for 30 minutes the next morning and let dry again until evening. Soak over the next night and install WET. This will improve the sensor response in the first few irrigations.

Make a sensor access hole to the desired depth with an IRROMETER installing tool or a 7/8 in. (22 mm) O.D. rod. Fill the hole with water and push the sensor down into the hole so it "bottoms out". A length of 1/2 in. PVC pipe can be coupled onto the sensor and can be used to push in the sensor. A good snug fit in the soil is

important. This PVC pipe can be solvent welded to the sensor.

If the PVC extension pipe is not left on the sensor, then backfill the hole so the sensor is buried. If the PVC pipe is left on, then compact the soil around the surface to seal off the hole. The PVC pipe acts as a conduit for the sensor's wires. Label each sensor wire to indicate the measurement depth.

For very coarse or gravelly soils, an oversized hole (1–1.25 in. [25 mm–32 mm]) may be needed to prevent abrasion damage to the sensor membrane. In this case, auger a hole to the desired depth and make a thick slurry with the soil and some water. Fill the hole with this slurry and then install the sensor. This will "grout in" the sensor to ensure a snug fit.

If sensors are removed, clean by rinsing with water and wiping with a soft cloth. Air dry and store indefinitely in a clean, dry location. Always soak before re-installation.

IRROMETER®
THE IRROMETER COMPANY, INC.
P.O. Box 2424, Riverside, CA 92516
(951) 689-1701 PHONE
(951) 689-3706 FAX
www.IRROMETER.com
sales@IRROMETER.com

Irrigation
ASSOCIATION™
Bronze Member

LITHO U.S.A. (7/12) #768

Ilustración 39: Especificaciones de sensor Irrometer Watermark 200SS-V (Parte 2)

APÉNDICE B: Tabla de calibración del 200SS-V

200SS-V Calibration

0-2.8V represents 0-239 CB
0.0117155 V to 1 Centibar (kPa)

Centibar (kPa)	Voltage
0	0
10	0.117155
20	0.23431
30	0.351464
40	0.468619
50	0.585774
60	0.702929
70	0.820084
80	0.937238
90	1.054393
100	1.171548
120	1.405858
130	1.523013
140	1.640167
150	1.757322
160	1.874477
170	1.991632
180	2.108787
190	2.225941
200	2.343096
210	2.460251
220	2.577406
230	2.694561
240	2.811715

Ilustración 40: Tabla de calibración del 200SS-V

APÉNDICE C: Rutina principal

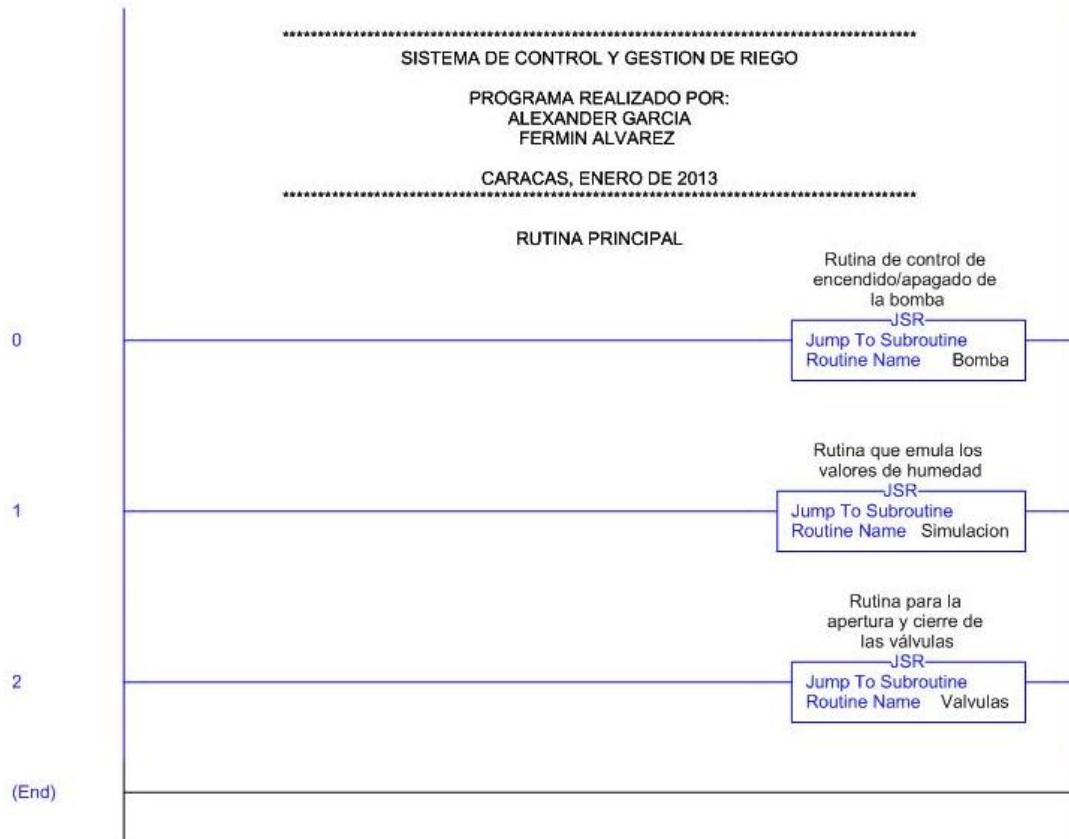


Ilustración 41: Rutina Principal del Programa

APÉNDICE D: Código PLC, rutina de control de encendido/apagado de la bomba

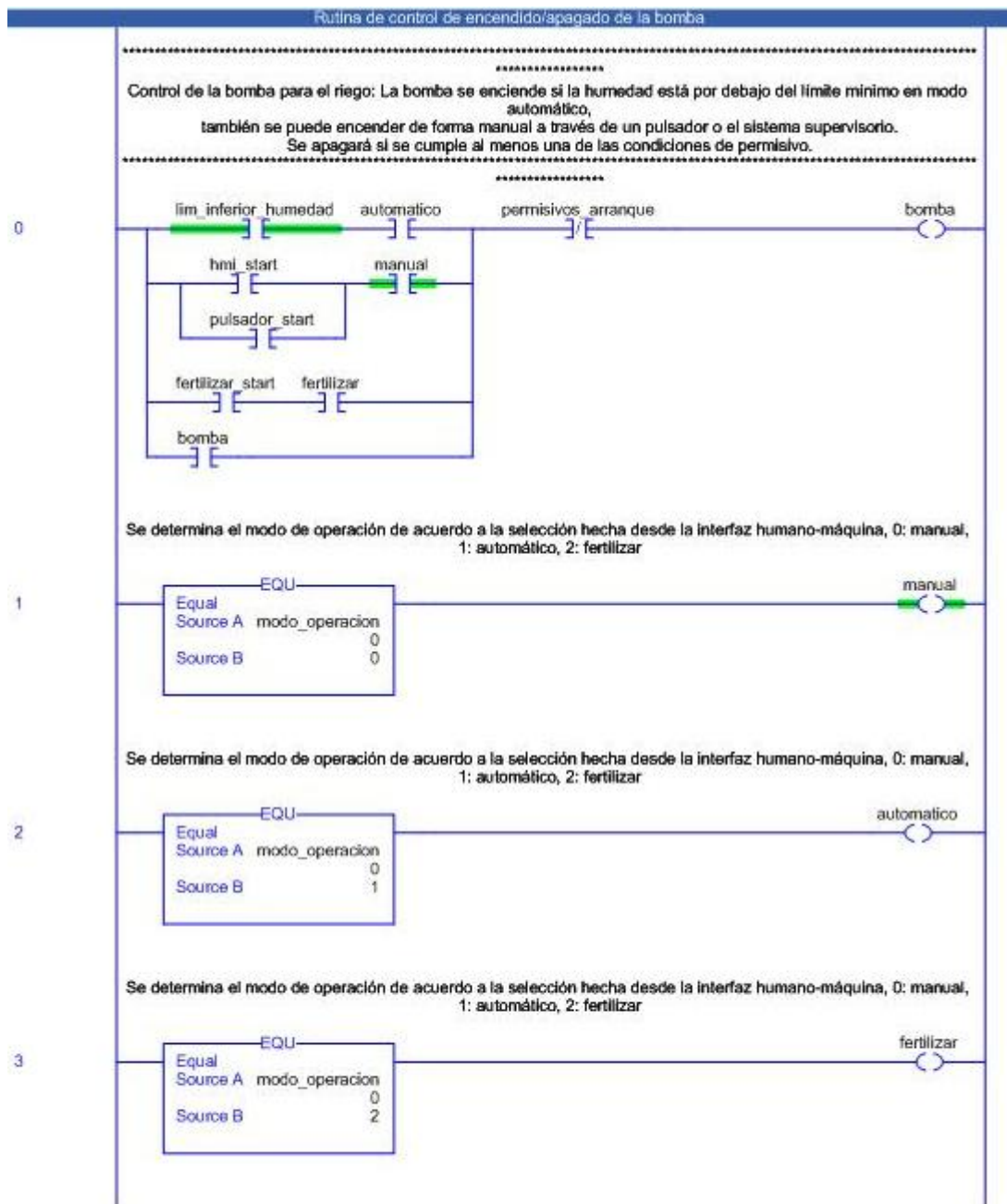


Ilustración 42: Código PLC, rutina de control de encendido/apagado de la bomba (Parte 1)

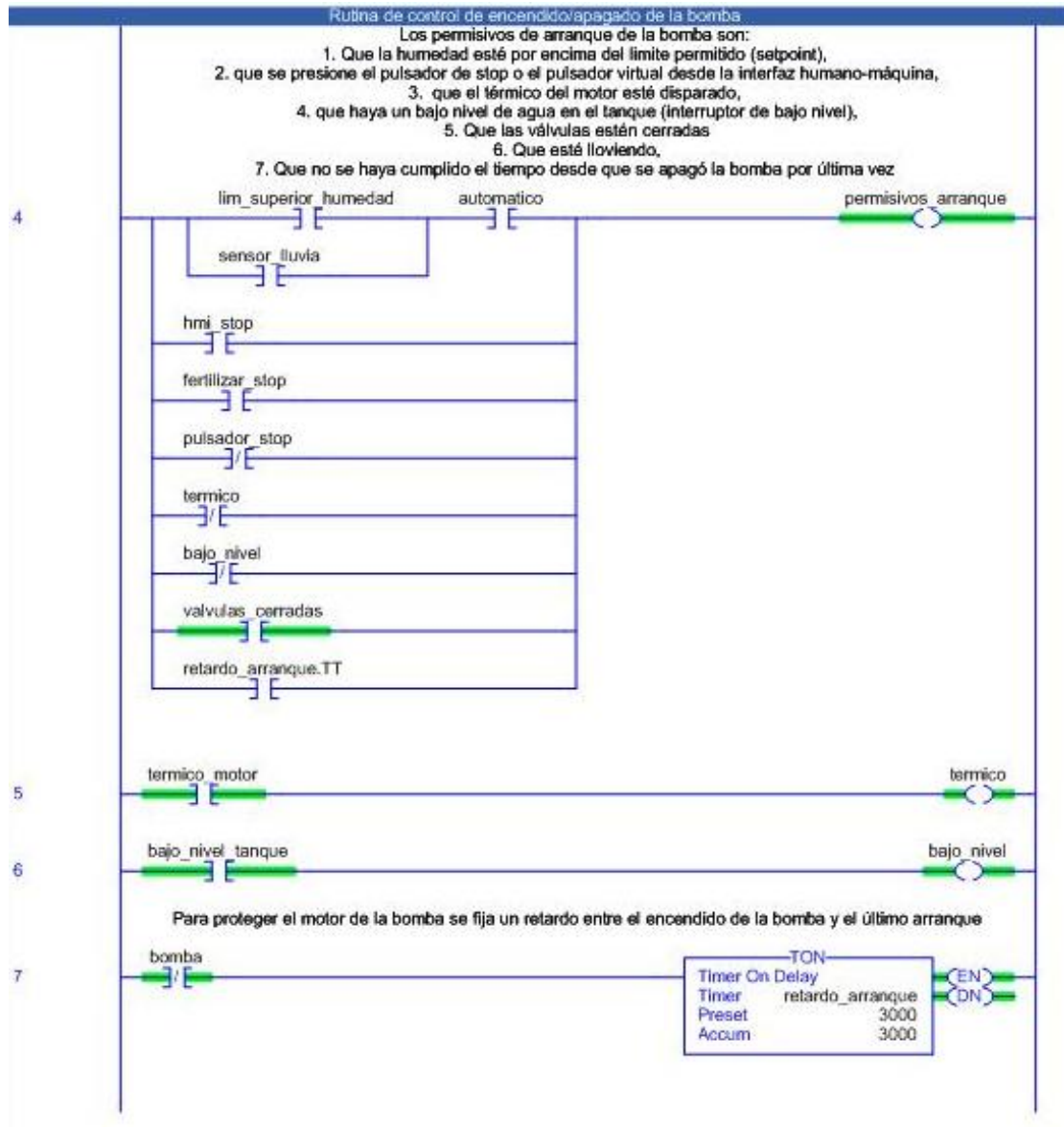


Ilustración 43: Código PLC, rutina de control de encendido/apagado de la bomba (Parte 2)

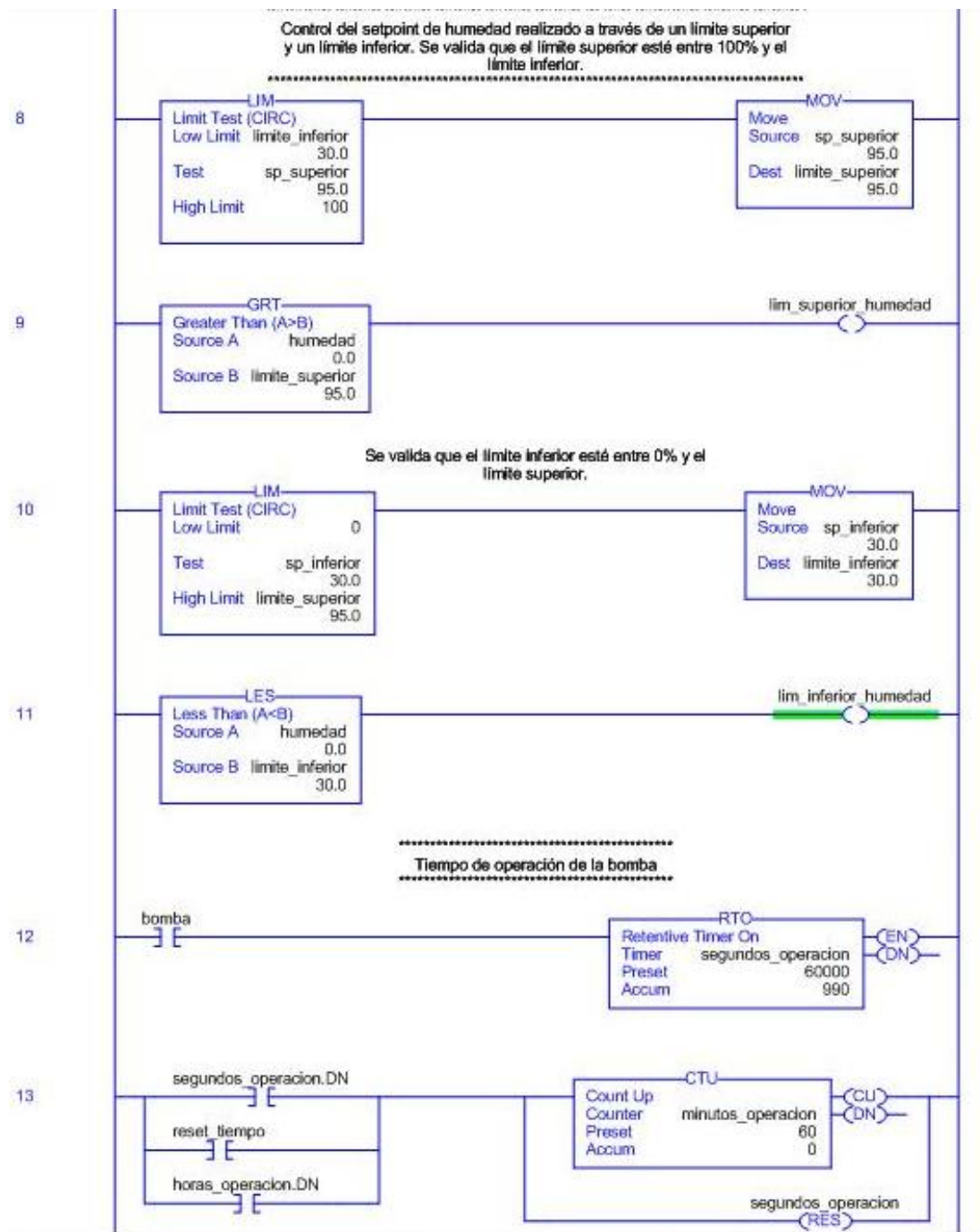


Ilustración 44: Código PLC, rutina de control de encendido/apagado de la bomba (Parte 3)

APÉNDICE E: Rutina simulación valores de humedad

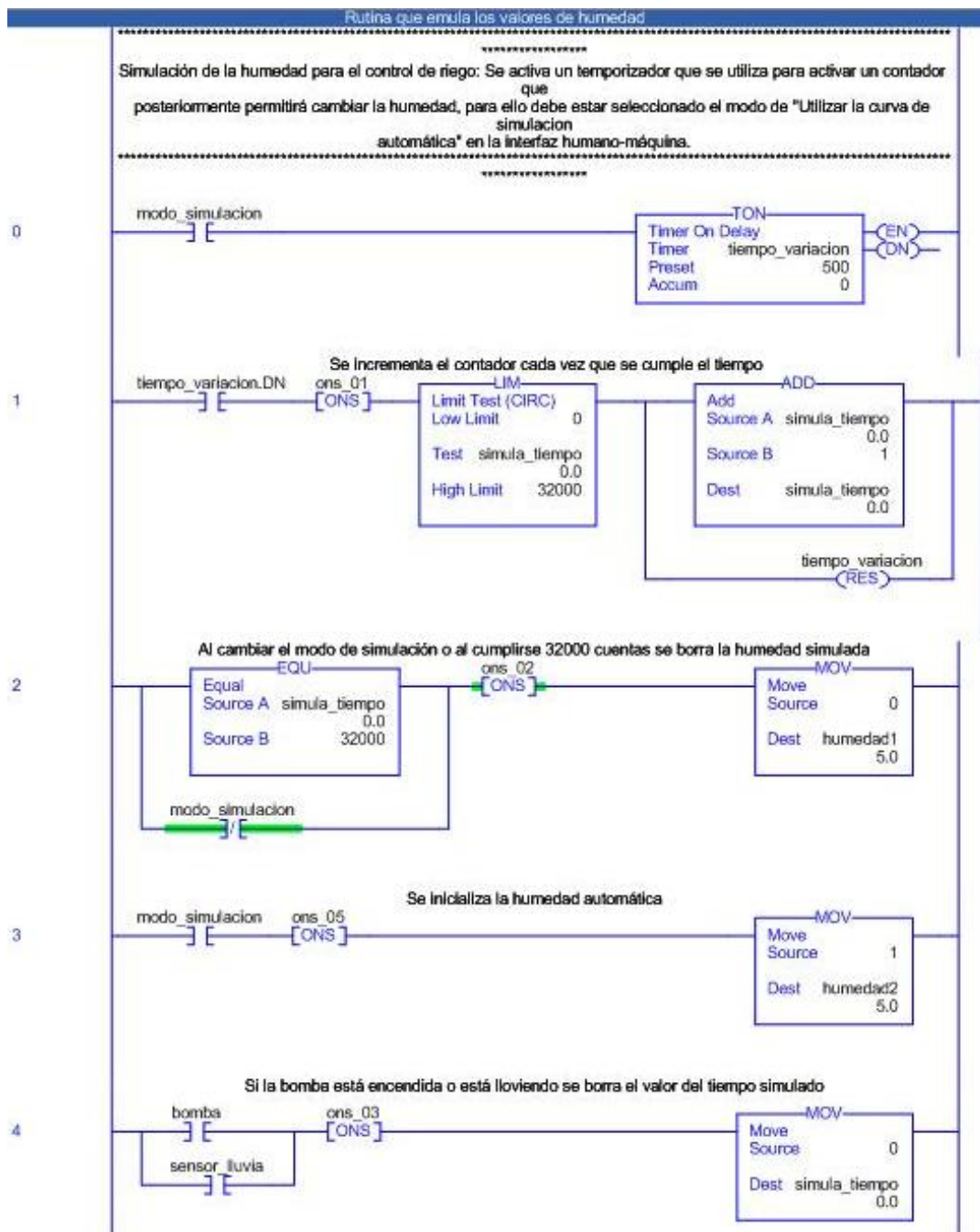


Ilustración 46: Rutina de Simulación de Valores de Humedad (Parte 1)

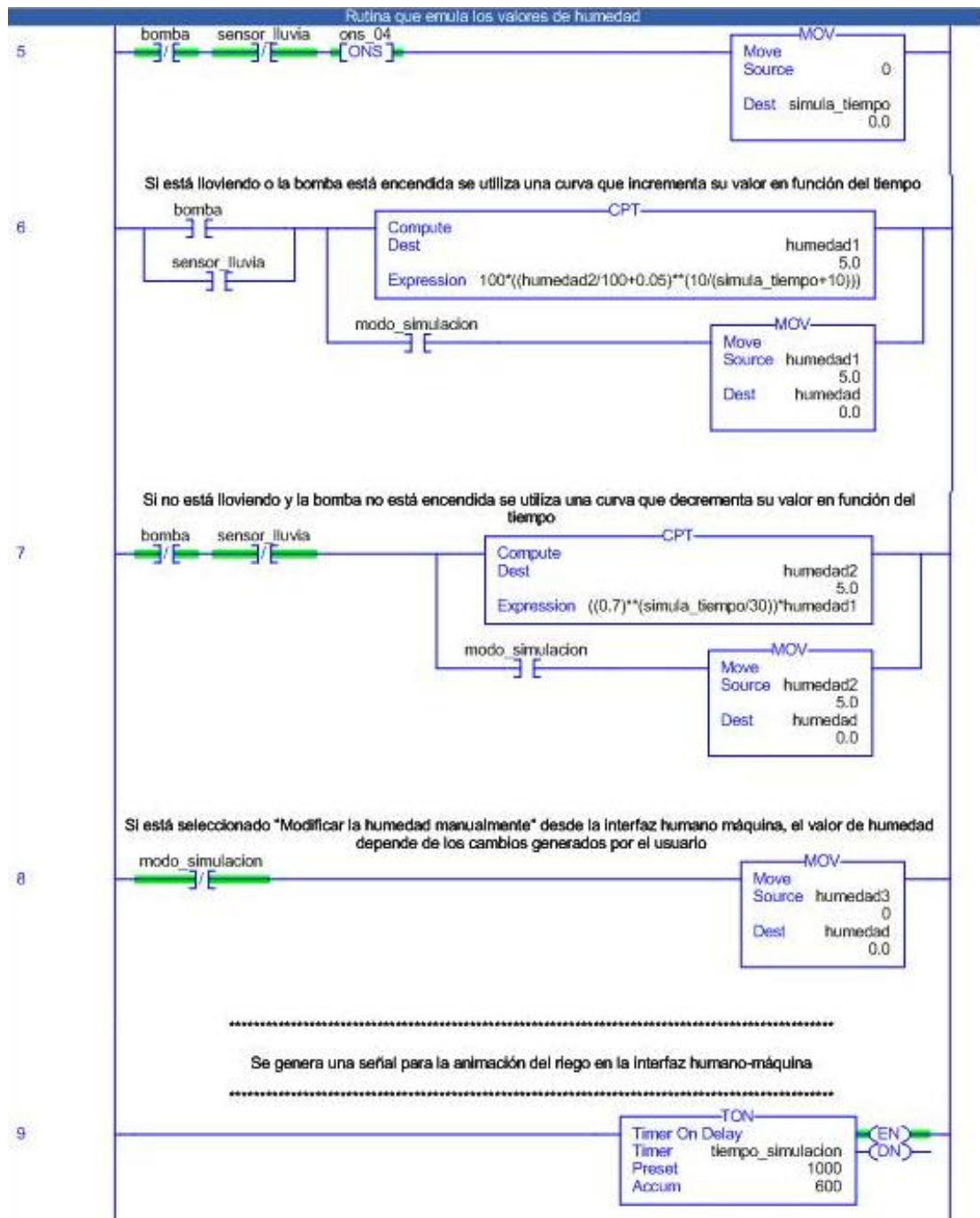


Ilustración 47: Rutina de Simulación de Valores de Humedad (Parte 2)

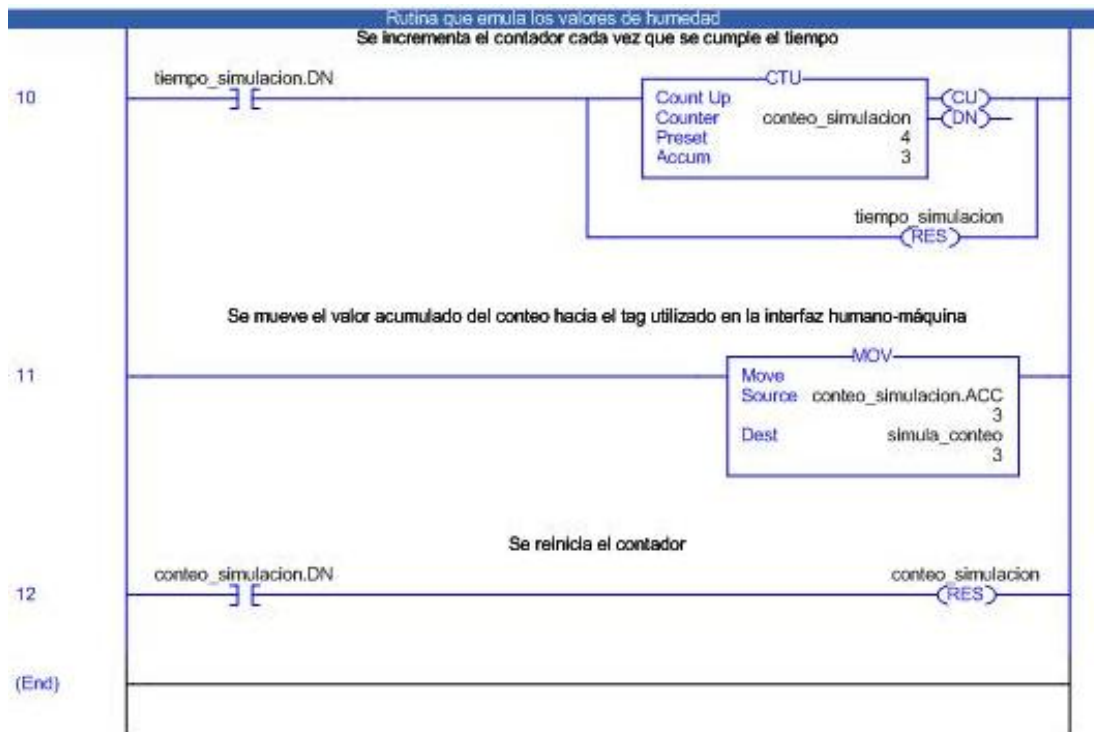


Ilustración 48: Rutina de Simulación de Valores de Humedad (Parte 3)

APÉNDICE F: Rutina apertura y cierre de electroválvulas

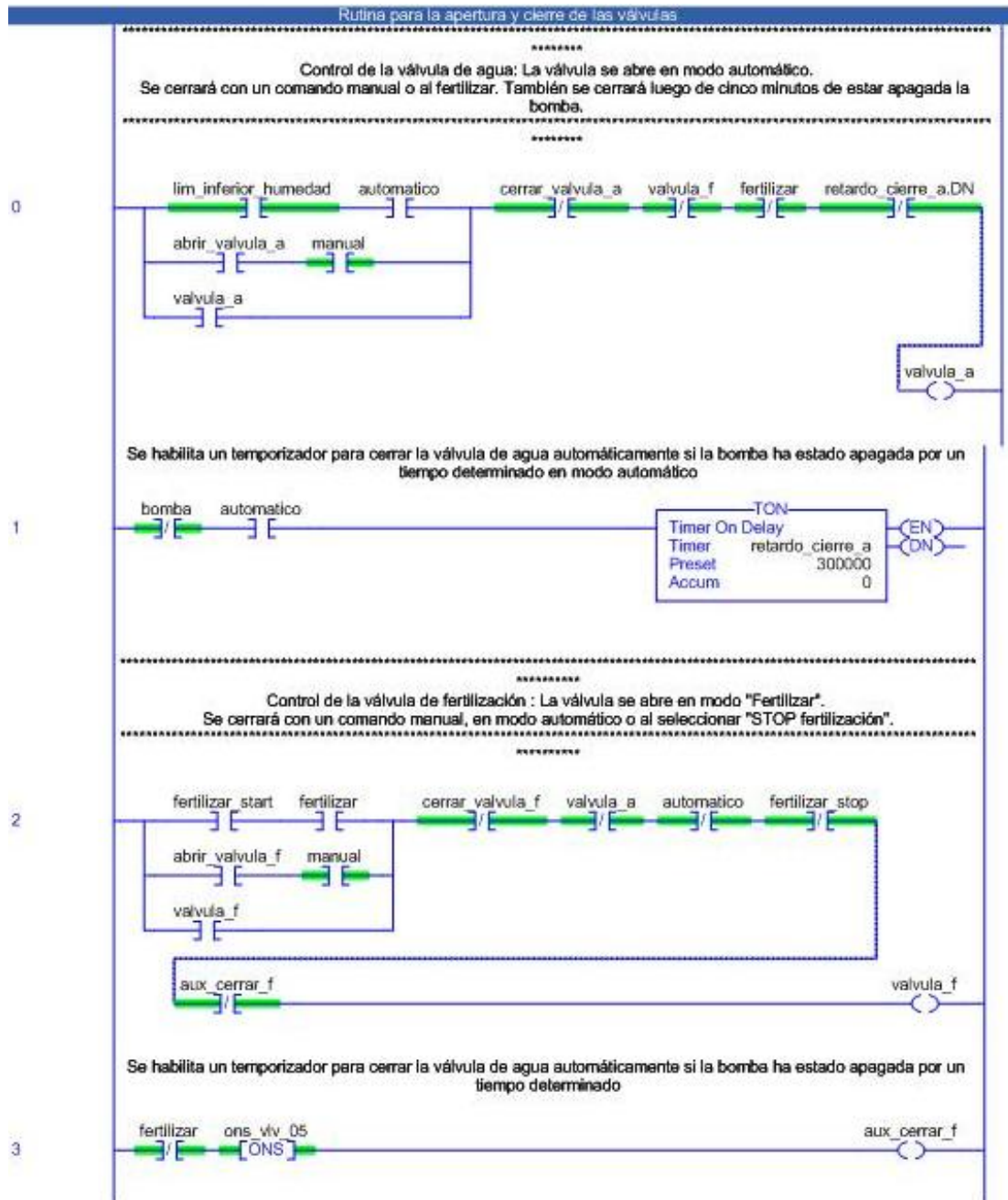


Ilustración 49: Rutina Apertura y Cierre de Electroválvulas (Parte 1)

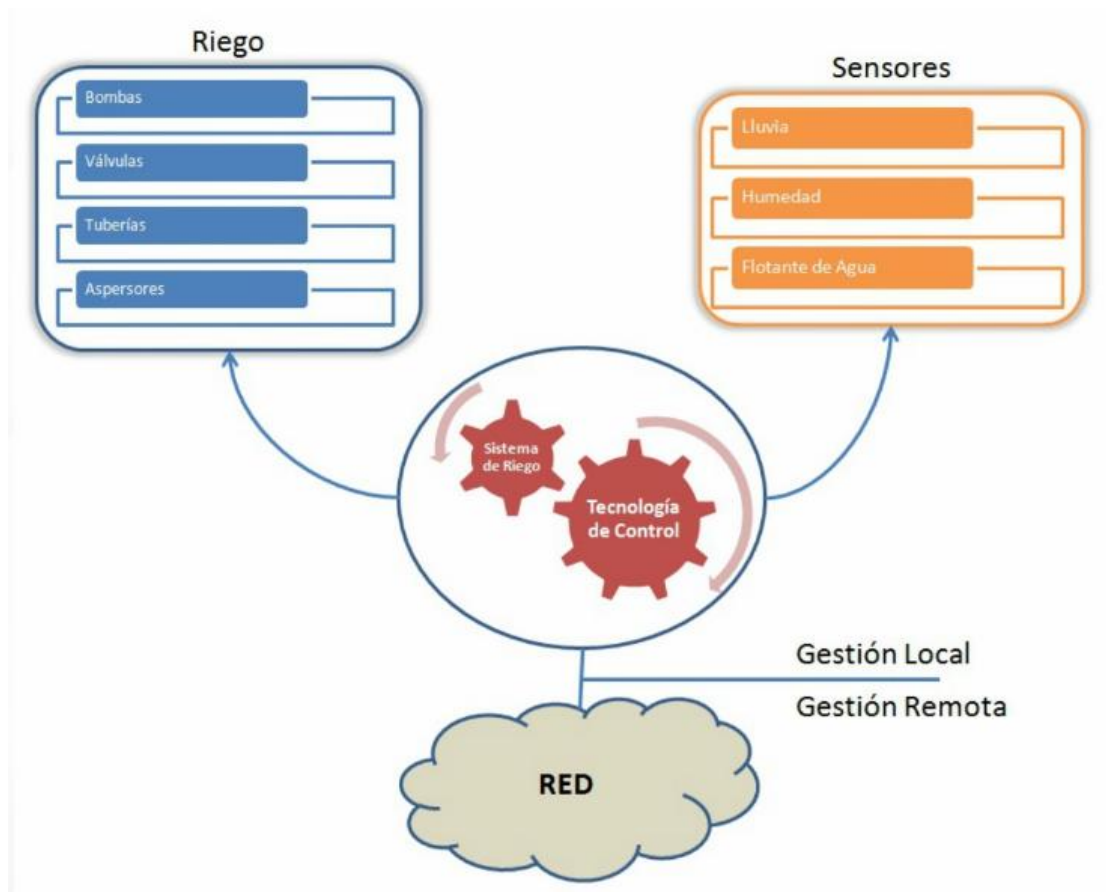


Ilustración 51: Diseño de engranaje del Sistema de Riego con Tecnología de Control