



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no
Renovables**

Carrera de Ingeniería Electromecánica

**Diseño de un sistema automático de fertirriego para la finca “Los
Limos” ubicada en el sector “La Capilla” de la parroquia El
Tambo**

**Trabajo de Integración Curricular,
previo a la obtención del título de
Ingeniera Electromecánica**

AUTORA:

Gladys Daniela Songor Juncay

DIRECTOR:

Ing. Julio César Cuenca Tinitana

Loja – Ecuador

2024

Educamos para **Transformar**

Certificación

Loja, 29 de febrero de 2024

Ing. Julio César Cuenca Tinitana

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño de un sistema automático de fertirriego para la finca “Los Limos” ubicada en el sector “La Capilla” de la parroquia El Tambo**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría del estudiante **Gladys Daniela Songor Juncay**, con **cédula de identidad Nro. 1105537938**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Julio César Cuenca Tinitana

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Gladys Daniela Songor Juncay**, declaro ser la autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mí Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Institucional –Biblioteca Virtual.

Firma:

Fecha: 29 de febrero de 2024

Cédula: 1105537938

Teléfono: +593 980655904

Correo electrónico: gladys.songor@unl.edu.ec

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Gladys Daniela Songor Juncay**, declaro ser la autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Diseño de un sistema automático de fertirriego para la finca “Los Limos” ubicada en el sector “La Capilla” de la parroquia El Tambo**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Electromecánica**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veintinueve días del mes de febrero del dos mil veinticuatro.

Firma:

Autora: Gladys Daniela Songor Juncay

Cédula: 1105537938

Dirección: Loja, Calle Chile y México

Teléfono: +593 980655904

Correo electrónico: gladys.songor@unl.edu.ec

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Julio César Cuenca Tinitana Mg. Sc.

Dedicatoria

Lleno de regocijo, amor y esperanza, dedico este trabajo de investigación a cada uno de mis seres queridos, quienes han sido un pilar fundamental para seguir adelante.

A mi madre María Juncay quien con su arduo esfuerzo y sacrificio me ha apoyado en este sendero de estudio y me ha animado innumerables veces a seguir adelante con mis metas, sueños y anhelos, sin su apoyo incondicional nunca lo hubiera logrado.

Este trabajo también va dedicado a mis hermanos quienes me han acompañado y apoyado con sus valiosos consejos para seguir cumpliendo mis metas como a seguir mejorando cada día como ser humano. De igual manera, este trabajo va dirigido a mis segundos padres Diana y Jaime los cuales me supieron brindar su apoyo y cobijo cuando más lo necesitaba, siempre les estaré agradecidos.

Por último, se lo dedico a todos aquellos amigos y compañeros con los que he compartido gratos momentos en toda esta travesía de estudio y quienes me supieron brindar su apoyo incondicional para cumplir mis metas.

Gladys Daniela Songor Juncay

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mis padres quienes me han apoyado incondicionalmente en cada aspecto de mi vida y siempre han creído en mí y en lo que puedo lograr; ¡gracias a su ejemplo, de perseverancia y esfuerzo he podido darme fuerzas para seguir adelante y triunfar en cada meta que me proyecte; estoy eternamente agradecido por su valiosa ayuda.

Al Ing. Julio César Cuenca Tinitana por su asesoría y ayuda en este sendero del conocimiento, quien supo guiarme hasta lograr cumplir con este proyecto de investigación que representa un nuevo peldaño en mi camino como profesional.

También agradezco a la Universidad Nacional de Loja por permitirme desarrollar mis conocimientos en la carrera que me apasiona y me motiva a convertirme en una gran profesional. De igual manera, le doy gracias a cada uno de mis profesores de la carrera de Electromecánica, quienes me han inculcado sus saberes y experiencias para lograr formarme como un futuro profesional de la patria.

Gladys Daniela Songor Juncay

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas:	xi
Índice de figuras:	xii
Índice de anexos:	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	5
4.1. Capítulo I: Sistemas de riego y fertirriego	5
4.1.1. Definición de riego	5
4.1.2. Tipos de riego	5
4.1.2.1. Riego por superficie	5
4.1.2.2. Tendido	5
4.1.2.3. Surco	5
4.1.2.4. Melga	6
4.1.2.5. Riego presurizado	7
4.1.2.6. Goteo	7
4.1.2.7. Microaspersión	7
4.1.2.8. Aspersión	8
4.1.3. Fertiirrigación	9
4.1.4. Necesidades de los cultivos	9
4.1.4.1. Dosis de Fertilizantes para el limón	10
4.2. Capítulo II: Diseño hidráulico y eléctrico	10
4.2.1. Componentes de una instalación de riego	11

4.2.1.1.	Fuente de agua	11
4.2.1.2.	Unidad de Bombeo	11
4.2.1.3.	Cabezal.....	11
4.2.1.4.	Tuberías de conducción	12
4.2.1.5.	Emisores de agua	12
4.2.1.6.	Laterales de riego.....	12
4.2.2.	Cálculo y Dimensionamiento de una instalación	12
4.2.2.1.	Necesidades netas del riego	12
4.2.2.2.	Necesidades totales de riego	15
4.2.2.3.	Valor de la relación de percolación:	15
4.2.2.4.	Valor del coeficiente de uniformidad:	15
4.2.2.5.	Porcentaje del área a mojarse (A):.....	16
4.2.2.6.	Elección de los goteros:	17
4.2.2.7.	Superficie mojada de la planta.....	17
4.2.2.8.	Superficie mojada del gotero	18
4.2.2.9.	Número de goteros por planta (n).....	18
4.2.2.10.	Tiempo de duración del riego (t).....	18
4.2.2.11.	Lamina total (Lt).....	18
4.2.2.12.	Caudal de Riego	19
4.2.2.13.	Intervalo entre riegos (I).....	19
4.2.2.14.	Dimensionamiento de la tubería.....	19
4.2.2.15.	Cálculo de la Capacidad de la Bomba.....	20
4.2.2.16.	Cálculo de la potencia del motor.....	21
4.2.3.	Dimensionamiento de un reservorio.....	22
4.2.3.1.	Cálculo del volumen del reservorio	22
4.2.3.2.	Cálculo del volumen del reservorio.....	22
4.2.4.	Dimensionamiento del sistema eléctrico.....	23
4.2.4.1.	Cálculo de potencia requerida.....	23
4.3.	Capítulo III: Automatización del sistema de riego	24
4.3.1.	Automatización de sistemas de riego	24
5.	Metodología	25
5.1.	Área de estudio	25
5.2.	Materiales y equipos	25

5.2.1. Materiales de oficina	25
5.2.2. Equipos.....	26
5.3. Procedimiento	26
5.4. Procesamiento y análisis de datos.....	26
5.4.1. Objetivo 1	26
5.4.2. Objetivo 2	27
5.4.3. Objetivo 3	28
6. Resultados	29
6.1. Diseño hidráulico.....	29
6.1.1. Necesidades netas de riego	29
6.1.2. Necesidades totales del riego.....	31
6.1.3. Porcentaje del área a mojarse	32
6.1.4. Superficie mojada de la planta.....	32
6.1.5. Superficie mojada del gotero.....	32
6.1.6. Número de goteros por planta(n).....	33
6.1.7. Tiempo de Duración del Riego(t).....	33
6.1.7.1. Tiempo total de riego	33
6.1.8. Lámina total de riego.....	33
6.1.9. Caudales de riego.....	34
6.1.10. Intervalo de riegos	34
6.1.11. Caudales de las tuberías.....	34
6.1.12. Dimensionamiento de la tubería	35
6.1.13. Cálculo de la capacidad de la bomba.....	37
6.1.14. Cálculo de la potencia del motor	39
6.1.15. Cálculo del reservorio.....	43
6.1.16. Inyector de fertilizante.....	44
6.2. Automatización del sistema	45
6.2.1. Planteamiento del problema	45
6.2.2. Automatización.....	46
6.2.2.1. Seleccionar el sistema de control.....	47
6.2.2.2. Diagrama de flujo para el proceso de riego	52
6.2.2.3. Control de la bomba.....	53
6.2.2.4. Matriz de presupuestos	55

6.2.2.5. Diagrama de control.....	56
6.2.2.6. Configuración de los sensores	56
6.2.2.7. Diseño eléctrico	56
6.3. Simulación	57
7. Discusión	60
8. Conclusiones	62
9. Recomendaciones	63
10. Bibliografía	64
11. Anexos	66

Índice de tablas:

Tabla 1. Requerimientos nutricionales del limón.....	10
Tabla 2. Valor de la tolerancia de los cultivos a la salinidad en relación con la disminución de su rendimiento.....	16
Tabla 3. Coeficientes de uniformidad (C_u).....	16
Tabla 4. Pérdidas de carga.....	21
Tabla 5. Cálculo de la distancia entre goteros.....	34
Tabla 6. Cálculo de los caudales de las tuberías.....	34
Tabla 7. Ficha técnica del gotero.....	36
Tabla 8. Presión de servicio total para el cálculo de la bomba.....	37
Tabla 9. Relación de los diámetros de la polea menor y la mayor.....	41
Tabla 10. Cálculo del volumen del reservorio.....	43
Tabla 11. Plan de nutrición parcela 1.....	44
Tabla 12. Plan de nutrición parcela 2.....	44
Tabla 13. Solubilidad de fertilizantes en agua.....	44
Tabla 14. Calculo de la bomba inyectora de fertilizantes.....	45
Tabla 15. Sensor de temperatura/humedad del suelo HOBOnet T11.....	48
Tabla 16. Características técnicas del sensor de fertilizantes.....	49
Tabla 17. Ficha técnica del sensor de nivel.....	50
Tabla 18. características técnicas del transmisor de potencia.....	50
Tabla 19. Electroválvula normalmente cerrada.....	51
Tabla 20. Electroválvula normalmente abierta.....	51
Tabla 21. Matriz de presupuestos para el segundo caso.....	55
Tabla 22. Dimensionamiento del sistema eléctrico.....	57

Índice de figuras.

Figura 1. Riego por surcos.....	6
Figura 2. Riego por melgas	6
Figura 3. Riego a goteo	7
Figura 4. Riego por microaspersor.	8
Figura 5. Riego por aspersión.....	9
Figura 6. Esquema del proceso de fertirrigación.....	11
Figura 7. Variación del factor de advección.....	14
Figura 8. Bulbos con solape	17
Figura 9. Coeficiente de corrección de potencia	21
Figura 10. Esquema de ángulo de una pirámide invertida tronca	23
Figura 11. Zona de estudio, ubicada en la finca “Los Limos” en la parroquia El Tambo del cantón Catamayo	25
Figura 12. Procedimiento metodológico.	26
Figura 13. Procedimiento para el desarrollo de la fase 1	27
Figura 14. Procedimiento para el desarrollo de la fase 2.....	27
Figura 15. Procedimiento para el desarrollo de la fase 4	28
Figura 16. Temperatura media mensual, de acuerdo a PVsyst.....	29
Figura 17. Variación del factor de advección, para la finca "Los Limos"	31
Figura 18. Esquema de instalación de tuberías en la finca “Los Limos”	35
Figura 19. Goteros autocompensantes.....	36
Figura 20. Cálculo de la bomba.....	38
Figura 21: Figura de referencia de la bomba centrífuga HidroStal 40/160.....	39
Figura 22. Diagrama del sistema de transmisión de potencia.	39
Figura 23. Coeficiente de corrección de potencia	40
Figura 24. Imagen de referencia del motor CHANGFA S195 de 8.82 kW	40
Figura 25. Gráfica para la selección del perfil de la correa.....	41
Figura 26. Cálculo del perfil de las correas.	42
Figura 27. Cálculos para determinar la geometría y componentes de la transmisión	43
Figura 28. Diagrama del sistema de fertirriego	46
Figura 29. Sensor de temperatura/humedad del suelo HOBOnet T11	48
Figura 30. Sensores de nitrógeno/fósforo/potasio del suelo (salida RS485).....	49
Figura 31. Sensor de nivel tipo boya para montaje lateral	50

Figura 32. transmisor de presión	50
Figura 33. Electroválvula normalmente cerrada de 3 in.....	51
Figura 34. Electroválvula normalmente cerrada de 1/2 in	52
Figura 35. Diagrama de flujo para el funcionamiento del sistema.....	53
Figura 36. Adaptación de la bomba y el motor mediante poleas	54
Figura 37. Palanca de aceleración del motor CHANGFA S195	54
Figura 38. Esquema de funcionamiento del sistema	55
Figura 39. Esquema de conexión de sensores	56
Figura 40. Simulación del sistema.....	58
Figura 41. Simulación del sistema 2.....	58

Índice de Anexos:

Anexo 1. Pérdida de carga por rozamiento en tubería de polietileno de baja densidad (en m.c.a./1000m) (Prandil-Colebrook).....66

Anexo 2. Plan de nutrición.....68

Anexo 3. Programa desarrollado en TIA Portal.....73

Anexo 4. Certificado de traducción del resumen75

1. Título

Diseño de un sistema automático de fertirriego para la finca “Los Limos” ubicada en el sector “La Capilla” de la parroquia El Tambo

2. Resumen

Este proyecto aborda el diseño de un sistema de fertirriego automático destinado a mejorar la eficiencia en el uso de agua y fertilizantes en la finca "Los Limos", el enfoque se basa en las necesidades específicas de la zona, considerando una extensión de 1.44 hectáreas dedicadas al cultivo de limón. La implementación se basa en un sistema hidráulico de fertirriego a goteo, utilizando goteros autocompensantes de 8 litros/hora.

La metodología implementada abarca diversas fases, comenzando con una revisión literaria, seguida de análisis detallado, recolección de datos, diseño hidráulico, automatización, diseño eléctrico y simulación del sistema propuesto.

Los resultados obtenidos incluyen cálculos detallados como el índice calórico, la evapotranspiración del suelo, coeficientes correctores y la demanda neta de agua. Se realiza una subdivisión en dos parcelas, mediante la cual se realiza el cálculo correspondiente de caudales, tiempo de riego y dimensionamiento de tuberías. La elección de la bomba centrífuga se justifica en su capacidad para cumplir con el caudal de $23.63 \text{ m}^3/\text{s}$ y una presión de 68.95 m.c.a. Además, se realiza el cálculo del volumen del reservorio y se desarrolla un sistema de inyección de fertilizantes. La propuesta incluye la automatización del sistema, que gestiona el riego, la fertilización y las limitantes de acuerdo con diversas condiciones climáticas y operativas. La presentación de la simulación del sistema en dos casos de automatización demuestra el funcionamiento integral de la bomba, válvulas y sensores, asegurando un riego eficiente y controlado en la finca.

***Palabras claves:** Control de riego, simulación de sistemas, gestión sostenible del riego, autonomía en el uso del agua, Sistemas de fertirriego automático*

Abstract

This project addresses the design of an automatic fertigation system aimed at improving the efficiency of water and fertilizer use in the "Los Limos" farm, the approach is based on the specific needs of the area, considering an extension of 1.44 hectares dedicated to lemon cultivation. The implementation is based on a hydraulic drip fertigation system, using self-compensating drippers of 8 liters/hour.

The implemented methodology covers several phases, starting with a literature review, followed by detailed analysis, data collection, hydraulic design, automation, electrical design and simulation of the proposed system.

The results obtained include detailed calculations such as heat rate, soil evapotranspiration, correction coefficients and net water demand. A subdivision into two plots is carried out, by which the corresponding calculation of flow rates, irrigation time and pipe sizing is performed. The choice of the centrifugal pump is justified by its capacity to meet the flow rate of 23.63 m³/s and a pressure of 68.95 m.c.a. In addition, the calculation of the reservoir volume is performed, and a fertilizer injection system is developed. The proposal includes the automation of the system, which manages irrigation, fertilization, and limiters according to various climatic and operational conditions.

The presentation of the simulation of the system in two cases of automation demonstrates the integral operation of the pump, valves, and sensors, ensuring an efficient and controlled irrigation in the farm.

Keywords: Automatic fertigation systems, irrigation control, system simulation, sustainable irrigation management, water use autonomy.

3. Introducción

La finca “Los Limos”, ubicada en El Tambo con una extensión de 1.44 Ha, se dedica mayoritariamente al cultivo del limón, esta finca posee una vertiente con un caudal aproximado de 1.5 l/s, considerado muy bueno para el sector donde se ubica la finca, el propietario se encuentra en busca de un sistema que le permita mejorar el uso del agua.

El fertirriego es una de las opciones de mayor relevancia, de acuerdo con la CONGOPE (2016) ofrece diversas ventajas como: un ahorro del agua de riego, debido a que se aplica únicamente en el suelo ocupado por las raíces de los cultivos, menor evaporación, una distribución más exacta y uniforme; se consigue un aumento considerable en el rendimiento del cultivo; dificulta la aparición de malas hierbas; la nutrición de la planta se hace en el riego; entre otras ventajas. Por lo tanto, esta técnica se acopla a las necesidades de la finca.

Con el fin de cumplir con el objetivo general de diseñar un sistema de riego automático que permita la aplicación eficiente de agua y fertilizantes, se investiga acerca de los diversos sistemas de riego en específico del fertirriego por goteo destinados a este tipo de cultivos, las necesidades nutricionales del limón, así como los requerimientos de agua en base al tipo de terreno, temperatura, área de riego entre otras características de la finca.

Los objetivos específicos propuestos son estos:

- Diseñar un sistema de fertirriego en base a las necesidades de la finca “Los Limos”
- Diseñar un sistema de control para automatizar el proceso de fertirrigación propuesto.
- Validar mediante simulación el funcionamiento del sistema de fertirriego automático propuesto.

El presente trabajo inicia con una revisión de marco teórico especialmente sobre sistemas de fertirriego, seguido de la metodología donde se expone para cada objetivo los pasos a cumplir comprende varias secciones, en la primera etapa se realiza una revisión bibliográfica, seguido de un análisis del área de estudio como el requerimiento hidráulico para posteriormente realizar el diseño hidráulico donde se selecciona las tuberías, la bomba y el dosificador de fertilizantes; en la segunda etapa se realiza la automatización del sistema seleccionando los elementos que estarán presentes en el sistema como los sensores y actuadores; en la tercera etapa se realiza el diseño eléctrico ya que se determina el consumo eléctrico; en la cuarta etapa se realiza la simulación SCADA. Finalmente se expone la discusión, conclusiones y recomendaciones.

4. Marco Teórico

4.1. Capítulo I: Sistemas de riego y fertirriego

4.1.1. *Definición de riego*

Según Chirinos (2016) el riego o irrigación se define como la aplicación artificial de agua a cierto terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo. Los objetivos son:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse.
- Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
- Refrigerar el suelo y la atmósfera para mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
- Disolver las sales y minerales contenidos en el suelo.
- Reducir la probabilidad de formación de drenajes naturales.
- Dar tempero a la tierra.

4.1.2. *Tipos de riego*

4.1.2.1. **Riego por superficie**

Según Demin (2014) la principal ventaja de este tipo de riego es que tiene relativamente bajos costes de inversión y no requiere de un consumo de energía. Existen varias formas de irrigar por superficie: por tendido, surco y melga.

4.1.2.2. **Tendido**

Demin (2014) señala que el riego por tendido o por inundación consiste en liberar agua que, a lo largo de una superficie, se define por tener elevadas pérdidas de agua debido a que su distribución en la parcela es dispareja, es decir que en algunos sectores se presenta un exceso de agua mientras que en otra será baja o nula.

4.1.2.3. **Surco**

Demin (2014) indica que en el riego por surcos el agua se distribuye a través de pequeños canales o surcos, mismos que cuentan con una pendiente negativa o de igual altura por donde avanza el agua (ver **Figura 1**). Este tipo de irrigación es útil en cultivos sembrados en línea como los hortícolas y frutales.

Para lograr un riego eficiente se deben tener en consideración los siguientes factores:

- Los patrones de infiltración en el perfil del suelo.
- La longitud de los surcos depende de la textura del suelo y de la infiltración.
- Utilizar caudales fáciles de manejar.



Figura 1. Riego por surcos

Fuente: (Junta de Andalucía, 2010)

4.1.2.4. Melga

Demin (2014) indica que el método de riego por melgas el agua avanza por un espacio de suelo a modo de franjas que queda entre 2 bordos construidos para tal fin, de manera que el agua se mueve encajonada desde la cabecera hasta el pie, como se muestra en la **Figura2**.

Es bastante útil para regar pasturas, cereales y, en algunos casos, frutales. Tiene las desventajas de necesitar una gran cantidad de agua y un suelo bien nivelado. Si la pendiente a lo largo de la melga es mayor a 0,1 % deberá aplicarse riego con desagüe al pie o sino regar con 2 caudales, como se explicó anteriormente. Se debe tener precaución que la pendiente transversal en la melga sea baja para que el agua avance lo más pareja posible. Se debe de considerar que cuanto mayor es la pendiente del terreno, menor debería ser el caudal para utilizar.



Figura 2. Riego por melgas

Fuente: (Junta de Andalucía, 2010)

4.1.2.5. Riego presurizado

Según Demin (2014), en cualquier sistema presurizado, el agua, que es conducida desde las tuberías, se encuentra bajo una determinada presión, llegando directamente a cada planta. Con el riego a presión se evitan pérdidas por infiltración, conducción y distribución, obteniendo agua disponible para la planta. De igual forma, se debe conocer los niveles freáticos de riego que estarán en función de las necesidades de riego del cultivo. La fuente de presurización puede ser una bomba o en forma natural, utilizando la pendiente del terreno mayor a 10 m (presurización por gravedad).

4.1.2.6. Goteo

Según Demin (2014) este método de riego consiste en la aplicación continua de agua a gotas en un lugar cercano a la planta, mojando sólo una parte del volumen del suelo tal como se muestra en la **Figura 3**. Este es un riego de alta frecuencia donde el agua que la planta consumió hace uno o más días necesita ser reemplazada.

En este método, se forma un bulbo húmedo en el suelo debajo de cada gota donde la planta desarrolla una gran cantidad de raíces. Cabe señalar que en la tubería el agua circula con presión, pero cae al suelo a presión atmosférica. Esto se debe a que el emisor o gotero tiene un diseño, que permite que se pierda presión para dejar caer gotas. Están diseñados para proporcionar diferentes caudales. En el mercado existen goteros autocompensantes y no autocompensantes, estos cuentan con una membrana que permite que el goteo no disminuya si baja la presión.



Figura 3. Riego a goteo

Fuente: (EEA INTA Catamarca, 2014)

4.1.2.7. Microaspersión

Consiste en la aplicación de agua al suelo en gotas muy pequeñas (Demin, 2014). Requiere una presión de 1,6 kg/cm, es decir mucho más baja que la aspersion, como se observa

en la **Figura 4**. El diámetro de mojado que genera el microaspersor puede ser de alrededor de 3-4 metros.

Es recomendable para cultivos como frutales, riego en viveros y algunas hortalizas. Los más comunes son los microaspersores propiamente dichos en los que se clava un soporte en el suelo y se abastece de agua de una manguera que suele estar superficial. Otros microaspersores son los microjets que se colocan de manera que cuelgan por encima de las plantas conectados a una manguera colgada de las cuales se abastecen de agua, se utilizan generalmente en viveros.



Figura 4. Riego por microaspersor.

Fuente: (EEA INTA Catamarca, 2014)

4.1.2.8. **Aspersión**

Según Demin (2014) el riego por aspersión aplica agua en forma de lluvia a la planta. El agua se conduce a través de tuberías a presión cuando llega al aspersor el chorro se rompe en gotas que caen al suelo. Es un método útil de riego en casos donde el viento no es importante porque puede causar pérdidas en el suelo, produce muchas pérdidas por evaporación como se muestra en la **Figura 5**. Es un sistema que utiliza mucha energía eléctrica porque necesita alta presión para su funcionamiento.

Entre los equipos que se utilizan son el de aspersión fija, portátil, cañón, pivote central y avance frontal. Es necesario asegurarse de que la velocidad de aplicación de la lámina de riego, es decir la velocidad a la que cae, sea igual o inferior a la velocidad de infiltración del suelo para evitar la escorrentía. En este sistema se utilizan aspersores que arrojan caudales de 600 litros/hora.



Figura 5. Riego por aspersión.

Fuente: (EEA INTA Catamarca, 2014)

4.1.3. Fertiirrigación

La fertiirrigación es la aplicación de los nutrientes que necesita la planta mediante el agua de riego. El primer objetivo del fertirriego es poner a disposición de la planta el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. Por lo tanto, se debe ajustar en función del cultivo, época del año, estado de desarrollo de la planta y el objetivo de producción (Mazuela, et al. 2013).

La fertiirrigación permite aumentar de manera considerable la productividad de los cultivos, gracias a un mejor entendimiento del proceso productivo vegetal, lo que se traduce en un mejor control y aprovechamiento del agua y nutrientes, donde se busca un balance hídrico y nutricional, monitoreando ambas variables. Con esta técnica de riego se ha conseguido incorporar plantaciones en suelos antes no aptos para la agricultura, pero que se encuentran ubicados en zonas de climas adecuados para ciertas especies vegetales (Calvache A., 2008).

4.1.4. Necesidades de los cultivos

Para la nutrición vegetal los elementos indispensables para el desarrollo de todos los cultivos se agrupan en tres categorías de acuerdo con la cantidad que se requiere.

- Macronutrientes: Carbono, calcio, magnesio, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio y azufre.
- Micronutrientes: Hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno, cloro.
- Otros: Cobalto, sodio, silicio.

Todos estos elementos excepto el oxígeno, hidrógeno y carbono, son absorbidos casi

exclusivamente por las raíces e ingresan al sistema vascular por medio del agua. Los requerimientos de macronutrientes, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio está determinado por la especie vegetal, por el período fenológico y por el nivel de producción esperado. Para conocer la cantidad de fertilizante a aplicar y la distribución a lo largo de la temporada de cultivo es necesario disponer de información validada a las condiciones propias del terreno (Black, 2016).

Vegas & Narrea, (2011) mencionan que estas características: físicas, químicas y biológicas; llegan a determinar la disposición y productividad natural de los suelos, para el mejor desarrollo de los cultivos. En este caso el limonero por tener un sistema radicular poco profundo (Menos de 1 m.), tiende a desarrollarse mejor en suelos de textura ligera (arenosos), media (francos) y fina (arcillosos); tienen que ser moderadamente profundos; tener un buen drenaje y sobre todo un bajo contenido de sales.

4.1.4.1. Dosis de Fertilizantes para el limón

De acuerdo con Vegas & Narrea, (2011) el nitrógeno, fósforo y potasio son elementos indispensables para el crecimiento y la producción de limón, además proponen la **tabla 1** para la aplicación de estos elementos.

Tabla 1. Requerimientos nutricionales del limón

Edad del árbol en años	Requerimiento gramos/por árbol		
	N	P2O5	K2O
1	20	20	0
2	30	5	8
3	35	8	10
4	50	10	20
5	125	40	60
6	225	75	110
7	260	90	130
8	300	100	150
9	375	125	187,5

Árbol adulto se debe mantener la fórmula de fertilización, para años subsecuentes
Una sola aplicación hecha en el fondo de la cepa al momento de plantar

Fuente: (Vegas & Narrea, 2011)

4.2. Capítulo II: Diseño hidráulico y eléctrico

En el diseño hidráulico, primero se determina la subunidad de riego, que contempla la tolerancia de presiones y caudales, pérdidas de carga, diámetros de tubería, etc. Posteriormente se diseña la unidad de riego, el trazado y diámetros de tuberías primarias y secundarias y el cabezal de riego, tal esquema se puede visualizar en la **Figura 6**.

En general se diseña de tal manera que las unidades de riego que constituyen una

operación estén ubicadas en sectores separados, a fin de equilibrar presiones y dividir los caudales para emplear menor diámetro en las tuberías. Desde el punto de vista agronómico, esto no es recomendable, ya que es necesario agrupar sectores con cultivos similares en términos de necesidades de agua y tiempo de cosecha. Esta última condición es la más relevante durante el diseño (Liotta, 2015).

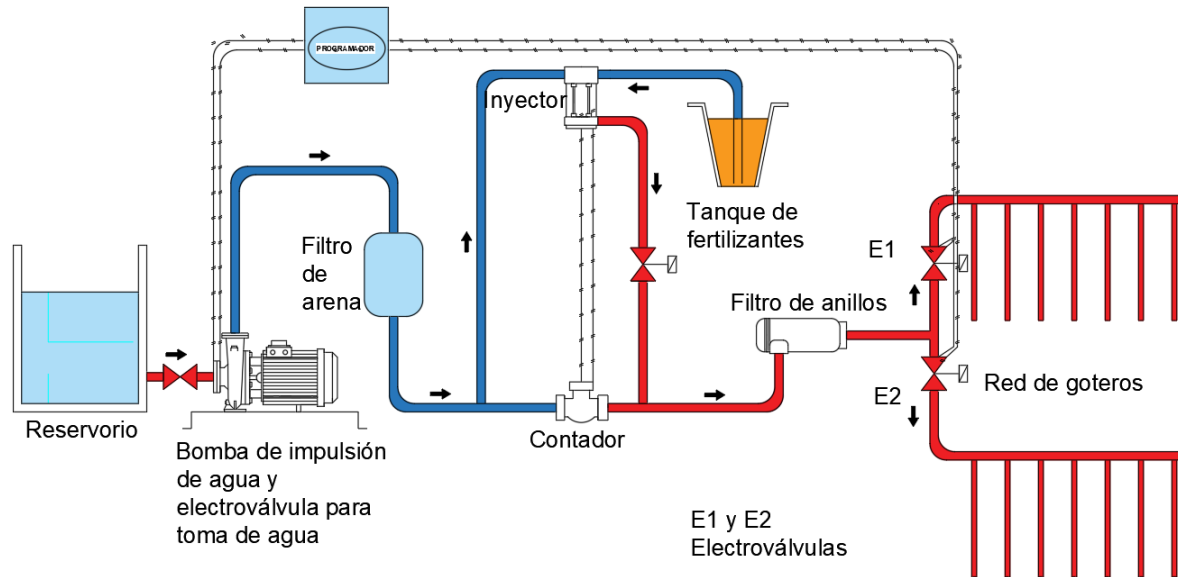


Figura 6. Esquema del proceso de fertirrigación.

4.2.1. Componentes de una instalación de riego

4.2.1.1. Fuente de agua

Se refiere a la fuente de donde se obtendrá el agua para realizar el abastecimiento del sistema de riego.

4.2.1.2. Unidad de Bombeo

Está compuesto por una o varias bombas cuyo tamaño y potencia dependen de la superficie a regar, la tubería de aspiración desde el pozo o depósito y la tubería de impulsión a la salida de la bomba. El dimensionamiento de la bomba debe ser tal que la presión requerida sea suficiente para superar las diferencias de presión y las pérdidas de carga de todo el sistema. Las más utilizadas son las de tipo centrífugo alimentadas con energía eléctrica (Liotta, 2015).

4.2.1.3. Cabezal

Es el conjunto de aparatos destinados a tratar, medir y filtrar el agua que utilizan para evitar la entrada de elementos que obstruyan el gotero, además de los dispositivos que inyectan los fertilizantes en la corriente, lo cual permite optimizar las aplicaciones para una mejor asimilación debido a la humedad del suelo y rapidez de la distribución (Burneo, 2018).

4.2.1.4. Tuberías de conducción

Está constituida por tuberías principales y auxiliares que son utilizadas para la distribución del fluido, en las que se insertan emisores y goteros, por lo general son de cloruro de polivinilo PVC, con diámetros superiores a los 50 mm que tienen que ser enterrados para evitar los efectos de la radiación solar y la temperatura (Burneo, 2018).

A lo largo de la red de conducción del fluido se usan piezas para las derivaciones, apertura y cierre del paso de agua, cambio de dirección, entre otras.

4.2.1.5. Emisores de agua

Según Burneo (2018) los goteros son la parte más importantes de todo este sistema de riego. Su adecuada selección garantiza que se cumpla con las necesidades hídricas del cultivo, para lo cual se considera:

- El gotero seleccionado debe aportar pequeños caudales de entre 1 y 12 *litros/hora*, de manera constante y uniforme como los autocompensantes.
- Las inevitables variaciones de presión les afecte lo menos posible.
- Su costo sea permisible y su fabricación garantizada.
- Que su diámetro sea el adecuado.
- Que sean poco sensibles a los cambios de temperatura.

4.2.1.6. Laterales de riego

Son las tuberías que se ubican dentro del cultivo a lo largo de la hilera de plantas. En función del caudal a distribuir y la longitud de riego (Liotta, 2015).

4.2.2. Cálculo y Dimensionamiento de una instalación

Para realizar el cálculo y dimensionamiento del sistema de riego se toma en consideración la guía “Hablemos de Riego” la cual fue elaborada por el “Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador (CONGOPE)”. Con esta se asegura que el diseño realizado abarca todos los cálculos necesarios para los requerimientos de riego propios en el Ecuador.

4.2.2.1. Necesidades netas del riego

Para los sistemas de riego tradicionales la demanda neta (D_n) es igual a la evapotranspiración (ET) menos la precipitación efectiva (P_e), ($D_n = ET - P_e$), pero en los sistemas por goteo la precipitación efectiva no se considera dada la alta frecuencia de riego y

entonces se tiene que $D_n = E_T$.

Al mojarse solo una parte del suelo, la parte que permanece seca, por radiación se calienta más y este calentamiento da lugar a una mayor emisión de calor que hace que el aire que está sobre él se caliente, dando lugar al movimiento de advección, mediante el cual el aire caliente se eleva y calienta la planta, produciendo una mayor transpiración. Para el cálculo de la demanda neta se utiliza la **ecuación (1)**. K_1 corresponde al coeficiente corrector por localización, K_2 al coeficiente corrector por variación climática y K_3 al coeficiente por advección.

$$D_n = E_T * K_1 * K_2 * K_3 \quad (1)$$

Para hallar la evapotranspiración se utiliza el método de Thornthwaite descrito en CONGOPE, (2016) cuya **ecuación (2)** permite encontrar su valor.

$$E_T = 1.6 * \left(\frac{10 * T}{I}\right) * a \quad (2)$$

Donde:

E_T = evaporación potencial no ajustada para meses de 30 días de 12 horas luz (mm)

T = temperatura media mensual (°C)

I = índice calórico anual, que se obtiene de la suma de los valores mensuales (i) que a su vez obedece a la **ecuación (3)**:

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (3)$$

i = índice calórico mensual

a = constante que depende del lugar y que es función del índice de eficiencia anual de temperatura, cuyo valor se calcula con la **ecuación (4)**:

$$a = 0.000000675 * I^3 - 0.0000771 * I^2 + 0.017925 * I + 0.49239 \quad (4)$$

Para el cálculo del coeficiente corrector por localización (K_1) se encuentra relacionada con la Fracción de Área Sombreada (FAS) **ecuación (5)**

$$FAS = \frac{\pi * r^2}{MP} \quad (5)$$

Donde:

MP = Marco de plantación

Para calcular el coeficiente corrector por localización (K_1) que es la media de los

valores intermedios, para ello se utilizan las **ecuaciones (6), (7), (8) y (9)**:

Fórmula de Aljibury

$$K1 = 1.34 * FAS \quad (6)$$

Fórmula de Decroix

$$K1 = 0.1 + FAS \quad (7)$$

Fórmula de Hoare

$$K1 = FAS + 0.50(1 - FAS) \quad (8)$$

Fórmula de Keller

$$K1 = FAS + 0.15(1 - FAS) \quad (9)$$

Para calcular el coeficiente corrector por variación climática (K_2): El riego por goteo permite mejorar el valor de la evapotranspiración calculada, según el desarrollo de la planta o según la variación climática existente en un 15 a 20 % con lo que el valor de K_2 será de 1.15 o 1.20 según el criterio del diseñador dependiendo de la necesidad de agua que tenga la planta.

Para calcular el coeficiente por advección (K_3) se considera el movimiento del aire caliente puede producir un microclima que afecta al cultivo. Este es un coeficiente corrector, está en función de la naturaleza del cultivo y del área a ser regada. Para encontrar el valor se utiliza la **figura 7**.

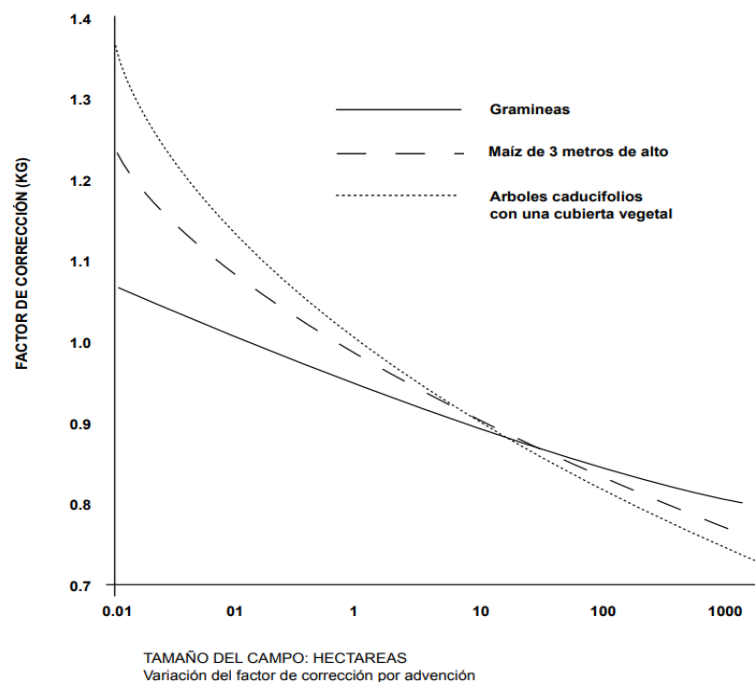


Figura 7. Variación del factor de advección.

Fuente: (CONGOPE, 2016)

4.2.2.2. Necesidades totales de riego

En el riego por goteo la eficiencia de aplicación se refiere al aporte adicional de agua que se debe dar por las pérdidas causadas por percolación profunda o por salinidad y por la falta de uniformidad del riego, para ello se hace uso de la **ecuación (10)**.

$$D_t = \frac{D_n}{R_p * (1 - R_L)} * C_u \quad (10)$$

Donde:

D_t = Demanda total

D_n = Demanda neta

R_p = Relación de percolación

R_L = Requerimiento de lavado

C_u = Coeficiente de uniformidad

Los valores de percolación y lavado no se toman simultáneamente, se toma solo el de menor valor como observamos en la **ecuación (11)**, en consecuencia:

$$R_p < (1 - R_L) \rightarrow D_t = \frac{D_n}{R_p * C_u} \quad (11)$$

4.2.2.3. Valor de la relación de percolación:

Se asume que existe un valor por pérdida de percolación, el mismo que se ha fijado en 0.95 el valor del requerimiento de lavado: Está dado por la **ecuación (12)**.

$$R_L = \frac{CE_a}{2 * \max\{CE_e\}} \quad (12)$$

Donde:

R_L = Requerimiento de lavado

CE_a = Conductividad eléctrica del agua en dS/m

CE_e = Conductividad eléctrica del estrato de saturación en dS/m

El valor de la conductividad del estrato se refiere a la máxima disminución del rendimiento del cultivo, valores que se señalan en la **tabla 2**.

4.2.2.4. Valor del coeficiente de uniformidad:

Los goteros no aportan el mismo caudal, debido a factores constructivos producidos en la fabricación de estos, o también debido al sometimiento de distintas presiones, por lo que para saber el coeficiente de uniformidad con el que se va a trabajar se emplea la **tabla 3**.

Tabla 2. Valor de la tolerancia de los cultivos a la salinidad en relación con la disminución de su rendimiento.

Tolerancia de los cultivos a la salinidad en relación con la disminución de su rendimiento (FAO)					
Disminución del rendimiento	0%	10%	25%	50%	100%
Conductividad eléctrica del extracto de saturación (dS/m)					
Cultivos extensivos					
Habas	1.6	2.6	4.2	6.8	12
Maíz	1.7	2.5	3.8	5.9	10
Cultivos hortícolas					
Apio	1.8	3.4	5.8	9.9	18
Brócoli	2.8	3.9	5.5	8.2	14
Calabaza	4.1	5.8	7.4	10	15
Col	1.8	2.8	4.4	7	12
Cebolla	1.2	1.8	2.8	4.3	7.4
Espinaca	2	3.3	5.3	8.6	15
Lechuga	1.3	2.1	3.2	5.1	9
Maíz dulce	1.7	2.5	3.8	5.9	10
Pepino	2.5	3.3	4.4	6.3	10
Pimiento	1.5	2.2	3.3	5.1	8.6
Rábano	1.2	2	3.1	5	8.9
Remolacha	4	5.1	6.8	9.6	15
Tomate	2.5	3.5	5	7.6	13
Frutales					
Aguacate	1.3	1.8	2.5	3.7	6
Disminución del rendimiento					
Limonero	1.7	2.3	3.3	4.8	8
Naranja	1.7	2.4	3.3	4.8	8

Fuente: (CONGOPE, 2016)

Tabla 3. Coeficientes de uniformidad (C_u)

Emisor	Emisores por planta	Pendiente (i)	C_u
Goteros espaciados más de 1 metro	Más de tres	Uniforme (i < 2 %)	0.90 - 0.95
		Uniforme (i > 2 %) u ondulada	0.85 - 0.90
	Menos de tres	Uniforme (i < 2 %)	0.85 - 0.90
		Uniforme (i > 2 %) u ondulada	0.80 - 0.90
Goteros espaciados menos de 1 m, mangueras y cintas de exudación		Uniforme (i < 2 %)	0.80 - 0.90
		Uniforme (i > 2 %) u ondulada	0.70 - 0.85
Difusores y Microaspersores		Uniforme (i < 2 %)	0.90 - 0.95
		Uniforme (i > 2 %) u ondulada	0.85 - 0.90

Fuente: (CONGOPE, 2016)

4.2.2.5. Porcentaje del área a mojarse (A):

Ya que el riego es localizado es necesario determinar un mínimo de superficie a

mojarse de tal manera que las raíces se desarrollen normalmente. En la guía “Hablemos de Riego” se recomiendan los siguientes valores en porcentajes:

En cultivos de marco amplio $25 < A < 35$

En cultivos de marco medio $40 < A < 60$

En cultivos hortícolas $70 < A < 90$

4.2.2.6. Elección de los goteros:

Los fabricantes de goteros ofrecen una gama de caudales que van desde los 2, 4, 6, 8 y 12 l/h; por lo general, el de 2 y 4 l/h se ocupa en horticultura mientras que si el cultivo a regar es frutal se utilizará el de 8 l/h. Estos goteros se pueden disponer de dos formas: en una línea húmeda continua o zonas húmedas alrededor de la planta, dependiendo del tipo de cultivo. El tamaño de la zona húmeda requerida se consigue con el solape este es el porcentaje de humedad que puede sobreponerse entre dos bulbos consecutivos con relación al radio del bulbo tal como se muestra en la **figura 8**, este valor se calcula usando la **ecuación (13)**.

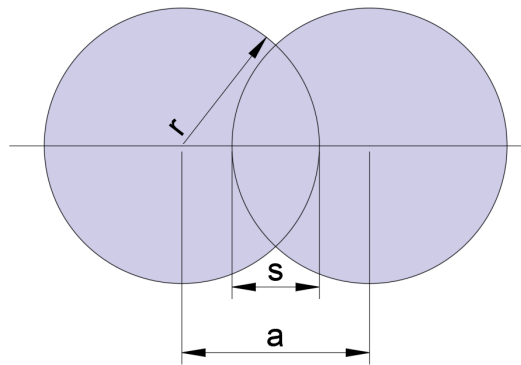


Figura 8. Bulbos con solape

$$S = \left(\frac{a}{r}\right) * 100 \quad (13)$$

Donde:

S = Solape expresado en %, este valor está entre el 15 y el 30 %

a = Distancia recubierta por dos bulbos consecutivos

r = Radio del bulbo

La distancia “D” entre goteros consecutivos debe ser calculada con la **ecuación (14)**.

$$D = r \left(2 - \left(\frac{S}{100} \right) \right) \quad (14)$$

4.2.2.7. Superficie mojada de la planta

$$S_{mp} = MP * AM \quad (15)$$

Donde:

S_{mp} = Superficie mojada de la planta

AM = porcentaje del área a mojarse

4.2.2.8. Superficie mojada del gotero

Para el cálculo de la superficie que será mojada del gotero se basa para la textura del suelo, para ello se usan las **ecuaciones (16), (17) y (18)**.

$$\text{En suelos de textura arcillosa:} \quad d = 1.2 + 0.1q \quad (16)$$

$$\text{En suelos de textura media:} \quad d = 0.7 + 0.11q \quad (17)$$

$$\text{En suelos de textura arenosa:} \quad d = 0.3 + 0.12q \quad (18)$$

Donde:

d = diámetro mojado por el gotero

q = caudal del gotero escogido

4.2.2.9. Número de goteros por planta (n)

Este valor resulta de la **ecuación (19)**.

$$n = \frac{S_{mp}}{S_{mg}} \quad (19)$$

Donde:

S_{mg} = Superficie mojada del gotero

4.2.2.10. Tiempo de duración del riego (t)

Este valor se da gracias a la **ecuación (20)**.

$$t = \frac{D_t * A}{q * n} \quad (20)$$

Donde:

D_t = demanda total

A = Superficie mojada por planta

q = Caudal del gotero escogido

n = Número de goteros por planta

4.2.2.11. Lamina total (L_t)

Es equivalente a la cantidad de agua aplicada en cada riego y se describe por la **ecuación (21)**.

$$L_t = q * n * t \quad (21)$$

4.2.2.12. Caudal de Riego

Para calcular el caudal de riego se debe de tomar en cuenta el caudal que se tiene desde la toma de agua, multiplicándolo por el tiempo requerido para regar la parcela, con ello se obtiene un caudal diario lo cual se describe en la **ecuación (22)**.

$$Q = Q_{bt} * t \quad (12)$$

Donde:

Q_{bt} = caudal de la bocatoma

4.2.2.13. Intervalo entre riegos (I)

Dependiendo del tipo de suelo se decide si se debe de regar con mayor o menor frecuencia, su valor se determina en base a la **ecuación (23)**.

$$I = \frac{L_t}{D_t * A} \quad (23)$$

Donde:

I = Intervalo o frecuencia de riegos

L_t = Lámina bruta o total

D_t = Demanda total

A = Área mojada de la planta

4.2.2.14. Dimensionamiento de la tubería

Para determinar las pérdidas en las tuberías se usará la metodología de Darcy-Weisbach. La pérdida de carga máxima admisible (h_{max}) en la subunidad o la superficie de riego que se puede regar en un día viene dada por la **ecuación (24)**.

$$h_{max} = \frac{0.1 * p}{x} \quad (24)$$

Dónde:

h_{max} = Pérdida de carga máxima admisible, expresada en m.c.a.

p = Presión media de los goteros, expresada en m.c.a.

x = Exponente de descarga de los goteros

Los datos de “ p ” y de “ x ” nos da el fabricante en la ficha técnica del gotero que se va a utilizar. Esta pérdida de carga máxima admisible se reparte por igual entre los laterales y la tubería que los alimenta.

Para calcular el diámetro de las partes laterales o de la tubería de alimentación o suministro, elija cualquier diámetro, calcule la pérdida de carga y compruebe si esa pérdida de carga es inferior a la máxima admisible, utilizando la **ecuación (25)**:

$$h = 1.2 * j * F * L \quad (25)$$

Dónde:

h = Pérdida de carga del lateral (m.c.a)

J = Pérdida de carga unitaria (m.c.a.) (Anexo 1)

F = El factor F depende del número de goteros y de la distancia existente entre el primer gotero y el origen. La distancia puede ser igual ($x = s$) o la mitad ($x = S/2$) que la separación entre goteros (Anexo 1)

L = Longitud del lateral, expresada en metros

Si el valor de la selección del ramal es menor que a la pérdida de carga máxima admisible; esa diferencia entre la pérdida encontrada y el valor máximo le sumamos al valor máximo admisible para encontrar la tubería de alimentación (secundaria o terciaria) y procedemos de la misma manera para determinar la tubería indicada.

Cabe mencionar que debemos tener en cuenta que la presión en el origen de la lateral está relacionada con la topografía del terreno y para saber su valor nos valdremos de las **ecuaciones (26), (27) y (28)**:

$$\text{Si la lateral es horizontal: } P_o = P_m + 0.73 h \quad (26)$$

$$\text{Si la lateral es ascendente (con signo +): } P_o = P_m + 0.73h + (Hg/2) \quad (27)$$

$$\text{Si la lateral es descendente (con signo -): } P_o = P_m + 0.73h - (Hg/2) \quad (28)$$

Dónde:

P_o = Presión en el origen de la lateral

P_m = Presión de trabajo del gotero

h = Pérdida de carga en el lateral

H_g = Desnivel geométrico entre los extremos del lateral

4.2.2.15. Cálculo de la Capacidad de la Bomba

Para elegir una bomba es necesario conocer:

- El caudal requerido
- La altura manométrica o presión de servicio

Pero es importante considerar la baja de rendimiento producida por el desgaste de la bomba por lo que se aconseja aumentar un 10% al valor de estas dos características. Se considera que la presión de servicio total, en las condiciones más críticas o desfavorables, es decir tomando en cuenta las pérdidas de presión en las tuberías, la pérdida por diferencia de altura, la presión que se emplea para el funcionamiento de los goteros y también se toma en cuenta las pérdidas de carga adicionales propias de los accesorios que encontremos en el cabezal, los cuales están descritos con sus respectivas pérdidas en m.c.a. en la **tabla 4**.

Las pérdidas de carga totales se obtienen de la sumatoria de pérdidas de carga de todo el sistema, tal como lo describe la **ecuación (29)**.

$$h_{Ltotal} = \sum h_L \quad (29)$$

Tabla 4. Pérdidas de carga

Pérdidas de carga en m.c.a.:	
Hidro ciclón	2-6
Filtro de grava	2-4
Filtro de malla	1-3
Tanque de fertilización	1-4
Inyector hidráulico	4-5
Regulador de presión	4-6
Válvula	1-3

Fuente: (CONGOPE, 2016)

Con estos dos nuevos valores obtenidos se recurre al fabricante para obtener las características de las bombas; estos generalmente presentan las particularidades de sus bombas en forma de curvas, en las que se muestra datos del caudal, altura manométrica o presión, el porcentaje de rendimiento y la potencia en función de las revoluciones por minuto

4.2.2.16. Cálculo de la potencia del motor

Al realizar el cálculo de la potencia del motor por el método del catálogo, se requiere la potencia del motor ($P_{ot_{motor}}$), el factor de servicio (FS) y el rendimiento por transmisión (η_t), tal como se muestra en la **ecuación (30)**.

$$P_{ot_{motor}} = \frac{P_{eje-bomba}}{\eta_T} * FS \quad (30)$$

Para determinar el factor de servicio recurrimos a la **figura 9**.

Tipo de máquina conductora Tipo de máquina conducida	Tabla N° 3 - Coeficiente de corrección de la potencia					
	Servicio intermedio hasta 2 horas diarios	Servicio normal de 2 a 10 horas diarios	Servicio continuo más de 10 horas diarios	Servicio intermedio hasta 2 horas diarios	Servicio normal de 2 a 10 horas diarios	Servicio continuo más de 10 horas diarios
Agitador para líquidos y semilíquidos, ventiladores y aspiradores, compresores y bombas centrífugas, Sopladores hasta 10 hp, Transportadores livianos.	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Cintas transportadoras para arena, granos, etc. Mezcladores de panadería, Sopladores de más de 10 HP, generadores, Línea a ejes (ejes principales), máquinas de lavaderos, máquinas herramienta, puntadoras, prensa, guillotinas, bombas rotativas positivas. Máquinas de imprenta, zarandas vibradoras y giratorias.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Máquina de ladrillos y cerámicas, elevadores a cangilones, Generadores y excéntricas, Compresores a pistón, transportadores, molinos a martillos, molinos baladores para papel, bombas a pistón, sopladores positivos, Pulverizadores, desmenuzadoras, sierras y máquinas para elaboración de madera, máquinas textiles.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras (giratorias, mandibulas, dejas), Molinos (bolas, laminadores, barras), Calandras para goma, bambuy-estricoras.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

Figura 9. Coeficiente de corrección de potencia

Fuente: (DUNLOP, 2018)

Para calcular la relación de transmisión de velocidad (i), véase **ecuación (31)**.

$$i = \frac{\eta_{motor}}{\eta_{bomba}} \quad (31)$$

Donde:

η_{motor} : Velocidad del eje del motor, rpm

η_{bomba} : Velocidad del eje de la bomba, rpm

Para determinar el perfil de la correara adecuado, buscar en el catálogo en función de la **ecuación (32)**.

$$Perfil = (\eta_{m\acute{a}s\acute{r}apido}, Potencia) \quad (32)$$

4.2.3. Dimensionamiento de un reservorio

Salinas Acosta (2010) señala que el uso de reservorios para el almacenamiento del agua de riego, permite que el agricultor disponga de agua tanto en el verano o durante las sequías o veranillos que se presentan en el invierno, además plantea que para la construcción de un reservorio se recurre a la estructura del reservorio y el diseño hidráulico.

4.2.3.1. Cálculo del volumen del reservorio

Cando Pilatasig (2022) plantea que el volumen de agua es igual al caudal utilizado para regar la superficie determinada por el tiempo de llenado del reservorio. Descrito por la **ecuación (33)**.

$$V = Q_{bT} * t_{llenado} \quad (23)$$

4.2.3.2. Cálculo del volumen del reservorio.

Cando Pilatasig (2022) propone que el volumen del reservorio dependiendo de la topografía del terreno este puede ser escavado o no, para su cálculo se basa en el esquema de una pirámide invertida tronca, que viene dado por la **ecuación (34)**.

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2}) \quad (34)$$

Hossne, et al. (2011) plantean que para un suelo franco arenoso el ángulo de fricción es de 31.77° . Para el cálculo de la pendiente del talud se utilizará un ángulo de 30° , tal como se muestra en la **figura 10**.

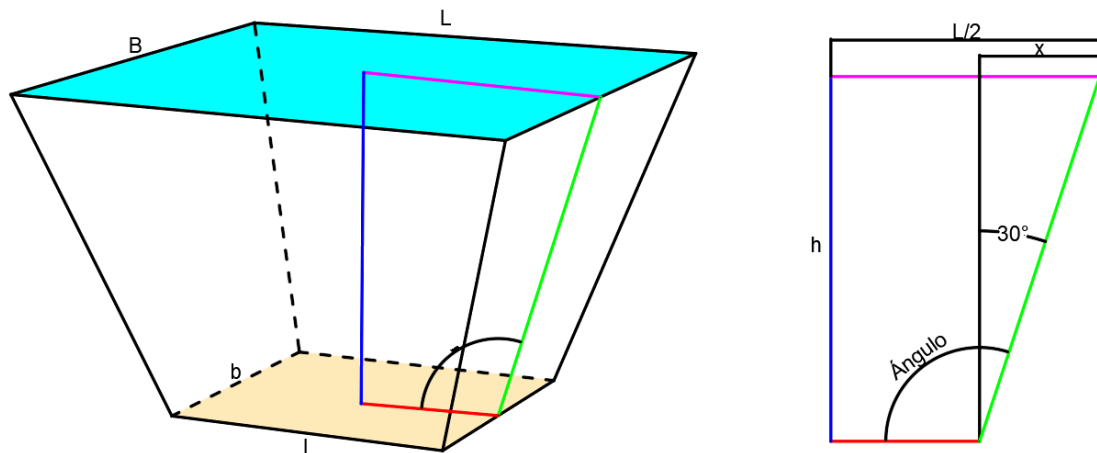


Figura 10. Esquema de ángulo de una pirámide invertida tronca

4.2.4. Dimensionamiento del sistema eléctrico.

4.2.4.1. Cálculo de potencia requerida

Según Barroso et al. (2021) para lograr determinar la demanda se busca conocer todas las cargas eléctricas que estarán conectadas al sistema, determinando la potencia nominal de cada carga.

En primer lugar, se debe conocer la potencia nominal de cada aparato eléctrico y la cantidad de elementos que estarán instalados por circuito, en base a estos parámetros y aplicando la **ecuación (35)** se procederá a determinar la carga instalada (C_{ins}).

$$C_{inst} = Cantidad * P_{nominal} \quad (35)$$

4.3. Capítulo III: Automatización del sistema de riego

4.3.1. Automatización de sistemas de riego

La automatización en los sistemas de riego consiste en una forma automatizada para suministrar el agua, para ello existen diversos niveles de automatización haciendo referencia a la cantidad de funciones que son asumidas por el sistema. Para elegir el nivel de automatización se debe de tomar en cuenta criterios técnicos y económicos según las características de las explotaciones y las preferencias de los agricultores. El nivel mínimo de automatización sería la apertura y cierre de válvulas hidráulicas para distribuir el agua o para realizar las posturas de riego, mientras que el máximo nivel sería el control total de la instalación, de la humedad del suelo, del estado hídrico de la planta, el clima entre otros aspectos. Esto también incluyen los sistemas de adquisición de datos para una adecuada gestión del riego y de la fertilización. (Ruiz, et al. 2010)

5. Metodología

5.1. Área de estudio

Se utilizan los datos de la finca “Los Limos” ubicada en la parroquia El Tambo del cantón Catamayo, la cual cuenta como cultivo principal el limón. La ubicación exacta del área de estudio con ayuda de Google Earth se muestra en la **figura 11**, con sus respectivas coordenadas geográficas:

LATITUD: 4° 5'59.89" S

LONGITUD: 79°18'28.67" O

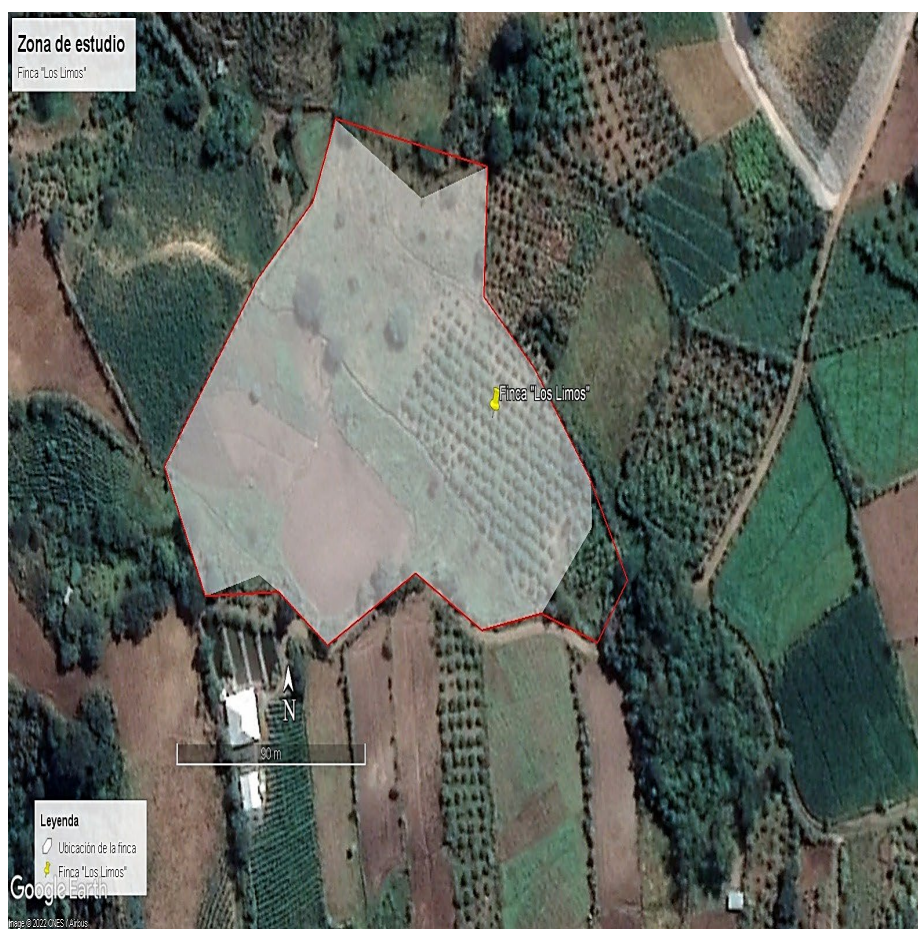


Figura 11. Zona de estudio, ubicada en la finca “Los Limos” en la parroquia El Tambo del cantón Catamayo

5.2. Materiales y equipos

5.2.1. Materiales de oficina

Libros, internet, AutoCAD 2020, Excel 2019, Word 2019, Google Earth, InTouch, TIA Portal

5.2.2. Equipos

Computadora, calculadora, cámara fotográfica

5.3. Procedimiento

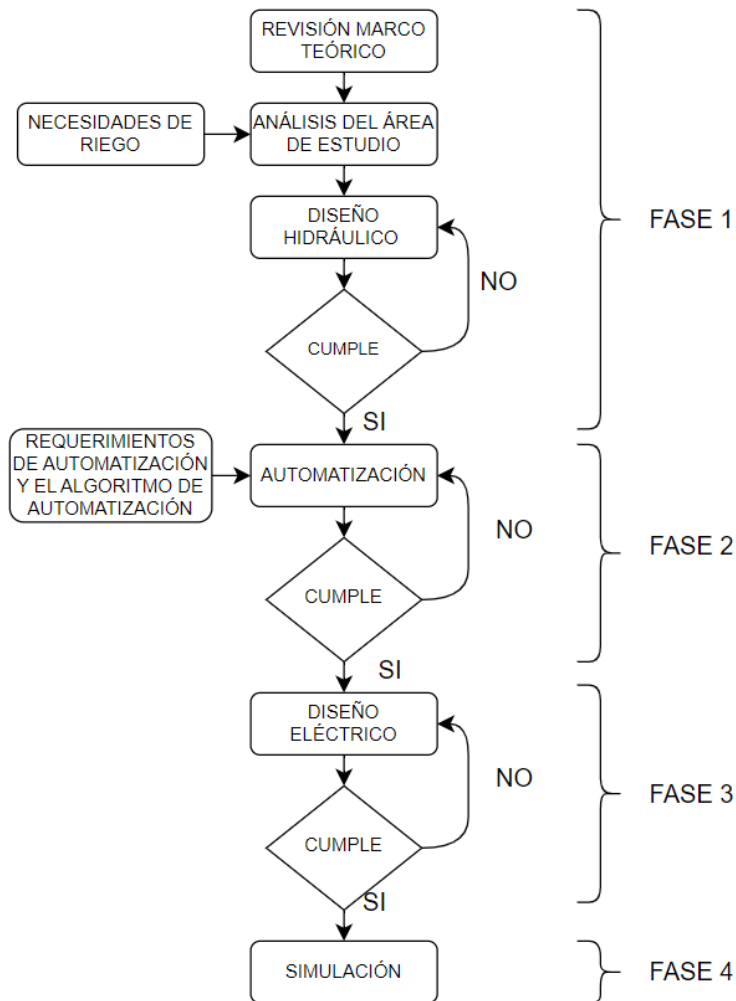


Figura 12. Procedimiento metodológico.

En la **figura 12** se muestra la metodología para el presente trabajo el cual está compuesto por 4 fases, la primera fase está compuesta por la revisión literaria, análisis, recolección de datos del área de estudio y el diseño hidráulico una vez se cumple con estos requerimientos, se continua con la segunda fase, la misma que consiste en la automatización del sistema estableciendo los requerimientos de la automatización, así como el algoritmo. En la tercera fase se trabaja en lograr el diseño eléctrico que tiene cumplir la demanda de energía del sistema. Finalmente, la cuarta fase consiste en realizar la simulación del funcionamiento del sistema.

5.4. Procesamiento y análisis de datos

5.4.1. Objetivo 1

A partir de la fase 1, la cual se muestra en el diagrama de flujo de la **figura 13**, se obtendrá

las necesidades de agua, el cálculo de la bomba, el cálculo de las tuberías tomando en cuenta los caudales que circulan por cada ramal, número de goteros que se debe calcular para cada planta, tiempo de riego, entre otros datos; para realizar los cálculos se recurre al capítulo 2 del marco teórico.

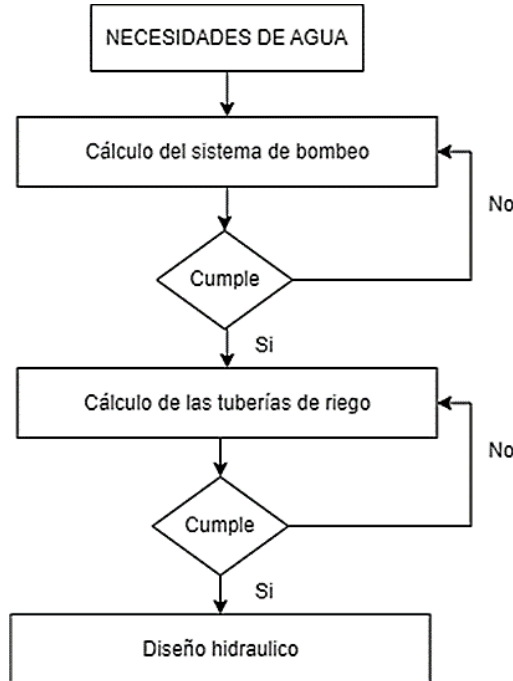


Figura 13. Procedimiento para el desarrollo de la fase 1

5.4.2. Objetivo 2

La **figura 14** detalla el procedimiento a seguir en la fase 2. En esta etapa se obtendrá los requerimientos de automatización es decir identificar todas las variables que se encuentran presentes en el sistema con el objetivo de suministrar la cantidad correcta de agua y nutrientes, así como la frecuencia de riego. Una vez se identifican las variables, se debe de señalar los componentes necesarios para el control como lo son las electroválvulas, bombas, inyectoras, sensores, entre otros. Si cumple con lo estimado se avanza a la siguiente fase.

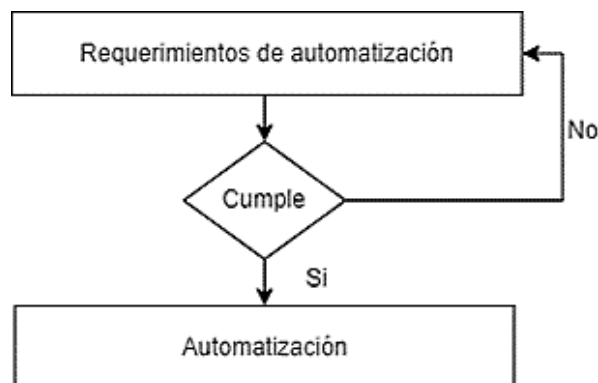


Figura 14. Procedimiento para el desarrollo de la fase 2

Para el desarrollo de la fase 3, en esta fase se determinará la demanda de energía que requerirá el sistema de fertirriego a goteo para su funcionamiento, tomando en cuenta todas las cargas que estarán presente en el sistema.

5.4.3. Objetivo 3

Para el desarrollo de la fase 4, se rige al procedimiento presentado en la **figura 15**, en esta fase se trabaja para la obtención de la simulación del sistema esto se podrá hacer una vez se haya cumplido con el diseño hidráulico, diseño eléctrico y la automatización desarrollada anteriormente, caso contrario se tiene que rediseñar para poder continuar. Con la simulación se podrá ver de manera virtual el funcionamiento del sistema tomando en cuenta cada una de las variables que la finca presenta.

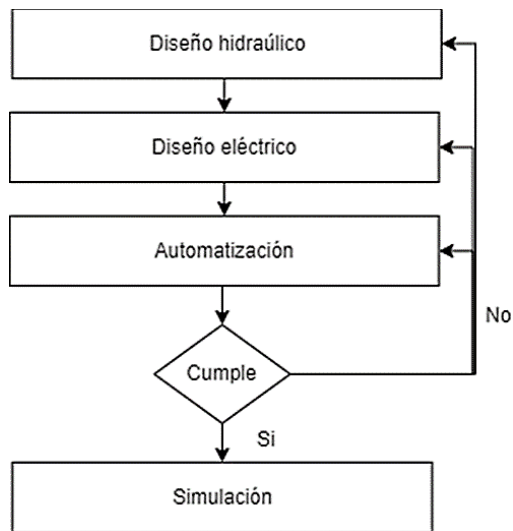


Figura 15. Procedimiento para el desarrollo de la fase 4

6. Resultados

6.1. Diseño hidráulico

Para diseñar el sistema hidráulico, se recurre al dimensionamiento de este en base a las necesidades hídricas de la finca “Los Limos”.

6.1.1. Necesidades netas de riego

En este proyecto se considera una temperatura media mensual, según PVsyst en El Tambo es de 18.0 °C datos descritos en la **figura 16**, con este dato se obtiene el índice calórico mensual.

Parámetros del sitio geográfico para El Tambo_MN80.SIT

Coordenadas geográficas Meteo mensual Mapa interactivo

Sitio: **El Tambo (Ecuador)**

Fuente de datos: **Meteonorm 8.0 (2010-2014), Sat=100%**

	Irradiación horizontal global kWh/m ² /día	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² /día	Temperatura °C	Velocidad del viento m/s	Turbidez Linke [-]	Humedad relativa %
Enero	6.25	2.29	20.1	3.59	3.125	66.6
Febrero	5.71	2.41	20.6	3.19	3.155	68.1
Marzo	6.14	2.39	20.8	2.99	3.148	68.4
Abril	6.07	2.13	20.1	3.40	3.076	68.7
Mayo	5.96	1.80	18.9	3.89	2.995	70.2
Junio	5.71	1.72	17.1	4.09	2.904	73.5
Julio	5.78	1.75	16.2	4.10	3.007	73.7
Agosto	5.85	1.59	15.6	4.10	3.438	73.8
Septiembre	6.14	2.17	15.6	4.09	3.841	73.7
Octubre	5.42	2.41	16.0	4.11	3.431	72.9
Noviembre	5.64	2.18	16.6	4.10	3.396	71.4
Diciembre	5.93	2.23	18.5	4.19	3.367	67.6
Año	5.89	2.09	18.0	3.8	3.240	70.7

Figura 16. Temperatura media mensual, de acuerdo a PVsyst.

$$i = \left(\frac{18.0}{5}\right)^{1,514}$$

$$i = 6.954$$

Para encontrar el índice calórico anual se multiplica el índice calórico mensual por los meses del año.

$$I = 6.954 * 12$$

$$I = 83.45$$

Para encontrar la constante **a** se toma el índice calórico anual.

$$a = 0.000000675 * 83.449^3 - 0.0000771 * 83.449 + 0.017925 * 83.449 + 0.49239$$

$$a = 1.84$$

Con los datos obtenidos anteriormente se obtiene la evapotranspiración del suelo y de la planta, cuyo valor será corregido posteriormente.

$$E_T = 1.6 * \left(\frac{10 * 18}{83.449} \right) * 1.844$$
$$E_T = 6.36 \frac{mm}{día}$$

El coeficiente corrector por localización K_1 , se encuentra relacionada con la fracción del área sombreada (FAS), sabiendo que el radio del limón es de 1.5 metros y el marco de plantación es de 5 por 5 metros.

$$FAS = \frac{\pi * 1.5^2}{5 * 5}$$

$$FAS = 0.28$$

Para definir el coeficiente corrector por localización:

Fórmula de Aljibury

$$K_1 = 1.34 * 0.283$$

$$K_1 = 0.38$$

Fórmula de Decroix

$$K_1 = 0.1 + 0.283$$

$$K_1 = 0.38$$

Fórmula de Hoare

$$K_1 = 0.283 + 0.50(1 - 0.283)$$

$$K_1 = 0.64$$

Fórmula de Keller

$$K_1 = 0.283 + 0.15(1 - 0.283)$$

$$K_1 = 0.39$$

De los resultados dados de K_1 anteriormente, se suprimen los valores exteriores y los valores intermedios se obtiene la media.

$$K_1 = 0.51$$

Se define el coeficiente corrector por variación climática, de acuerdo con el criterio del diseñador:

$$K_2 = 1.2$$

Para definir el coeficiente por advección (K_3), sabiendo que la finca tiene 1.44 hectáreas con ayuda de la **figura 17** se busca la intersección con la curva para árboles caducifolios, tal como se muestra a continuación.

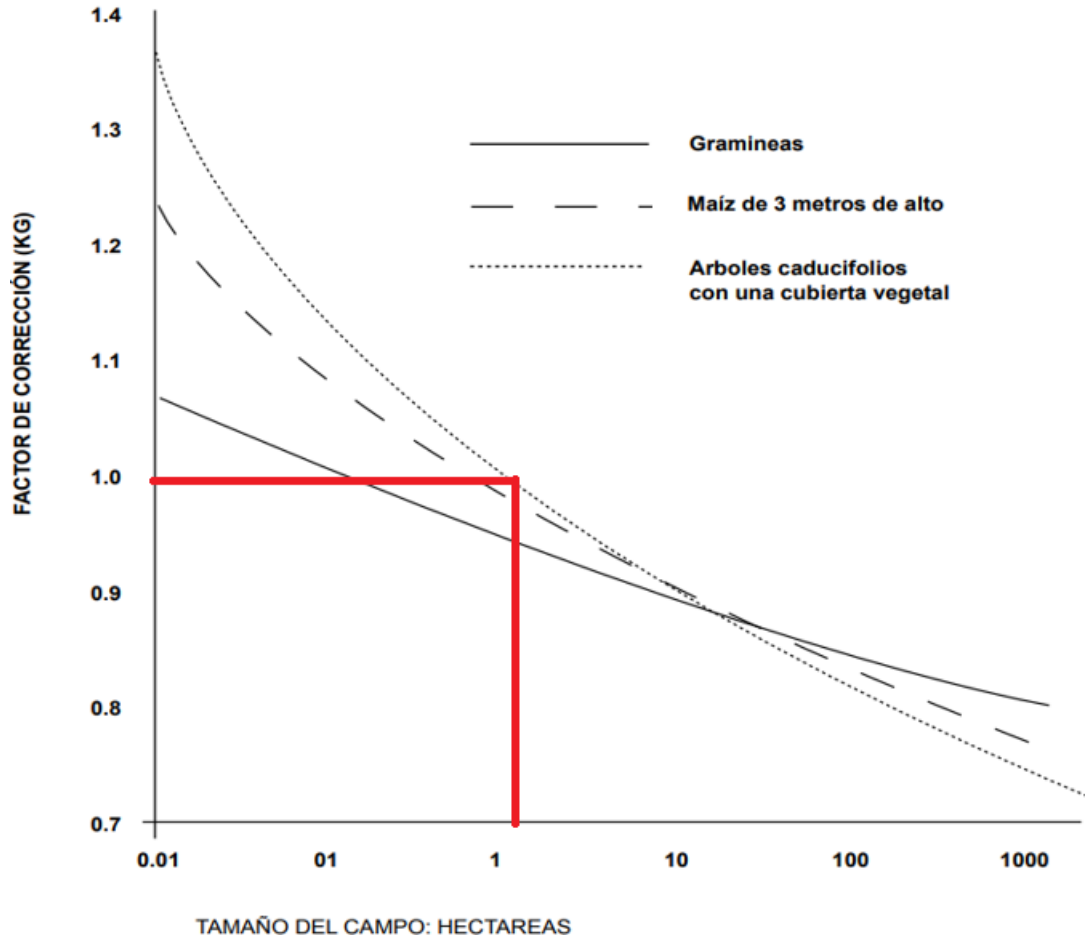


Figura 17. Variación del factor de advección, para la finca "Los Limos"

Fuente: (CONGOPE, 2016)

$$K_3 = 1$$

Una vez se haya determinado los factores de corrección, se logra estimar la Demanda Neta:

$$D_n = E_T * K_1 * K_2 * k_3$$

$$D_n = 6.954 * 0.512 * 1.2 * 1$$

$$D_n = 4.27 \frac{\text{mm}}{\text{día}}$$

6.1.2. Necesidades totales del riego

Se considera que el coeficiente de conductividad eléctrica del agua es de 4.8 dS/m y el valor de conductividad eléctrica del estrato de saturación, con una disminución de su rendimiento al máximo al 100% para el limonero igual al 8 dS/m.

Adquiriendo el valor de requerimiento de lavado:

$$R_L = \frac{4.8}{2 * 8}$$

$$R_L = 0.3$$

Por consecuencia, la relación de percolación:

$$R_p = 1 - 0.3$$

$$R_p = 0.7$$

Se determina el coeficiente de uniformidad para goteros espaciados más de 1 metro con más de tres goteros por planta igual a 0.90. Con todos los datos obtenidos anteriormente se calcula la demanda total:

$$D_t = \frac{4.27}{0.7 * 0.9}$$

$$D_t = 6.78 \frac{mm}{día}$$

Los 6.78 mm por día es el valor que representa la demanda total de agua que requiere la planta de limonero, para que su producción sea óptima.

6.1.3. Porcentaje del área a mojarse

Al tratarse de una planta de limonero, se determina como un cultivo de marco amplio, es decir con un porcentaje del 30%.

$$A = 0.35$$

6.1.4. Superficie mojada de la planta

$$S_{mp} = 5 * 5 * 0.35$$

$$S_{mp} = 8.75 m^2$$

6.1.5. Superficie mojada del gotero

En la finca “Los Limos” la textura del suelo es media, el caudal escogido para el gotero es de 8 l/h, ya que se trata de un cultivo de limón y con esto se calcula el diámetro mojado por el gotero:

$$d = 0.7 + 0.11 * 8$$

$$d = 1.58 m$$

Una vez se obtiene el diámetro mojado por el gotero se procede a calcular la superficie mojada:

$$S_{mg} = \frac{\pi * 1.58^2}{4}$$

$$S_{mg} = 1.96 m^2$$

6.1.6. Número de goteros por planta(n)

$$n = \frac{8.75}{1.96}$$
$$n = 4.46 \approx 5$$

6.1.7. Tiempo de Duración del Riego(t)

$$t = \frac{6.78 * 8.75}{8 * 5}$$
$$t = 1.48 \text{ horas}$$

6.1.7.1. Tiempo total de riego

Para obtener el tiempo total que se emplea para completar el riego, se considera el caudal de agua que se obtiene de la toma de agua igual a 1.5 lt/seg, y también el marco de plantación que en este caso es de 5 metros por 5 metros, con estos datos se obtiene:

$$1.5 \frac{lt}{seg} * 3600seg = 5400 \frac{lt}{hora}$$

Si el gotero a utilizar es de 8 lt/hora, entonces:

$$\frac{5400 \frac{lt}{hora}}{8 \frac{lt}{hora}} = 675 \text{ goteros}$$

Se necesitan 4 goteros por planta:

$$\frac{675}{5} = 135 \text{ plantas}$$

El área bruta regada:

$$135 * 25m^2 = 3375 m^2 = 0.34 \text{ ha}$$

Al realizar una relación entre el tiempo de riego obtenido anteriormente con el área del diseño, se obtiene un tiempo total de 1.74 horas para regar 0.4218 hectáreas, por lo tanto, para regar 1.44 hectáreas dividida en dos parcelas se requiere:

Parcela 1: 0.66 has

$$\frac{1.48 \text{ horas} * 0.66 \text{ has}}{0.34 \text{ has}} = 2.90 \text{ horas}$$

Parcela 2: 0.78 has

$$\frac{1.48 \text{ horas} * 0.78 \text{ has}}{0.34 \text{ has}} = 3.43 \text{ horas}$$

6.1.8. Lámina total de riego

$$L_t = 8 \frac{lt}{h} * 5 * 1.48 \text{ horas}$$
$$L_t = 59.35 \frac{mm}{día}$$

6.1.9. Caudales de riego

El caudal que se ha seleccionado es de:

$$Q = 5400 \frac{lt}{hora} = 5.4 \frac{m^3}{hora}$$

Caudal de riego para la parcela 1:

$$5.4 \frac{m^3}{horas} * 2.9 horas = 15.67 \frac{m^3}{día}$$

Caudal de riego para la parcela 2:

$$5.4 \frac{m^3}{horas} * 3.43 horas = 18.52 \frac{m^3}{día}$$

Caudal total:

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 = 15.67 + 18.52 \frac{m^3}{día}$$

6.1.10. Intervalo de riegos

$$I = \frac{59.35 \frac{mm}{día}}{6.78 \frac{mm}{día} * 8.75 m^2}$$

$$I = 1 \text{ día}$$

6.1.11. Caudales de las tuberías

Para calcular el caudal de las tuberías, se considera que el gotero tiene un caudal de 8 lt/h, con este dato se debe calcular la separación entre goteros tal como se muestra en la **tabla 5**, el número de mangueras necesarias para cada parcela, así como el caudal que circula por estas, cuyo cálculo se muestra en la **tabla 6**.

Tabla 5. Cálculo de la distancia entre goteros

Distancia entre goteros	
distancia ramal	42,56 m
No. plantas en el ramal	9
No. goteros por planta	4
Distancia entre goteros	1,18 m
Distancia entre goteros asumido	1,25 m

Tabla 6. Cálculo de los caudales de las tuberías

Parcela	Caudal del gotero (m ³ /h)	Número plantas	Número goteros	Número mangueras	Caudal de la manguera (m ³ /h)	Caudal Total (m ³ /h)	Caudal total por parcela (m ³ /h)
Parcela 1							9.84
1,1	0,008	9	45	18	0,36	6,48	
2,1	0,008	8	40	7	0,32	2,24	
3,1	0,008	7	35	4	0,28	1,12	
Parcela 2							11.64
4,1	0,008	17	85	1	0,68	0,68	
5,1	0,008	16	80	2	0,64	1,28	

Parcela	Caudal del gotero (m ³ /h)	Número plantas	Número goteros	Número mangueras	Caudal de la manguera (m ³ /h)	Caudal Total (m ³ /h)	Caudal total por parcela (m ³ /h)
6,1	0,008	15	75	2	0,60	1,20	
7,1	0,008	14	70	6	0,56	3,36	
8,1	0,008	13	65	4	0,52	2,08	
9,1	0,008	12	60	1	0,48	0,48	
10,1	0,008	11	55	1	0,44	0,44	
11,1	0,008	10	50	1	0,40	0,40	
12,1	0,008	8	40	1	0,32	0,32	
13,1	0,008	5	25	2	0,20	0,40	
14,1	0,008	4	20	4	0,16	0,64	
15,1	0,008	3	15	2	0,12	0,24	

6.1.12. Dimensionamiento de la tubería

A continuación, se muestra el esquema de instalación propuesta de las tuberías tanto primaria, secundaria, terciaria y laterales, véase **figura 18**. Para llevar a cabo el dimensionamiento de las tuberías a utilizar se empieza con los laterales para ello se selecciona el gotero que se va a utilizar en este caso se utiliza un gotero autocompensantes de 8 L/h véase **figura 19**, cuyas características se muestran la **tabla 7**, gotero recomendado para árboles frutales en este caso se trata de limoneros.

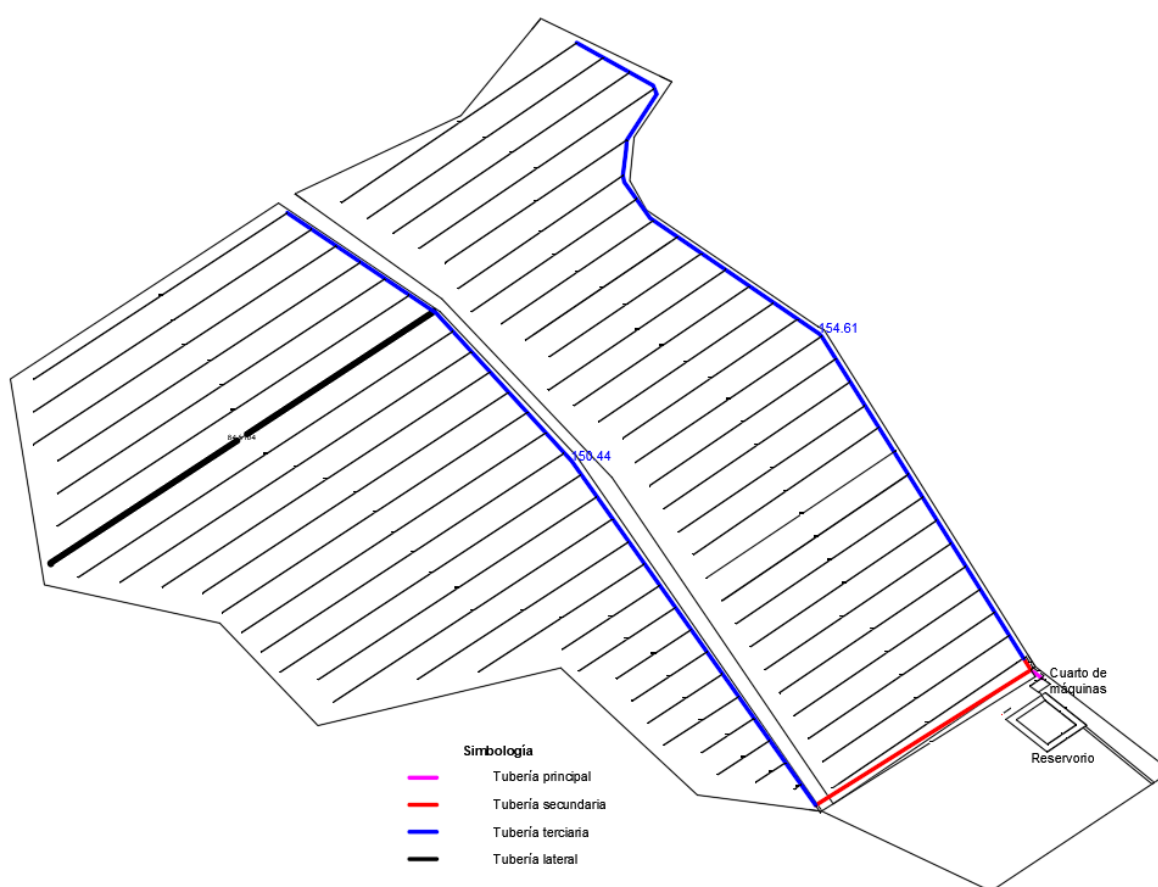


Figura 18. Esquema de instalación de tuberías en la finca “Los Limos”



Figura 19. Goteros autocompensantes

Tabla 7. Ficha técnica del gotero

Características	Valor
Marca	NETAFIM
Caudal	8 L/h
Presión	0.5-4 Bar
	5-40 m.c.a.
x	0.10-0.30
Riego de árboles	

Cálculo de las mangueras a utilizar

$$h = \frac{0.1 * 22.5 \text{ m.c.a.}}{0.2} = 11.25 \text{ m.c.a.}$$

Con ayuda de la **ecuación 23** se procede a calcular la pérdida máxima admisible que es de 20 m.c.a., la misma que se reparte entre las dos tuberías (terciaria y laterales), la nueva pérdida máxima admisible es de 5.625 m.c.a., es decir que con esta pérdida se comienza el cálculo de los laterales.

- Pérdida de carga en la lateral

Longitud de la lateral = 84.51 m

Sabiendo que el lateral más largo es de 84.51 metros y existen 17 plantas y por cada planta hay 5 goteros.

Caudal en cada lateral = 680 l/h = 0.19 l/s; con este valor se recurre al Anexo 1 y se selecciona el diámetro de la tubería, para comparar con la pérdida máxima permisible la cual debe de ser menor.

Si se elige una tubería de 20(16) mm según el anexo 1; $J=102.17/1000=0.10$

Si son 85 salidas a lo largo del lateral según el anexo 1; $F=0.357$

$$h = 1.2 * J * F * L = 1.2 * 0.10 * 0.357 * 84.51 = 3.70 \text{ m. c. a.}$$

- Pérdida de carga en la tubería terciaria

Se calcula la pérdida máxima

$$h_{max} = 11.25 - 3.70 = 16.30 \text{ m. c. a.}$$

Longitud de la terciaria = 150.44 m

Sabiendo que la tubería terciaria o de distribución más largo es de 150.44 metros y existen 29 salidas de los laterales.

Caudal en distribuir 3.21 l/s; con este valor se recurre al Anexo 1 y se selecciona el diámetro de la tubería, para comparar con la pérdida máximas la cual debe de ser menor.

Si se elige una tubería de 63(55.4) mm según el anexo 1; $J=33.75/1000 = 0.03$

Si son 29 salidas a lo largo de la terciaria según el anexo 1; $F=0.357$

$$h = 1.2 * J * F * L = 1.2 * 0.03 * 0.357 * 150.44 = 2.18 \text{ m. c. a.}$$

También se calcula la presión en el origen de la lateral, sabiendo que la lateral está en horizontal del terreno se usa la **ecuación 25**.

$$P_o = P_m + 0.73 h = 40 + 0.73 * 3.70 = 25.2 \text{ m. c. a.}$$

6.1.13. Cálculo de la capacidad de la bomba

Para elegir una bomba es necesario conocer:

- El caudal requerido
- La altura manométrica o presión de servicio

Caudal que debemos bombear = 9.84 m³/h para la parcela 1 y 11.64 m³/h para la parcela 2 por cada lado de la tubería principal, es decir 21.48 m³/h de bombeo, más el 10% recomendado en la metodología = 21.48+ 2.15 = 23.63 m³/h.

También se calcula la presión de servicio total en las condiciones de pérdida más críticas, cuyos valores se muestran en la **tabla 8**.

Tabla 8. Presión de servicio total para el cálculo de la bomba

Presión de servicio total	
Pérdidas de carga en las tuberías	
Línea lateral	3,70 m.c.a.
Línea principal	2.18 m.c.a.
10% de la línea principal por succión inicial	0,22 m.c.a.
Hidrociclón	4 m.c.a.
Filtro de grava	3 m.c.a.
Filtro de malla	2 m.c.a.

Presión de servicio total	
Tanque de fertilización	2,5 m.c.a.
Inyector hidráulico	4,5 m.c.a.
Regulador de presión	5 m.c.a.
Válvula tipo compuerta	2 m.c.a.
Desniveles geométricos	
Succión (Profundidad del pozo)	2 m.c.a.
Presión de servicio	
Escogida	22,5 m.c.a.
Subtotal	53.59 m.c.a.
10% desgaste de la bomba	5,36 m.c.a.
Total	58.95 m.c.a.

Entonces la presión requerida para que la bomba haga funcionar el sistema diseñado es de 58.95 m.c.a. ó 5.8 atmósferas. Con estos dos nuevos valores vamos al fabricante a escoger la bomba.

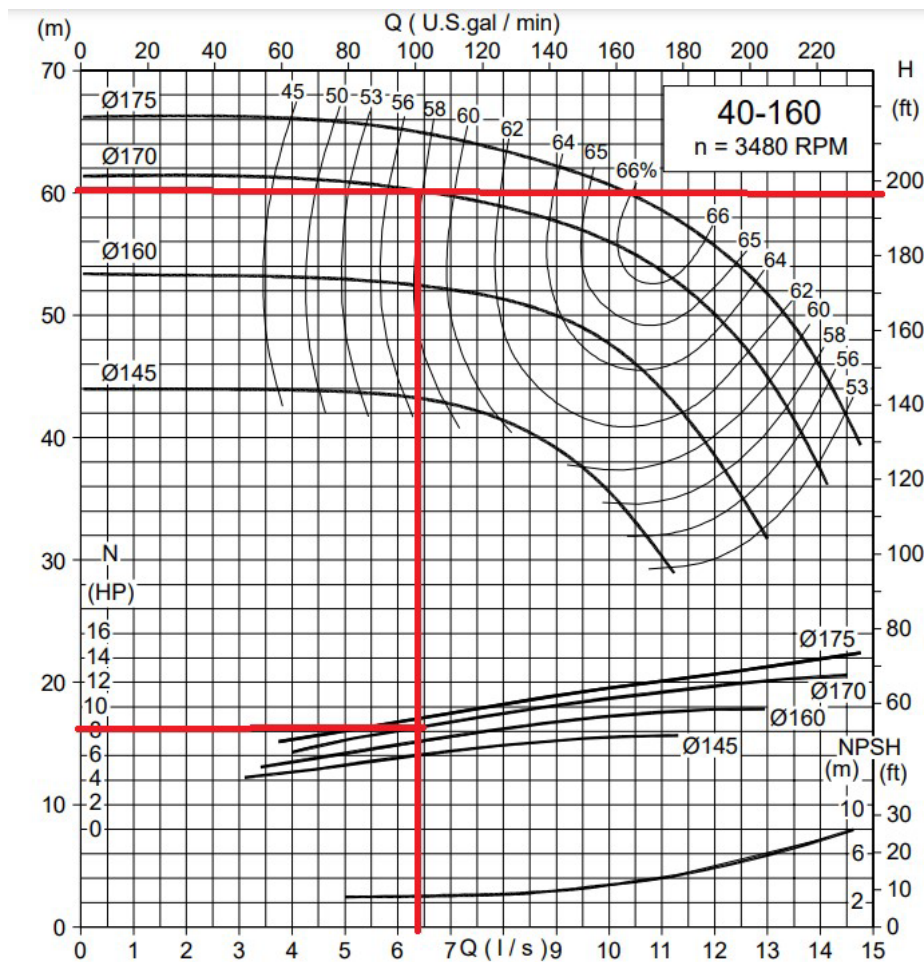


Figura 20. Cálculo de la bomba

Fuente: (HidroStal, 2024)

La bomba escogida del catálogo de HidroStal es la bomba centrífuga 40/160, cuya imagen de referencia se muestra en la **figura 21** cuyas curvas de operación se pueden observar

en la **figura 20**, que para un caudal de $23.63 \text{ m}^3/\text{h}$ y 58.95 m.c.a. de altura manométrica tendrá un rendimiento del 58%, con un rodete de 170 mm, necesita acoplarse a un motor de 8 H.P.



Figura 21. Figura de referencia de la bomba centrífuga HidroStal 40/160

Fuente: (HidroStal, 2024)

6.1.14. Cálculo de la potencia del motor

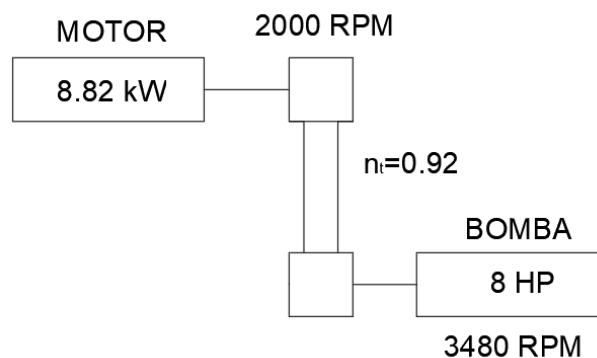


Figura 22. Diagrama del sistema de transmisión de potencia.

Para calcular la potencia del motor se recurre al método por catálogo en este caso el de DUNLOP, para ello se toman los datos expuestos en la **figura 22**, sabiendo que la bomba centrífuga a diésel funciona por 6.33 horas se determina el factor de servicio en 1.1 tal como se muestra en la **figura 23**.

Tabla Nº 3 - Coeficiente de corrección de la potencia						
Tipo de máquina conductora Tipo de máquina conducida	Motores de corriente alterna, torque normal, a jaula de ardilla, sincrónicos, fase partida. Motores de corriente continua, bobinado en shunt. Máquinas de combustión interna, cilindros múltiples.			Motores de corriente alterna, alto torque, alto deslizamiento, bobinado en serie y anillado colector. Motores de corriente continua, bobinado en serie y bobinado compound. Máquina a combustión interna, monocilíndrica. Ejes en línea. Arranque directo y con embrague.		
	Servicio intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias	Servicio intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias
Agitador para líquidos y semilíquidos, ventiladores y aspiradores, compresores y bombas centrífugas. Sopladores hasta 10 HP. Transportadores livianos.	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Cintas transportadoras para arena, granos, etc. Mezcladores de panadería. Sopladores de má de 10 HP, generadores. Línea a ejes (ejes principales), máquinas de lavaderos, máquinas herramienta, punzadoras, prensa, guillotinas, bombas rotativas positivas. Máquinas de imprenta, zarandas vibradoras y giratorias.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Máquina de ladrillos y cerámicas, elevadores a cangilones. Generadores y excitatrices. Compresores a pistón, transportadores, molinos a martillos, molinos batidores para papel, bombas a pistón, sopladores positivos. Pulverizadores, desmenzadoras, sierras y máquinas para elaboración de madera, máquinas textiles.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras (giratorias, mandíbulas, bolas). Molinos (bolas, laminadores, barras). Calamandra para goma, bambury-extrusoras.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

Figura 23. Coeficiente de corrección de potencia

Fuente: (DUNLOP, 2018)



Figura 24. Imagen de referencia del motor CHANGFA S195 de 8.82 kW

Fuente: (CHANGFA, 2024)

Para calcular la potencia del motor se recurre a la **ecuación 30**, conociendo que el rendimiento por transmisión de correas es de 0.92, se calcula:

$$Pot_{motor} = \frac{P_{eje-bomba}}{\eta_T} * FS = \frac{8 \text{ HP}}{0.92} * 1.1 = 9.57 \text{ HP} = 7.13 \text{ KW}$$

Se selecciona el motor CHANGFA S195, el mismo que tiene una potencia de 8.82 kW a

2000 rpm cuya imagen de referencia se muestra en la **figura 24**. Tras ello se calcula la relación de transmisión de velocidad.

$$i = \frac{\eta_{bomba}}{\eta_{motor}} = \frac{3480 \text{ rpm}}{2000 \text{ rpm}} = 1.34 \text{ (multiplicación)}$$

Para escoger el perfil de la correa se lo hace en función del eje más rápido siendo de 3480 rpm y la potencia de 8.82 kW, con estos datos se recurre a la **figura 25** de la cual se obtiene un perfil A.

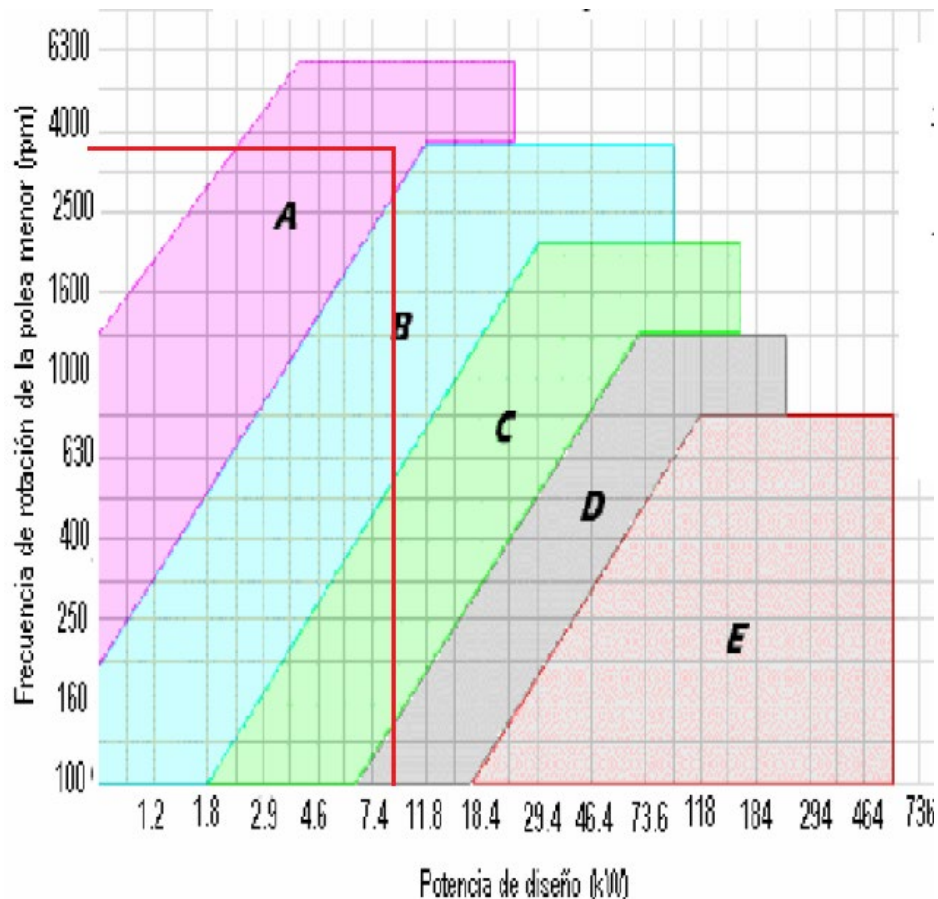


Figura 25. Gráfica para la selección del perfil de la correa

Fuente: (DUNLOP, 2018)

Para determinar el diámetro de las poleas se determina en base a la polea menor sobre la relación de transmisión de velocidad, tal como se muestra a continuación en la **tabla 9**, de esta tabla se escoge el diámetro de la polea menor de 4 pulgadas y para la polea mayor 7 pulgadas.

Tabla 9. Relación de los diámetros de la polea menor y la mayor.

Diámetro de la polea menor	Diámetro de la polea mayor
3"	= 3" / 0.57 = 5.26"
4"	= 4" / 0.57 = 7.02"
5"	= 5" / 0.57 = 8.77"
6"	= 6" / 0.57 = 10.53"
7"	= 7" / 0.57 = 12.28"
8"	= 8" / 0.57 = 14.04"

Para corroborar el funcionamiento de las poleas se usa la siguiente ecuación donde la velocidad del eje de la bomba tiene que ser mayor a 3480 rpm, en este caso es de 3500 rpm cumpliendo con lo recomendado anteriormente.

$$\eta_{bomba} = \frac{\eta_{motor} * \phi_{pM}}{\phi_{pm}} = \frac{2000 \text{ rpm} * 7''}{4''} = 3500 \text{ rpm}$$

Con ayuda del software RnbandEX, se corrobora lo antes calculado véase **figura 26**, además nos indica el uso de tres correas perfil A.

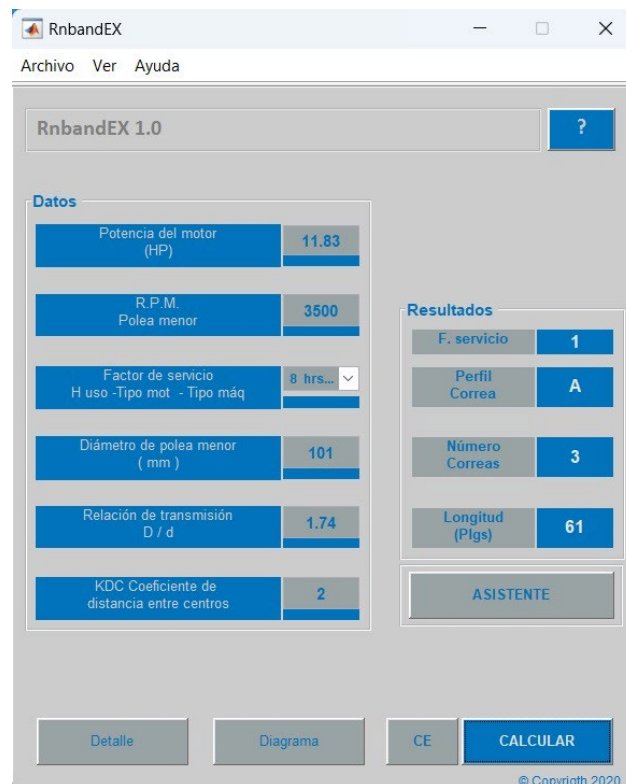


Figura 26. Cálculo del perfil de las correas.

Fuente: (RnbandEX, 2024)

Con ayuda de RnbandEX se determina la geometría y componentes de la transmisión como la distancia entre centros, longitud de la correa entre otros datos, que se muestran en la **figura 27**.

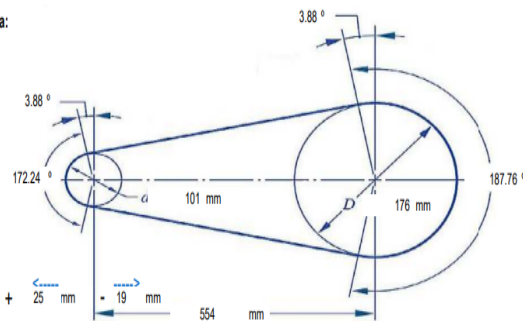
DISEÑO DE LA TRANSMISIÓN POR CORREAS TRAPECIALES CLÁSICAS.

Desarrollo de cálculos para determinar la geometría y componentes de la transmisión: perfil, longitud y cantidad de correas. Método de cálculo mediante catálogo (Dunlop-Goodyear-Optibelt-Oleostatic) y con aplicación de Redes Neuronales Artificiales (IA).

Datos:

Potencia del motor (hp)= 11.83 Factor de servicio(Ks)= 1 R. Transmisión= 1.74
 RPM Polea menor = 3500 D. Polea menor (mm)= 101 Kd Centros = 2

Diagrama:



Resultados:

P.diseño(Hd)(hp)=	11.83	w. P. menor (rad/s)=	366.52	D. P. mayor (mm) =	176	RPM Polea mayor =	2011.49
T. P menor (N.m)=	24.07	w. P. mayor (rad/s)=	637.74	D. Centros (mm) =	554		
T. P mayor (N.m)=	41.87	Alp. menor (grados)=	172.24	Vel. lineal (m/s) =	18.51		
Beta (grados) =	3.88	Alp. mayor (grados)=	187.76	Perfil de correa =	A		
Prest. base (hp) =	3.18	C_Alpha. [K1] =	0.98	Long. de correa (plg)=	61		
Prest. ad (hp) =	0.53	C_Lc.correa [K2] =	0.99	N. de correas =	3.3019 = 3		

NOTA. En caso de haber seleccionado el perfil Z y desea usar la marca Goodyear es factible usar el perfil A puesto que este fabricante no dispone de perfil Z.

Juan Gabriel Celi Gallegos 2020
 Tel: 09676960 / jcelia@unl.edu.ec

Ciudadela Universitaria "Pío Jaramillo Alvarado"
 Sector La Anella, Loja-Ecuador Tel: 072-545689 Ext. 1

Figura 27. Cálculos para determinar la geometría y componentes de la transmisión

Fuente: (RnbandEX, 2024)

6.1.15. Cálculo del reservorio

Para el cálculo del reservorio se toma en cuenta que el caudal de la fuente es de 1.5 l/s y un tiempo de llenado de 24 horas, aprovechando que el intervalo entre riegos es de 1 día, donde el volumen de diseño es de 130 m³. Cuyos cálculos se muestran en la **tabla 10**.

Tabla 10. Cálculo del volumen del reservorio

Cálculo del volumen del reservorio	
Volumen de diseño	129600 lt
Volumen de diseño	129,6 m ³
$\tan 30^\circ = X/H$	
ángulo	30 °
H	2,00 m
x= 1,15470054	1,20 m
Relación B/L	0,9
B	0,9*L
b	B-2x
l	L-2x
Volumen de diseño equivalente	130 m ³
L	9,7 m
B	8,8 m
l	7,3 m

Cálculo del volumen del reservorio	
b	6,4 m
Pendiente del tanque 1%	0.06 m

6.1.16. Inyector de fertilizante

Para calcular el inyector se toma en cuenta la cantidad de nutrientes que se tienen que inyectar a la red de suministro de agua estos datos vienen dados por la **tabla 1**. Tomando en cuenta que en la parcela uno se ubican 246 plantas y en la parcela dos son 291. Con estos se elabora un plan de nutrición para cada parcela tal como se muestra en la **tabla 11 y 12** respectivamente. Donde el año 9, sirve de base para diseñar ya que es la máxima cantidad de nutrientes que se van a inyectar, tomando en cuenta la solubilidad de estos en agua según la **tabla 13**.

Tabla 11. Plan de nutrición parcela 1

Edad del árbol en años	Requerimiento kilogramos/por parcela		
	N	P2O5	K2O
1	4,9	4,9	0
2	7,4	1,2	2,0
3	8,6	2,0	2,5
4	12,3	2,5	4,9
5	30,8	9,8	14,8
6	55,4	18,5	27,1
7	64,0	22,1	32,0
8	73,8	24,6	36,9
9	92,3	30,8	46,1

Tabla 12. Plan de nutrición parcela 2

Edad del árbol en años	Requerimiento kilogramos/por parcela		
	N	P2O5	K2O
1	5,8	5,8	0,0
2	8,7	1,5	2,3
3	10,2	2,3	2,9
4	14,6	2,9	5,8
5	36,4	11,6	17,5
6	65,5	21,8	32,0
7	75,7	26,2	37,8
8	87,3	29,1	43,7
9	109,1	36,4	54,6

Tabla 13. Solubilidad de fertilizantes en agua

FERTILIZANTE	Solubilidad en agua (kg/m3)	N	P2O5	K2O
UREA	680	46%		
MAP	277	12%	61%	
KCI	280			61%

De acuerdo con la **tabla 14**, se puede observar la necesidad de inyectar 215 litros por día, por lo que es necesario encontrar una bomba que pueda inyectar 8.96 litros de agua por hora. Estos cálculos se encuentran detallados de manera más detallada en el **Anexo 2**.

Tabla 14. Calculo de la bomba inyectora de fertilizantes.

Cálculo del inyector de fertilizante		
Dosis de fertilizante a inyecta por día	215	litros
Cantidad de bombas inyectoras al día	1	unidad
	215	litros/día
Caudal suministrado por la bomba	0,15	L/min
	0,002	L/s
	8,96	L/h

6.2. Automatización del sistema

6.2.1. Planteamiento del problema

El sistema de fertilización y riego a goteo funciona al suministrar agua y nutrientes a las plantas de manera controlada y precisa. El agua y los nutrientes se suministran a través de una red de tuberías y emisores de riego a goteo que están instalados en el suelo cerca de las raíces de las plantas.

La cantidad y frecuencia de riego y fertilización se controlan mediante una central de control, que puede ser programada para ajustar el suministro de agua y nutrientes en función de las necesidades de la planta y del clima.

1. Si el nivel del agua del reservorio está por debajo del sensor de nivel mínimo (1 m) no se permitirá el riego, caso contrario se pondrá en marcha el sistema, y se indicará esta condición en una alarma luminosa de color verde.
2. El sistema se pondrá en marcha al activar el pulsador de encendido (marcha=sistema listo para operar si se cumplen las condiciones).
3. Si el sensor de humedad indica una falta de agua en el reservorio menor al 70%, se abrirá la electroválvula para suministra el agua requerida, (se debe activar la bomba, y luego las electroválvulas NC)
4. Si el sensor medidor de fertilizante detecta una falta de nutrientes menor al 70 por ciento, se procederá a encender el inyector de fertilizante.
5. Si no hay el nivel adecuado de fertilizante este sistema no se encenderá, activándose una alarma luminosa de color rojo.
6. Si la temperatura del ambiente es mayor a 30 °C, no está permitido regar.

7. Si hay un sobrecalentamiento de la bomba, no se encenderá (se debe contar con protecciones)
8. El sistema tiene un botón para el paro general y otro botón para un paro de emergencia dado por alguna condición como: por falta de agua, por falta de fertilizante o una falla en la bomba.
9. Si el nivel del tanque del reservorio llega al máximo (2 m) se cierra la válvula de llenado de este.
10. Si el sensor de flujo y el sensor de presión en las líneas indican que está dentro de los parámetros de presión y caudal el sistema seguirá funcionando.
11. Dependiendo de la presión indicada por el transmisor de presión se varia la potencia de la bomba.
12. Al momento de iniciar el funcionamiento del sistema primero se deben de abrir las electroválvulas, y luego se debe de encender el motor dependiendo de los requerimientos.
13. Cuando se finaliza el funcionamiento del sistema se apaga el motor y luego se cierra las electroválvulas.

6.2.2. Automatización

Existen diferentes modelos de automatización para los sistemas de fertirriego, cada uno de ellos con sus propias características y aplicaciones, en este panorama se selecciona 1 electroválvula por parcela y otra electroválvula por cada sección, la misma que se subdivide en 6 secciones con 6 y 5 laterales cada uno, en la **figura 28** se muestra un diagrama general de la distribución del sistema y el funcionamiento del sistema, en la **tabla 15** se puede observar las variables que se ha considerado tanto las entradas como las salidas.

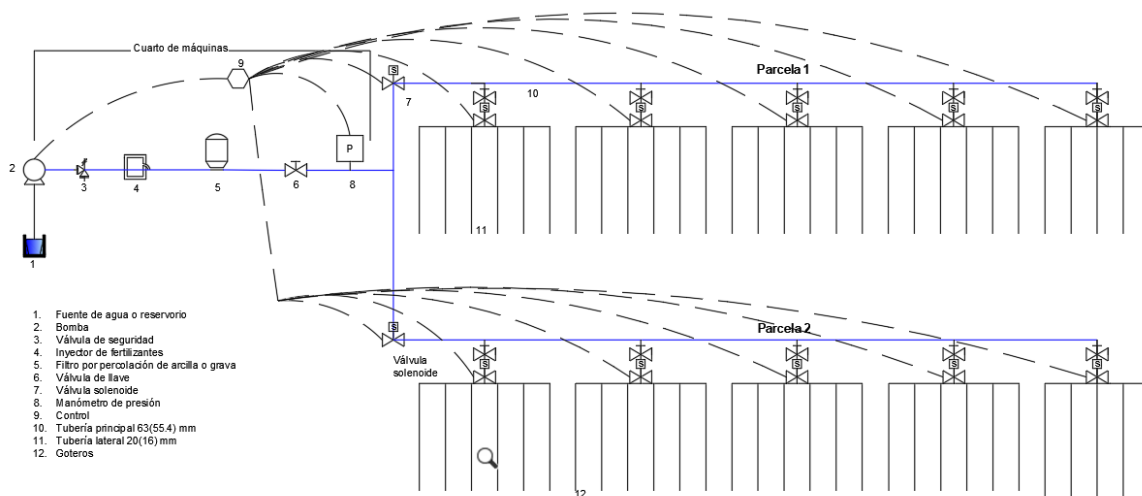


Figura 28. Diagrama del sistema de fertirriego

Tabla 15. Selección de elementos para el control del sistema

Elemento	Tipo de variable	No. elementos	Entrada	Salida	No. Entradas o salidas
Bomba	Digital	1		x	1 SD
Inyector de fertilizante	Digital	1		x	1 SD
Nivel del reservorio	Digital	2	x		2 ED
Nivel del tanque del fertilizante	Digital	2	x		2 ED
Electroválvulas para las secciones con laterales	Digital	10		x	10 SD
Electroválvula para el llenado del reservorio	Digital	1		x	1 SD
Electroválvula para control de riego para cada parcela	Digital	2		x	2 SD
Sensor medidor de humedad	Digital	10	x		10 ED
Sensor medidor de fertilizante	Digital	10	x		10 ED
Sensor medidor de temperatura	Digital	10	x		10 ED
Botón de marcha Verde	Digital	1	x		1 ED
Botón de parada rojo	Digital	1	x		1 ED
Parada de emergencia	Digital	1	x		1 ED
Luminaria verde	Digital	1		x	1 SD
Luminaria roja	Digital	1		x	1 SD
Guardamotor	Digital	1	x		1 ED
Transmisor de presión	Digital	1	x		1 EA

6.2.2.1. Seleccionar el sistema de control

Los sensores de humedad, temperatura, fertilizantes y de nivel; las electroválvulas de llenado de reservorio, de la parcela 1 y 2 y por cada sección; la bomba y el inyector de fertilizante; así como el botón de marcha, parada, parada de emergencia, guardamotor; las luminarias verde y rojo y el transmisor de presión son los elementos que se consideran al momento de seleccionar el sistema de control.

El sensor de temperatura/humedad del suelo HOBOnet T11 se muestra en la **figura 29** y cuyas características se exponen en la **tabla 15**; este sensor se selecciona gracias a ciertas características que le permiten soportar condiciones adversas propias del sector agrícola.



Figura 29. Sensor de temperatura/humedad del suelo HOBOnet T11

Tabla 15. Sensor de temperatura/humedad del suelo HOBOnet T11

Característica	Valor
Tipo de batería/ fuente de alimentación	Dos pilas AA recargables de NiMH de 1,2 V, alimentadas por un panel solar integrado o dos pilas de litio AA de 1,5 V para condiciones de funcionamiento de -40 a 70 °C (-40 a 158 °F)
Precisión	±0,030 m ³ /m ³ (±3 %) típico de 0 a 50 °C (32 a 122 °F); ±0,020 m ³ /m ³ (±2 %) con calibración específica del suelo
Precisión: temperatura	±1,0 °C (1,8 °F) de -40 a 0 °C (-40 a 32 °F)
Dimensiones	Sensor: 7,47 x 9,4 x 2,39 cm (2,94 x 3,7 x 0,94 pulgadas) Longitud de la aguja del sensor: 5,4 cm (2,13 pulgadas) Diámetro de la aguja del sensor: 0,32 cm (0,13 pulgadas) Longitud del cable: 5 m (16,4 pies)
Frecuencias de operación de radio	Mota: 16,2 x 8,59 x 4,14 cm (6,38 x 3,38 x 1,63 pulgadas) RXW-T11-900: 904–924 MHz RXW-T11-868: 866,5 MHz RXW-T11-921: 921 MHz RXW-T11-922: 916–924 MHz
Precio	470 USD

Fuente: (HOBO, 2024)

El sensor de fertilizantes para medir nitrógeno, fósforo y potasio del suelo (salida RS485) el mismo que se muestra en la **figura 30** y sus características se pueden observar en la **tabla 16**; se escoge este sensor gracias a que puede trabajar bajo condiciones robustas.



Figura 30. Sensores de nitrógeno/fósforo/potasio del suelo (salida RS485)

Tabla 16. Características técnicas del sensor de fertilizantes

Características	Valor	
DC powered (default)	DC 5-30V	
Maximum power consumption	≤0.15W (@12V DC, 25°C)	
Operating temperature	0°C~55°C	
NPK parameters	Range	1-1999 mg/kg(mg/L)
	Resolution	1 mg/kg(mg/L)
	Precision	±2%FS
Response time	<1S	
Protection class	IP68	
Probe material	stainless steel	
Sealing material	Black flame retardant epoxy resin	
Default cable length	2 meters, cable length can be customized	
Dimensions	45*15*123mm	
output signal	RS485(Modbus protocol)	
Precio	175.58 USD	

Fuente: (EIC Group, 2024)

Sensor de nivel tipo boya, para montaje lateral, véase **figura 31**. Este sensor de nivel tipo boya fue escogido por su simplicidad para su instalación y su bajo costo. Cuyas características están expuestas en la **tabla 17**.



Figura 31. Sensor de nivel tipo boya para montaje lateral

Tabla 17. Ficha técnica del sensor de nivel

Característica	Valor
Tensión de alimentación	220 V CA
Presión Max. trabajo	2 bar
Temperaturas de procesos	-50/150 °
Precio	21.78 USD

Fuente: (BARKSDALE, 2024)

Transmisor de presión de 4-20 mA véase **figura 32**, se integra fácilmente a un sistema SCADA, proporciona una lectura continua y precisa, altamente utilizado en activación de bombas para bajo nivel de agua, cuyas características se muestran en la **tabla 18**.



Figura 32. transmisor de presión

Tabla 18. características técnicas del transmisor de potencia

Característica	Valor
Corriente	4-20 mA
Presión	60 m.c.a.
Adaptable	SCADA
Marca	Heron
Precio	117.9

Electroválvula: Válvula Normalmente Cerrada y Normalmente Abierta, véase **figura 33** se elige electroválvulas con estas características **tabla 19** y **20**, ya que cumple con los requerimientos que se han calculado anteriormente.



Figura 33. Electroválvula normalmente cerrada de 3 in

Tabla 19. Electroválvula normalmente cerrada

Característica	Valor
Tensión de alimentación	220 V CA
Tipo	2 vías 2 posiciones
Temperatura	-20/90 °C
Diámetro	3 in
Precio	108.77 USD

Electroválvula normalmente abierta

Tabla 20. Electroválvula normalmente abierta

Característica	Valor
Tensión de alimentación	220 V CA
Tipo	2 vías 2 posiciones
Temperatura	-20/90 °C
Diámetro	2 in
Precio	93 USD

Electroválvula: Válvula Normalmente cerrada la misma que se muestra en la **figura 34**; está válvula fue seleccionada, ya que cumple con las características (véase, **tabla 32**) calculadas anteriormente y su disponibilidad en el mercado nacional.



Figura 34. Electroválvula normalmente cerrada de 1/2 in

Tabla 32. Electroválvula normalmente cerrada

Característica	Valor
Tensión de alimentación	220 V CA
Tipo	2 vías 2 posiciones
Temperatura	-20/90 °C
Diámetro	½ in
Precio	40 USD

6.2.2.2. Diagrama de flujo para el proceso de riego

En la **figura 35**, se muestra el diagrama de flujo de cómo funciona el sistema a breves rasgos. En primer lugar, se dan a conocer las variables involucradas dentro del sistema de fertirriego, separando el riego en dos parcelas que se riegan independientemente; si la humedad en la parcela uno es menor 70%, la temperatura de la tierra sea menor a 30°C, el nivel del agua del reservorio es mayor a 1m, la presión sea mayor a 40 m.c.a. y el caudal sea de 9.84 m³/h se abrirá la electroválvula de la parcela uno, así mismo las electroválvulas de cada sección dependiendo de la necesidad de agua y se procede a realizar el riego. Para la parcela dos la humedad, temperatura, el nivel del agua del reservorio y la presión es la misma de la parcela uno, con un caudal de 11.64 m³/h si se cumplen estas condiciones se activa el subsistema para irrigar la parcela dos. Por otro lado, para activar el sistema de fertilización el sensor de fertilizantes tiene que ser menor al 70%, una temperatura menor a 30°C y el nivel del tanque de fertilizantes sea mayor a un metro, caso contrario no se procederá a activar el sistema.

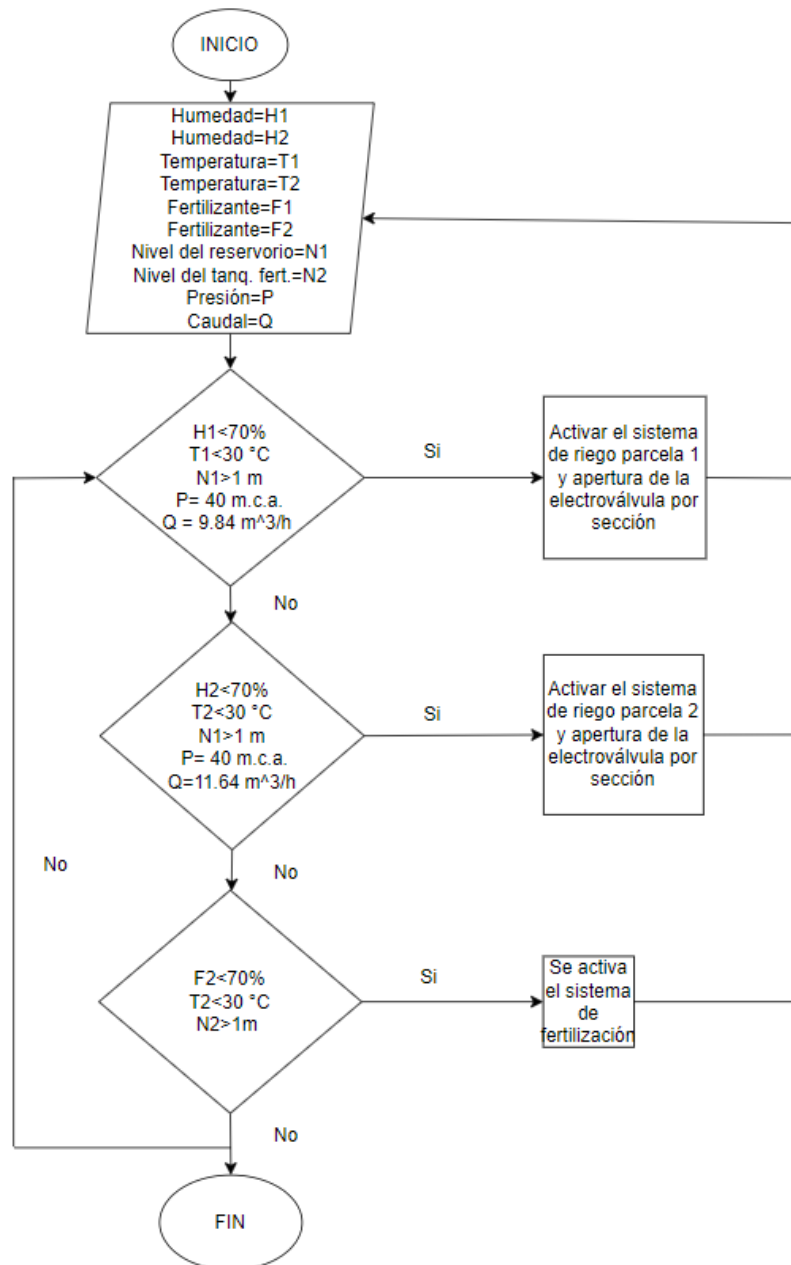


Figura 35. Diagrama de flujo para el funcionamiento del sistema.

6.2.2.3. Control de la bomba

Para suministrar caudal y presión al sistema se seleccionó el motor CHANGFA S195 que funciona con Diesel a una potencia nominal de 8.82 kW, el mismo que este acoplado a una bomba centrífuga HidroStal 40/160 mediante poleas, similar a la **figura 36**. Este motor cuenta con una regulación de la aceleración mediante una palanca tal como se muestra en la **figura 37**.



Figura 36. Adaptación de la bomba y el motor mediante poleas

Fuente: (CHANGFA, 2024)



Figura 37. Palanca de aceleración del motor CHANGFA S195

Fuente: (CHANGFA, 2024)

Para controlar el caudal a suministrar se propone lo que se muestra en la **figura 38**, donde se muestra el esquema de regulación de la potencia del motor, el cual cuenta con un servomotor sujeto a una base, que se conectara atreves de un eje con la palanca que controlara la aceleración de la bomba en función del requerimiento de caudal. Tendrá un sensor de presión que estará conectado al PLC, el mismo enviará una señal al servomotor para que controle el caudal. Para arrancar serán en MIN, las líneas adicionales muestran el recorrido del servomotor para los diferentes requerimientos de caudal siendo uno sección la mínima y 10 la máxima.

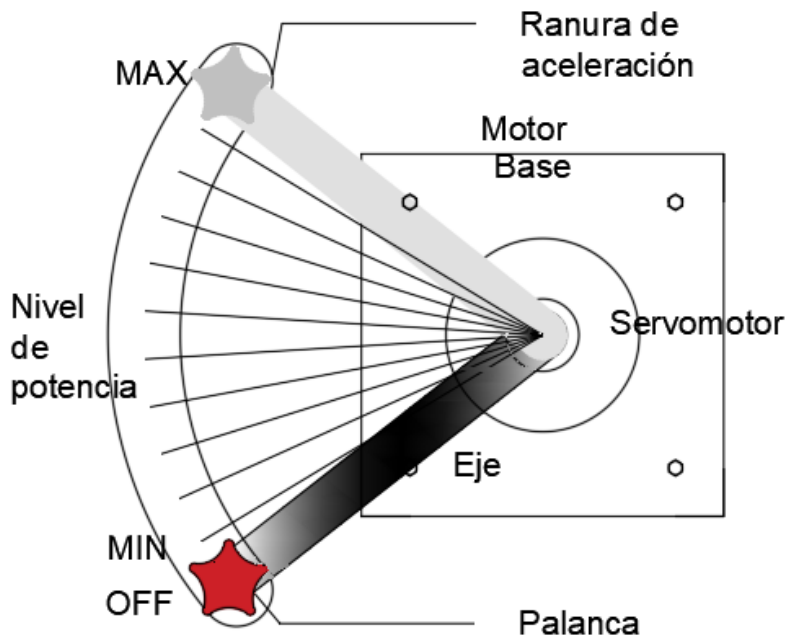


Figura 38. Esquema de funcionamiento del sistema

6.2.2.4. Matriz de presupuestos

En la **tabla 21**, se puede apreciar el costo que representan los elementos del sistema de control, si se considera el segundo caso, que cuenta con un nivel de automatización más avanzado.

Tabla 21. Matriz de presupuestos para el segundo caso

Elemento	Marca	Cantidad	Precio unitario USD	Subtotal USD
Sensor de Nivel del reservorio	BARKSDALE	2	21.78	43.56
Sensor Nivel del tanque del fertilizante	BARKSDALE	1	21.78	21.78
Electroválvulas para las secciones NC	VYRSA	10	40	400
Electroválvula para el llenado del reservorio	VYRSA	1	93	93
Electroválvula para el control de las parcelas	VYRSA	2	108.77	217.54
Sensor medidor de humedad y temperatura	HOBO	10	470	4700
Sensor medidor de fertilizante	EIC GROUP	10	175.58	1755.8
Botón de marcha Verde	XBS	1	1.54	1.54
Botón de parada rojo	XBS	1	1.80	1.80
Parada de emergencia	EBCHQ	1	4	4
Luminaria verde	SCHNEIDER	1	4.13	4.13
Luminaria roja	SCHNEIDER	1	4.13	4.13
Guardamotor	Siemens	1	68.12	68.12
PLC S7-300, CPU 314C-2	Siemens	1	631.14	631.14
Módulos de expansión salidas digitales SM-322	Siemens	1	100.00	476.26
Transmisor de presión	Heron	1	177.9	177.9
Total				5197

6.2.2.5. Diagrama de control

En el **Anexo 3**, se puede observar el diagrama de control en lenguaje Ladder, el mismo que fue elaborado en el software TIA PORTAL.

6.2.2.6. Configuración de los sensores

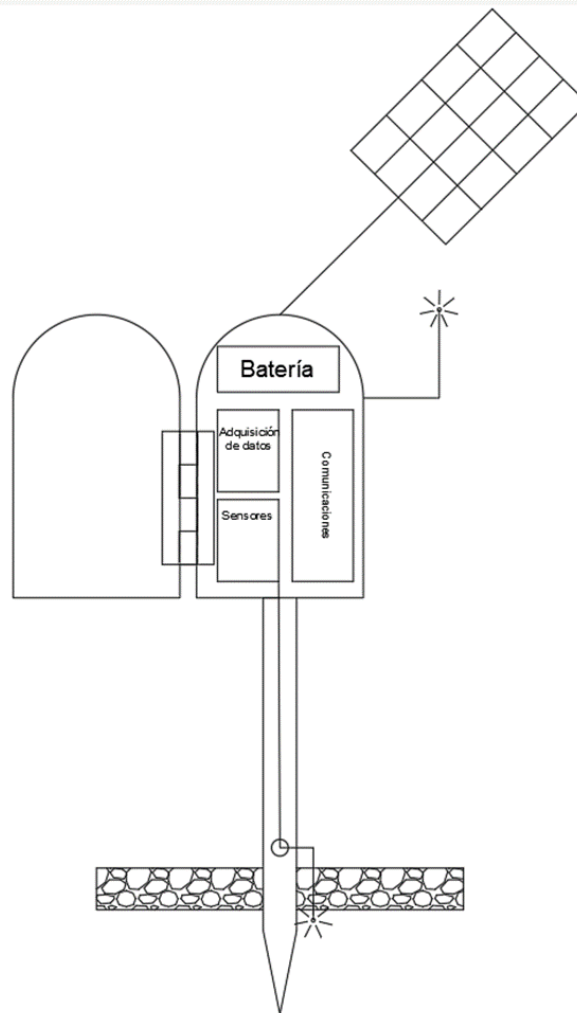


Figura 39. Esquema de conexión de sensores

En la **figura 39** se muestra la unidad de sensores que estarán ubicados en la finca a modo de malla, cinco por parcela, cada unidad de sensores estará ubicada en una planta de las secciones que subdividen las parcelas, esta unidad está diseñada para salvaguardar los componentes, adquirir datos y luego transmitirlos al PLC, con el fin de que este tome decisiones basadas en estos datos.

6.2.2.7. Diseño eléctrico

Para el dimensionamiento del sistema eléctrico determina la cantidad de energía eléctrica necesaria ajustando los accesorios agregados, así como los elementos que lo componen para operar el sistema de manera eficiente y segura, todos estos cálculos se pueden apreciar en la **tabla 22**.

Tabla 22. Dimensionamiento del sistema eléctrico

Tipo de corriente	Nro.	Elementos	Marca	Cant.	Potencia (W)	Tiempo de trabajo	Carga demandada
Continua	1	PLC S7-300	SIEMENS	1	48	6,33	303,8
	2	Módulos de salidas digitales SM-322	SIEMENS	1	7,2	6,33	45,6
Alterna	3	Bomba inyectora de fertilizante	ProMinent	1	50	6,33	316,5
	4	Sensor de Nivel del reservorio	BARKSD ALE	2	44	6,33	557,0
	5	Sensor Nivel del tanque del fertilizante	BARKSD ALE	1	22	6,33	139,3
	6	Sensor de fertilizante	EIC	12	0,15	6,33	11,4
	7	Electroválvula para el llenado del reservorio	VYRSA	1	14,5	6,33	91,8
	8	Electroválvula para apertura de parcela 1	VYRSA	1	14,5	6,33	91,8
	9	Electroválvula para apertura parcela 2	VYRSA	1	14,5	6,33	91,8
	10	Botón de marcha Verde	XBS	1		6,33	0,0
	11	Botón de parada rojo	XBS	1		6,33	0,0
	12	Parada de emergencia	EBCHQ	1		6,33	0,0
	13	Luminaria verde	SCHNEIDER	1		6,33	0,0
	14	Luminaria roja	SCHNEIDER	1		6,33	0,0
	15	Electroválvula para los laterales NC	VYRSA	58	14,5	6,33	917,9
						Total	1,6 kW

6.3. Simulación

Al validar mediante simulación el funcionamiento del sistema de fertirriego automático propuesto fue la confirmación de que el sistema es capaz de satisfacer las necesidades de riego de la finca “Los Limos” y ajustar el suministro de agua y nutrientes a las necesidades específicas de cada cultivo, lo que permite un uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos.

Además, la simulación permitió identificar y corregir posibles problemas en el diseño del sistema antes de su implementación en campo, lo que reducirá los costos y el tiempo de implementación, y mejorará la eficiencia del sistema. La simulación también permitió evaluar el comportamiento del sistema ante diferentes escenarios climáticos y determinar su capacidad para

adaptarse y responder eficazmente a situaciones imprevistas. En general, el resultado de la simulación confirmó la viabilidad del diseño propuesto y su capacidad para satisfacer las necesidades de la finca “Los Limos”.

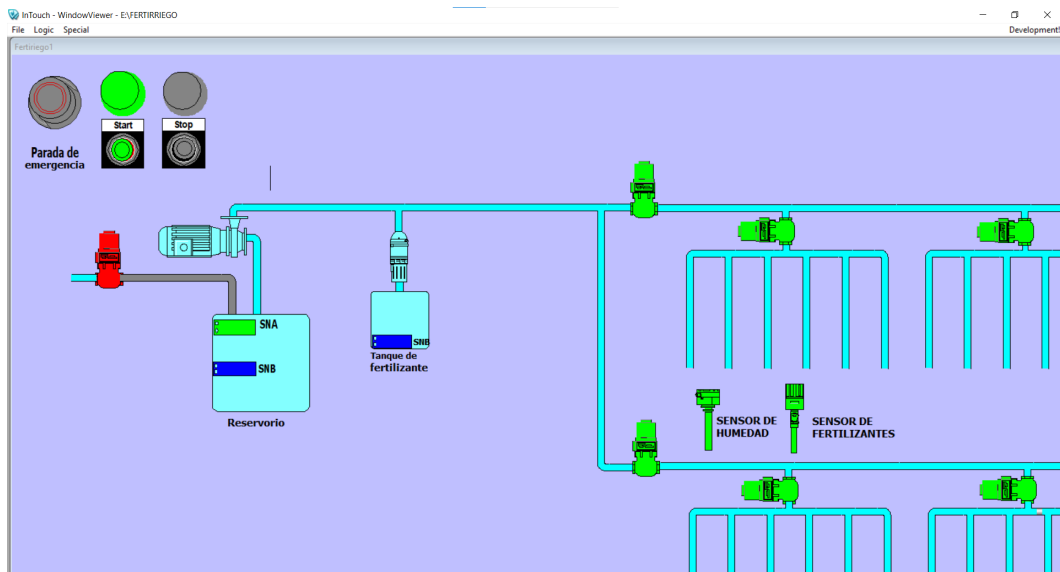


Figura 40. Simulación del sistema

En la **figura 40**, se muestra la simulación del sistema en el software InTouch, se puede observar de que al poner en marcha el sistema la bomba se enciende, ya que el nivel del tanque es mayor a un metro; así mismo la válvula de entrada al reservorio se apaga ya que en sensor de nivel alto está activado y no se puede llenar más allá de dos metros; al estar activado el sensor de fertilizantes se enciende la bomba inyectora de fertilizantes; finalmente el sensor de humedad esta activo ya que la humedad es menor al 70% lo que hace que las electroválvulas de todo el sistema se abra produciéndose el riego de toda la finca.

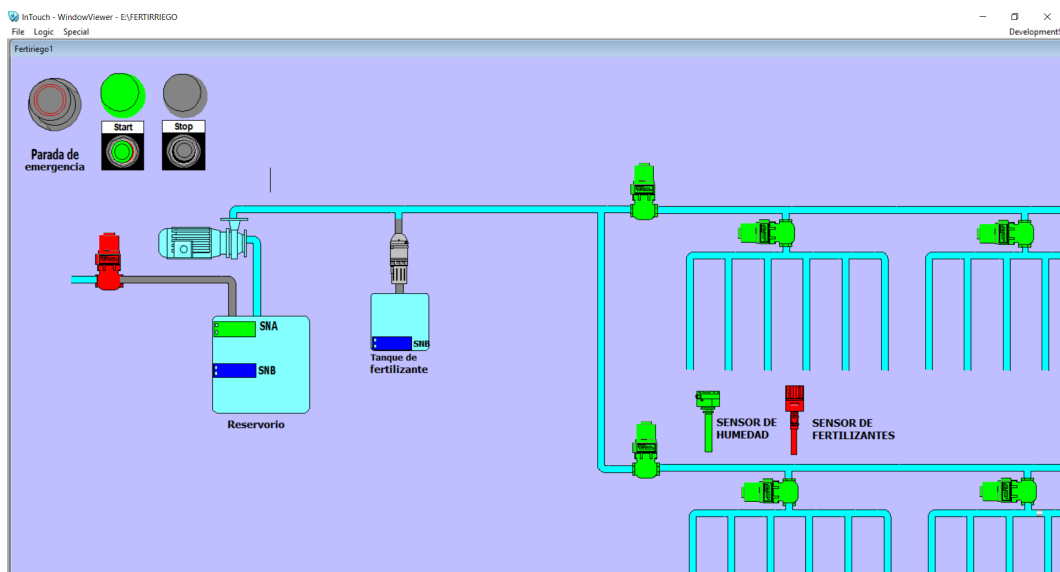


Figura 41. Simulación del sistema 2

En la **figura 41** se puede evidenciar como se apaga la bomba inyectora de fertilizantes ya que el sensor de fertilizantes indica que no necesita más nutrientes, pero como el sensor de humedad indica que aún necesita agua la bomba sigue trabajando hasta que el sensor de humedad indique que la humedad es la indicada.

7. Discusión

El diseño del sistema de riego para la finca "Los Limos" se ha estructurado mediante la subdivisión del área en dos parcelas, y posteriormente en 5 secciones por parcela. Cada sección incorpora 6 ramales, equipados con estaciones de sensores para medir tanto la humedad como los niveles de fertilizantes en el suelo. El objetivo principal de esta configuración es obtener una muestra representativa de estas variables en toda la finca. Es importante señalar que la elección de un número limitado de sensores conlleva un cierto margen de error, lo que sugiere la necesidad de considerar la inclusión de más sensores en el futuro. No obstante, esta medida adicional podría incrementar los costos de instalación, lo que plantea un desafío económico para la viabilidad a largo plazo.

Existen investigaciones previas en el ámbito del fertirriego que ofrecen perspectivas valiosas. En el trabajo de Burneo (2018), se abordó el diseño de un sistema de riego por goteo para parcelas de uva en la Hacienda Agrindzap, enfrentando desafíos relacionados con variables como temperatura, caudal y área a regar en un extenso terreno de aproximadamente 13 hectáreas. Mamani & Flores (2019) se enfocaron en la evaluación del sistema de fertirrigación para el cultivo de palto en la Zona Alta del Valle de Ica, considerando condiciones de suelo, agua, tipo de cultivo, así como factores climáticos e hidráulicos. Ambos trabajos subrayan la importancia de tener en cuenta diversas variables al diseñar sistemas de fertirriego para maximizar la producción de diferentes tipos de cultivos.

En el contexto de la finca "Los Limos", se llevó a cabo un estudio de los requerimientos hídricos y nutricionales de los cultivos, considerando las condiciones específicas de suelo y clima en la zona de cultivo. Basándose en esta información, se desarrolló un diseño que se adaptaba a las necesidades particulares de la finca, garantizando un uso eficiente del agua y los fertilizantes para fomentar el crecimiento y desarrollo óptimo de los limoneros.

Los limoneros en la finca requieren aproximadamente 6.78 mm de agua diaria para mantener condiciones óptimas. Dada la extensión de 1.44 hectáreas, se calcula que se necesitan 23.63 m³/h de agua durante 6.33 horas, con una presión de alrededor de 59 m.c.a. Para cumplir con estos requisitos, se optó por una bomba centrífuga de marca HidroStal modelo 40/160, con un rendimiento del 58% y un rodete de 170 mm. La adaptación de un motor a diésel de marca CHANGFA modelo S195, con una potencia nominal de 8.82 kW, logró mediante correas de transmisión de potencia y un controlador de la aceleración para el motor de combustión interna, para mantener la presión constante en la red de distribución hidráulica. Además, para que el uso del agua sea eficiente se seleccionaron goteros de 8l/h, autocompensantes, capaces de mantener la

presión en la red.

Con el objetivo de optimizar costos en el sistema de control, se realizó una distribución eficiente, considerando la cantidad mínima de componentes sin comprometer la fiabilidad de los datos proporcionados por los sensores como la humedad y los fertilizantes, el costo total del sistema sigue siendo significativo, ascendiendo a 5197 dólares. Este hecho subraya la importancia de seguir explorando estrategias para mejorar la eficiencia económica del sistema de riego implementado en "Los Limos".

8. Conclusiones

1. Se ha diseñado con éxito un sistema de fertirriego por goteo, específicamente para atender las necesidades de aproximadamente 487 plantas de limón distribuidas en una extensión de 1.44 hectáreas. Este sistema requiere un caudal de 23.63 m³/h y una presión de 58.95 m.c.a. Para asegurar un control eficiente del caudal, se propone la incorporación de un servomotor, acoplado a la palanca de aceleración, permitiendo así la variación del caudal de manera dinámica y ajustada a los requisitos del sistema.
2. El sistema de control diseñado para la automatización del proceso de fertiirrigación se basa en un PLC S7-300. Este PLC utiliza los datos proporcionados por los sensores de humedad, fertilización y presión como entradas, permitiéndole actuar sobre las salidas, tales como las electroválvulas por parcelas, por sección y para el reservorio; la bomba de fertilizantes y la de riego. Esta integración posibilita un control preciso y eficaz del suministro de agua y fertilizantes a lo largo de la plantación.
3. Se llevó a cabo la validación del sistema utilizando el software InTouch, donde se realizaron pruebas operacionales en diversas condiciones. Los resultados obtenidos indican que el sistema responde de manera adecuada y eficiente, asegurando los parámetros funcionales establecidos en la etapa de diseño respecto a la administración de los recursos hídricos y nutricionales.

9. Recomendaciones

1. Se insta a la búsqueda de sensores más económicos y a la consideración de la inclusión de un mayor número de sensores a lo largo de la finca. Esta medida pretende mejorar la precisión de la recolección de datos, permitiendo una monitorización más detallada y precisa de las condiciones del suelo. La expansión estratégica de sensores contribuirá significativamente a una toma de decisiones más informada y eficiente en la gestión del fertirriego.
2. Recomendamos explorar oportunidades para ampliar la funcionalidad del PLC S7-300 en el sistema de control. En particular, se sugiere la consideración de la incorporación de controladores PID para optimizar el uso de los recursos y mejorar el control de la bomba, especialmente dado su carácter de motor de combustión interna. Esta mejora proporcionaría una mayor eficiencia operativa y contribuiría a la gestión más precisa de los recursos del sistema.
3. Se propone la implementación del servomotor propuesto para el control dinámico del caudal en situaciones prácticas. Esta adición ofrecerá ajustes precisos y adaptativos, respondiendo de manera efectiva a las variaciones en las necesidades hídricas de las plantas. Para garantizar su eficacia, se recomienda realizar pruebas piloto en condiciones reales, permitiendo así la evaluación de su rendimiento y la realización de ajustes en la configuración según los resultados obtenidos. Este proceso experimental respaldará la toma de decisiones informada respecto a la implementación definitiva del servomotor en el sistema de fertirriego.

10. Bibliografía

- Black, S. (2016). *The nutrition of crops*. Charles Sturt University.
- Burneo, B. (2018). *Diseño de un sistema de riego por goteo para parcelas de uva en la Hacienda Agrindzap*. Quito: Universidad San Francisco de Quito USFQ.
- Calvache, A. (2008). *Fertirriego en el Ecuador*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Cando Pilatasig, D. (2022). *DISEÑO DEL RESERVORIO Y EL SISTEMA DE LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN, PARA EL RIEGO PARCELARIO EN LA COMUNIDAD UNIÓN Y TRABAJO PERTENECIENTE A LA PARROQUIA MULALILLO DEL CANTÓN SALCEDO PROVINCIA DE COTOPAXI*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Cánovas, M., Huertas, V., & Sempere, M. (2010). *Optimización Matemática Aplicada*. Alicante: Gamma.
- Chicaiza, J. (2008). *Problemas generados por la distribución del agua de riego en el sector Venegas-san Luis de la parroquia Mira y su incidencia en la agricultura*. Quito.
- Chirinos, T. (2016). *Efecto de la dosis de riego en el consumo y eficiencia de uso del agua de un ecotipo local de Quinoa*. Puno: Universidad Nacional del Antiplano.
- CONGOPE. (2016). *Hablemos de riego*. Quito: El Telégrafo EP.
- Corcobado, T., & Rubio, G. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Madrid: McGraw Hill.
- Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*. La rioja: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Hossne, A., Paredes, G., Carvajal, R., Santaella, E., & Malaver, J. (2011). *Cohesión aparente de un suelo franco arenoso de sabana*. Guanajuato: Universidad de Guanajuato.
- INEC. (2010). *Resultados del Censo 2010 de Población y Vivienda del Ecuador*. Quito: INEC.
- Liotta, M. (2015). *Manual de capacitación: riego por goteo*. San Juan: Unidad para el cambio rural.
- Mazuela, P. C., & De la Riva, F. (2013). *Manual de Fertirriego*. Arica: Universidad de Taracapá.
- Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J., Barquín, J., & Linares, P. (2010). *Modelos matemáticos de optimización*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- Rodríguez Murcia, H. (1995). *Manual de Entrenamiento de Sistemas Fotovoltaicos para la Electrificación Rural*. Bogotá: OLADE.
- Ruiz, A., & Molina, J. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Barcelona: Marcombo.
- Salinas Acosta, A. (2010). *MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BÁSICAS PARA LA ELABORACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA*

*(SCALL) EN EL SECTOR AGROPECUARIO DE COSTA RICA Y
RECOMENDACIONES PARA SU UTILIZACIÓN.* Nicoya: Universidad Nacional
CEMEDE.

Vegas, U., & Narrea, M. (2011). *Manejo integrado del cultivo del limón.* Piura: Universidad
Agraria la Molina.

11. Anexos

Anexo 1: Pérdida de carga por rozamiento en tubería de polietileno de baja densidad (en m.c.a./1000m) (Prandil-Colebrook).

CAUDAL litros/seg.	DIAMETROS NOMINAL E INTERIOR (en mm)							
	12(10,3)	16(13,2)	20(16)	25(21)	32(28)	40(35,2)	50(44)	63(55,4)
0,02	14,30	4,47	5,81					
0,04	46,40	14,40	11,58	1,63				
0,06	93,29	28,76	19,00	3,22				
0,08	153,99	47,29	27,89	5,25	2,36			
0,10	227,68	69,65	38,29	7,69	1,98	0,68		
0,12	313,98	95,78	50,08	10,53	2,71	0,92		
0,14	412,67	125,44	63,28	13,74	3,52	1,20		
0,16		158,77	77,77	17,33	4,43	1,51	0,53	
0,18		195,43	93,57	21,26	5,43	1,84	0,65	
0,20		235,46	110,76	25,55	6,52	2,21	0,77	
0,22		278,92	129,16	30,18	7,69	2,60	0,91	
0,24		325,55	148,75	35,15	8,94	3,02	1,06	
0,26		375,51	169,65	40,47	10,28	3,47	1,21	0,41
0,28		428,74	191,84	46,08	11,69	3,95	1,37	0,47
0,30		485,10	215,14	52,06	13,19	4,45	1,55	0,52
0,32			239,73	58,31	14,77	4,98	1,73	0,58
0,34			265,53	64,90	16,42	5,53	1,92	0,65
0,36			292,42	71,80	18,15	6,11	2,12	0,72
0,38			320,52	79,02	19,96	6,71	2,33	0,79
0,40			349,81	86,54	21,84	7,34	2,55	0,86
0,42			380,31	94,37	23,80	7,99	2,77	0,93
0,44			412,00	102,53	25,83	8,67	3,00	1,01
0,46			444,70	110,96	27,93	9,37	3,25	1,09
0,48			478,69	119,66	30,11	10,10	3,49	1,17
0,50				128,69	32,36	10,85	3,75	1,26
0,54				147,68	37,08	12,42	4,29	1,44
0,60				178,26	44,69	14,95	5,16	1,73
0,64				200,15	50,11	16,75	5,78	1,93
0,70				235,07	58,77	19,62	6,76	2,26
0,74				259,77	64,88	21,65	7,46	2,49
0,80				298,95	74,56	24,86	8,55	2,85
0,84				326,47	81,35	27,10	9,32	3,11
0,90				369,85	92,03	30,63	10,53	3,51
0,94				400,14	99,47	33,10	11,37	3,79
1,00				447,63	11,14	36,95	12,68	4,22
1,10					131,89	43,79	15,01	4,99
1,20					154,24	51,15	17,52	5,82
1,30					178,19	59,02	20,20	6,71
1,40					203,71	67,41	23,05	7,64
1,50					230,80	76,29	26,06	8,64
1,60					259,43	85,67	29,25	9,69
1,70					289,62	95,55	32,59	10,79
1,80					321,32	105,92	36,10	11,94
1,90						116,77	39,77	13,15
2,00						128,10	43,60	14,40

Tabla de (continuación)

CAUDAL litros/seg.	DIAMETROS NOMINAL E INTERIOR (en mm)							
	12(10,3)	16(13,2)	20(16)	25(21)	32(28)	40(35,2)	50(44)	63(55,4)
2,20						152,22	51,75	17,07
2,30						164,99	56,05	18,49
2,40						178,23	60,51	19,95
2,50						131,94	65,13	21,46
2,60						206,13	69,91	23,02
2,70						220,77	74,83	24,61
2,80						235,89	79,91	26,29
2,90							85,15	28,00
3,00							90,53	29,76
3,50							119,71	39,27
4,00							152,61	49,97
4,50							189,18	61,83
5,00								74,84
5,50								88,99
6,00								104,27
6,50								120,76
7,00								138,15

Cálculo del Factor F

NUMERO DE SALIDAS	x = S	x = S/2	NUMERO DE SALIDAS	x = S	x = S/2
1	1,000	1,000	17	0,380	0,362
2	0,639	0,518	18	0,379	0,361
3	0,535	0,441	19	0,377	0,361
4	0,486	0,412	20	0,376	0,360
5	0,457	0,397	22	0,374	0,359
6	0,435	0,387	24	0,372	0,359
7	0,425	0,381	26	0,370	0,358
8	0,415	0,377	28	0,369	0,357
9	0,409	0,374	30	0,368	0,357
10	0,402	0,371	35	0,365	0,356
11	0,397	0,369	40	0,364	0,355
12	0,394	0,367	50	0,361	0,354
13	0,391	0,366	60	0,359	0,353
14	0,387	0,365	80	0,357	0,352
15	0,384	0,364	100	0,356	0,352
16	0,382	0,363	>100	0,351	0,351

Anexo 2: Plan de nutrición

No. plantas parcela 1				246			
No. plantas parcela 2				291			
Plan de nutrición parcela 1				Plan de nutrición parcela 2			
Edad del árbol en años	Requerimiento kilogramos/por parcela			Edad del árbol en años	Requerimiento kilogramos/por parcela		
	N	P2O5	K2O		N	P2O5	K2O
1	4,92	4,92	0	1	5,82	5,82	0
2	7,38	1,23	1,968	2	8,73	1,455	2,328
3	8,61	1,968	2,46	3	10,185	2,328	2,91
4	12,3	2,46	4,92	4	14,55	2,91	5,82
5	30,75	9,84	14,76	5	36,375	11,64	17,46
6	55,35	18,45	27,06	6	65,475	21,825	32,01
7	63,96	22,14	31,98	7	75,66	26,19	37,83
8	73,8	24,6	36,9	8	87,3	29,1	43,65
9	92,25	30,75	46,125	9	109,125	36,375	54,5625

PLAN DE NUTRICIÓN

Plan de nutrición parcela 1 para el año 1				Plan de nutrición parcela 2 para el año 1				Plan de nutrición parcela 1/aplicación en el año 1				Plan de nutrición parcela 2/aplicación en el año 1			
No. de aplicaciones	% N	%P2O5	%K2O	No. de aplicaciones	% N	%P2O5	%K2O	No. de aplicaciones	N	P2O5	K2O	No. de aplicaciones	N	P2O5	K2O
1	25%	100%	0%	1	25%	100%	0%	1	1,23	4,92	0,00	1	1,46	5,82	0,00
2	25%			2	25%			2	1,23			2	1,46		
3	25%			3	25%			3	1,23			3	1,46		
4	25%			4	25%			4	1,23			4	1,46		
Plan de nutrición parcela 1 para el año 2				Plan de nutrición parcela 2 para el año 2				Plan de nutrición parcela 1/aplicación en el año 2				Plan de nutrición parcela 2/aplicación en el año 2			
No. de aplicaciones	% N	%P2O5	%K2O	No. de aplicaciones	% N	%P2O5	%K2O	No. de aplicaciones	N	P2O5	K2O	No. de aplicaciones	N	P2O5	K2O
1	25%	25%	25%	1	25%	25%	25%	1	1,85	0,31	0,49	1	2,18	0,36	0,58
2	25%	25%	25%	2	25%	25%	25%	2	1,85	0,31	0,49	2	2,18	0,36	0,58
3	25%	25%	25%	3	25%	25%	25%	3	1,85	0,31	0,49	3	2,18	0,36	0,58
4	25%	25%	25%	4	25%	25%	25%	4	1,85	0,31	0,49	4	2,18	0,36	0,58
Plan de nutrición parcela 1 para el año 3				Plan de nutrición parcela 2 para el año 3				Plan de nutrición parcela 1/aplicación en el año 3				Plan de nutrición parcela 2/aplicación en el año 3			
No. de aplicaciones	% N	%P2O5	%K2O	No. de aplicaciones	% N	%P2O5	%K2O	No. de aplicaciones	N	P2O5	K2O	No. de aplicaciones	N	P2O5	K2O
1	25%	25%	25%	1	25%	25%	25%	1	2,15	0,49	0,62	1	2,55	0,58	0,73
2	25%	25%	25%	2	25%	25%	25%	2	2,15	0,49	0,62	2	2,55	0,58	0,73
3	25%	25%	25%	3	25%	25%	25%	3	2,15	0,49	0,62	3	2,55	0,58	0,73
4	25%	25%	25%	4	25%	25%	25%	4	2,15	0,49	0,62	4	2,55	0,58	0,73

Plan de nutrición parcela 1 para el año 4				Plan de nutrición parcela 2 para el año 4				Plan de nutrición parcela 1/aplicación en el año 4				Plan de nutrición parcela 2/aplicación en el año 4			
No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O
1	25%	25%	25%	1	25%	25%	25%	1	3,08	0,62	1,23	1	3,64	0,73	1,46
2	25%	25%	25%	2	25%	25%	25%	2	3,08	0,62	1,23	2	3,64	0,73	1,46
3	25%	25%	25%	3	25%	25%	25%	3	3,08	0,62	1,23	3	3,64	0,73	1,46
4	25%	25%	25%	4	25%	25%	25%	4	3,08	0,62	1,23	4	3,64	0,73	1,46

Plan de nutrición parcela 1 para el año 5				Plan de nutrición parcela 2 para el año 5				Plan de nutrición parcela 1/aplicación en el año 5				Plan de nutrición parcela 2/aplicación en el año 5			
No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O
1	25%	25%	25%	1	25%	25%	25%	1	7,69	2,46	3,69	1	9,09	2,91	4,37
2	25%	25%	25%	2	25%	25%	25%	2	7,69	2,46	3,69	2	9,09	2,91	4,37
3	25%	25%	25%	3	25%	25%	25%	3	7,69	2,46	3,69	3	9,09	2,91	4,37
4	25%	25%	25%	4	25%	25%	25%	4	7,69	2,46	3,69	4	9,09	2,91	4,37

Plan de nutrición parcela 1 para el año 6				Plan de nutrición parcela 2 para el año 6				Plan de nutrición parcela 1/aplicación en el año 6				Plan de nutrición parcela 2/aplicación en el año 6			
No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O
1	25%	25%	25%	1	25%	25%	25%	1	13,84	4,61	6,77	1	16,37	5,46	8,00
2	25%	25%	25%	2	25%	25%	25%	2	13,84	4,61	6,77	2	16,37	5,46	8,00
3	25%	25%	25%	3	25%	25%	25%	3	13,84	4,61	6,77	3	16,37	5,46	8,00
4	25%	25%	25%	4	25%	25%	25%	4	13,84	4,61	6,77	4	16,37	5,46	8,00

Plan de nutrición parcela 1 para el año 7				Plan de nutrición parcela 2 para el año 7				Plan de nutrición parcela 1/aplicación en el año 7				Plan de nutrición parcela 2/aplicación en el año 7			
No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O
1	25%	25%	25%	1	25%	25%	25%	1	15,99	5,54	8,00	1	18,92	6,55	9,46
2	25%	25%	25%	2	25%	25%	25%	2	15,99	5,54	8,00	2	18,92	6,55	9,46
3	25%	25%	25%	3	25%	25%	25%	3	15,99	5,54	8,00	3	18,92	6,55	9,46
4	25%	25%	25%	4	25%	25%	25%	4	15,99	5,54	8,00	4	18,92	6,55	9,46

Plan de nutrición parcela 1 para el año 8				Plan de nutrición parcela 2 para el año 8				Plan de nutrición parcela 1/aplicación en el año 8				Plan de nutrición parcela 2/aplicación en el año 8			
No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O
1	25%	25%	25%	1	25%	25%	25%	1	18,45	6,15	9,23	1	21,83	7,28	10,91
2	25%	25%	25%	2	25%	25%	25%	2	18,45	6,15	9,23	2	21,83	7,28	10,91
3	25%	25%	25%	3	25%	25%	25%	3	18,45	6,15	9,23	3	21,83	7,28	10,91
4	25%	25%	25%	4	25%	25%	25%	4	18,45	6,15	9,23	4	21,83	7,28	10,91

Plan de nutrición parcela 1 para el año 9				Plan de nutrición parcela 2 para el año 9				Plan de nutrición parcela 1/aplicación en el año 9				Plan de nutrición parcela 2/aplicación en el año 9			
No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	% N	%P2 05	%K 20	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O

No. de aplicaciones	% N	%P2 O5	%K 2O	No. de aplicaciones	% N	%P2 O5	%K 2O	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O	No. de aplicaciones	N	P2O 5	K2O
1	25%	25%	25%	1	25%	25%	25%	1	23,06	7,69	11,53	1	27,28	9,09	13,64
2	25%	25%	25%	2	25%	25%	25%	2	23,06	7,69	11,53	2	27,28	9,09	13,64
3	25%	25%	25%	3	25%	25%	25%	3	23,06	7,69	11,53	3	27,28	9,09	13,64
4	25%	25%	25%	4	25%	25%	25%	4	23,06	7,69	11,53	4	27,28	9,09	13,64

PLAN DE FERTILIZACIÓN

FERTILIZANTE	Solubilidad en agua (kg/m3)	N	P2O5	K2O
UREA	680	46%		
MAP	277	12%	61%	
KCI	280			61%

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 1 - año 1

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	0,56985032	8,07	0,00
2	2,67391304	0,00	0,00
3	2,67391304	0,00	0,00
4	2,67391304	0,00	0,00

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 2 - año 1

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	0,67409123	9,54	0,00
2	3,16304348	0,00	0,00
3	3,16304348	0,00	0,00
4	3,16304348	0,00	0,00

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 1 - año 2

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	3,87936565	0,50	0,81
2	3,87936565	0,50	0,81
3	3,87936565	0,50	0,81
4	3,87936565	0,50	0,81

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 2 - año 2

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	4,5890057	0,60	0,95
2	4,5890057	0,60	0,95
3	4,5890057	0,60	0,95
4	4,5890057	0,60	0,95

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 1 - año 3

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	4,46894155	0,81	1,01
2	4,46894155	0,81	1,01
3	4,46894155	0,81	1,01
4	4,46894155	0,81	1,01

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 2 - año 3

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	5,28643086	0,95	1,19
2	5,28643086	0,95	1,19
3	5,28643086	0,95	1,19
4	5,28643086	0,95	1,19

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 1 - año 4

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	6,42177477	1,01	2,02
2	6,42177477	1,01	2,02
3	6,42177477	1,01	2,02
4	6,42177477	1,01	2,02

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 2 - año 4

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	7,59648967	1,19	2,39
2	7,59648967	1,19	2,39
3	7,59648967	1,19	2,39
4	7,59648967	1,19	2,39

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 1 - año 5

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	15,6599252	4,03	6,05
2	15,6599252	4,03	6,05
3	15,6599252	4,03	6,05
4	15,6599252	4,03	6,05

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 2 - año 5

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	18,5245456	4,77	7,16
2	18,5245456	4,77	7,16
3	18,5245456	4,77	7,16
4	18,5245456	4,77	7,16

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 1 - año 6

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	28,1089629	7,56	11,09
2	28,1089629	7,56	11,09
3	28,1089629	7,56	11,09
4	28,1089629	7,56	11,09

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 2 - año 6

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	33,2508464	8,94	13,12
2	33,2508464	8,94	13,12
3	33,2508464	8,94	13,12
4	33,2508464	8,94	13,12

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 1 - año 7

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	32,393799	9,07	13,11
2	32,393799	9,07	13,11
3	32,393799	9,07	13,11
4	32,393799	9,07	13,11

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 2 - año 7

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	38,3194939	10,73	15,50
2	38,3194939	10,73	15,50
3	38,3194939	10,73	15,50
4	38,3194939	10,73	15,50

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 1 - año 8

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	37,4786172	10,08	15,12
2	37,4786172	10,08	15,12
3	37,4786172	10,08	15,12
4	37,4786172	10,08	15,12

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 2 - año 8

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	44,3344619	11,93	17,89
2	44,3344619	11,93	17,89
3	44,3344619	11,93	17,89
4	44,3344619	11,93	17,89

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 1 - año 9

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	46,8482716	12,60	18,90
2	46,8482716	12,60	18,90
3	46,8482716	12,60	18,90
4	46,8482716	12,60	18,90

Requerimiento de fertilizante kg/parcela 2 - año 9

Número de aplicaciones	UREA	MAP	KCI
1	55,4180773	14,91	22,36
2	55,4180773	14,91	22,36
3	55,4180773	14,91	22,36
4	55,4180773	14,91	22,36

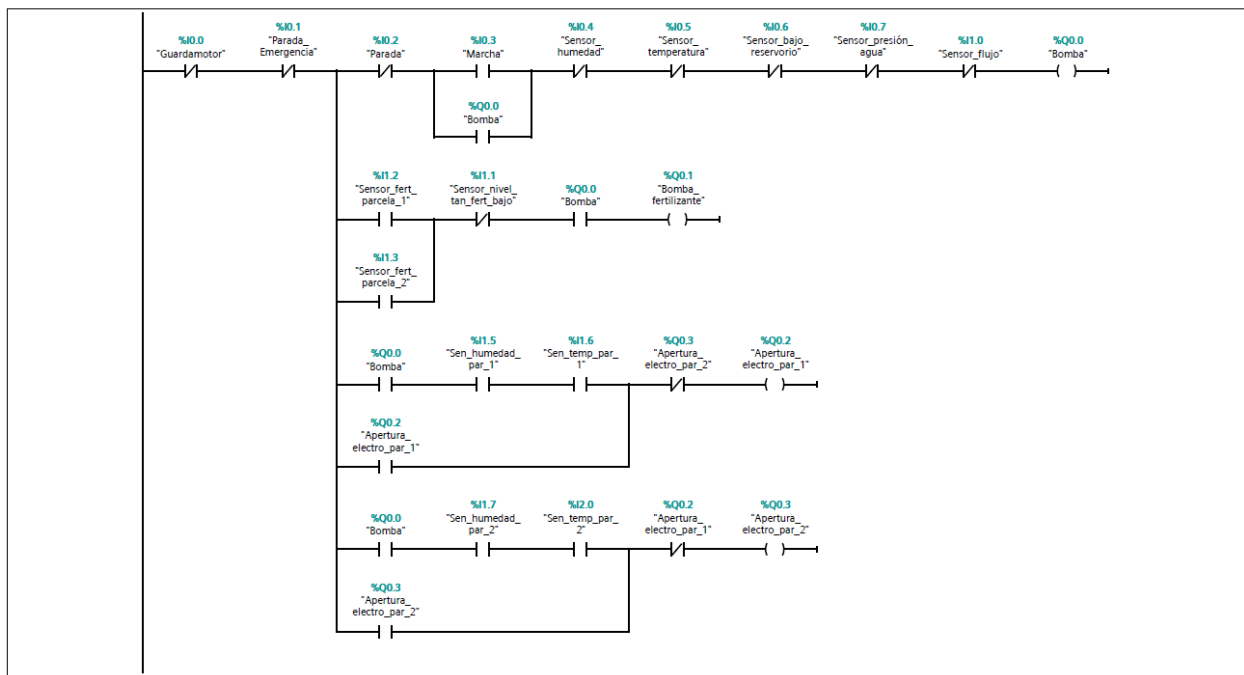
PARCELA 1			PARCELA 2		
m ³ de agua por aplicación	No. de fertirriegos por aplicación	Volumen efectivo de tanque	m ³ de agua por aplicación	No. de fertirriegos por aplicación	Volumen efectivo de tanque
0,182	1	0,182	0,215	1	0,215
0,182	1	0,182	0,215	1	0,215
0,182	1	0,182	0,215	1	0,215
0,182	1	0,182	0,215	1	0,215

Cálculo del inyector de fertilizante		
Dosis de fertilizante a inyecta por día	215	litros
Cantidad de bombas inyectoras al día	1	unidad
	215	litros/día
Caudal suministrado por la bomba	0,14930556	L/min
	0,00248843	L/s
	8,95833333	L/h

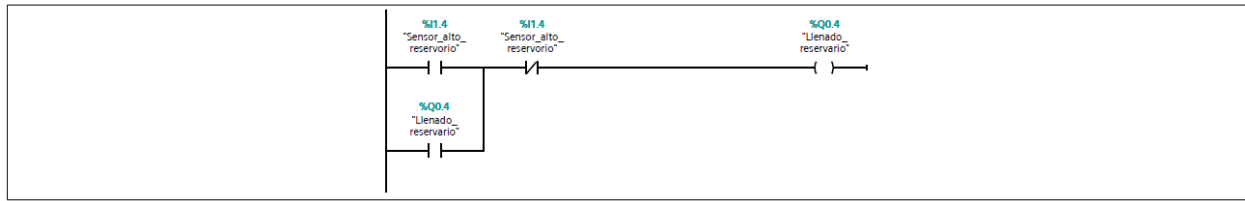
Anexo 3: Programa desarrollado en TIA Portal.

Totally Integrated Automation Portal								
Songor_Gladys_P2 / PLC_1 [CPU 312C]								
PLC tags								
Name	Data type	Address	Retain	Accessi-ble from HMI/OPC UA/Web API	Writ-able from HMI/OPC UA/Web API	Visible in HMI engi-neering	Supervision	Comment
Guardamotor	Bool	%I0.0		True	True	True		
Parada_Emergencia	Bool	%I0.1		True	True	True		
Parada	Bool	%I0.2		True	True	True		
Marcha	Bool	%I0.3		True	True	True		
Sensor_humedad	Bool	%I0.4		True	True	True		
Sensor_temperatura	Bool	%I0.5		True	True	True		
Sensor_bajo_reservorio	Bool	%I0.6		True	True	True		
Sensor_presión_agua	Bool	%I0.7		True	True	True		
Sensor_flujo	Bool	%I1.0		True	True	True		
Sensor_nivel_tan_fert_bajo	Bool	%I1.1		True	True	True		
Sensor_fert_parcela_1	Bool	%I1.2		True	True	True		
Sensor_fert_parcela_2	Bool	%I1.3		True	True	True		
Sensor_alto_reservorio	Bool	%I1.4		True	True	True		
Bomba	Bool	%Q0.0		True	True	True		
Bomba_fertilizante	Bool	%Q0.1		True	True	True		
Apertura_electro_par_1	Bool	%Q0.2		True	True	True		
Apertura_electro_par_2	Bool	%Q0.3		True	True </tr			

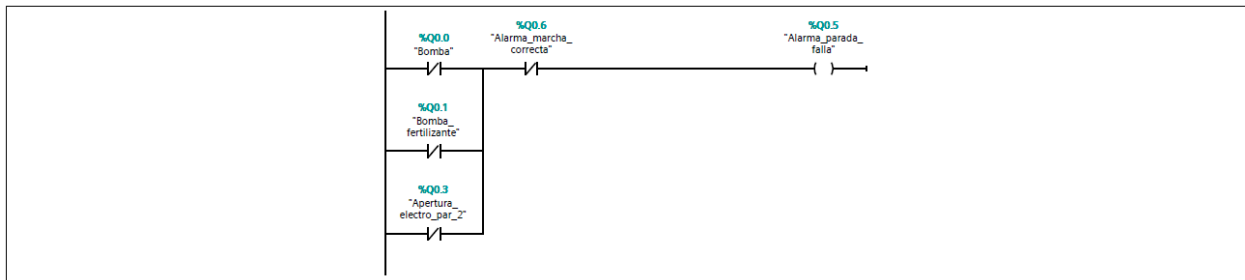
Network 1:



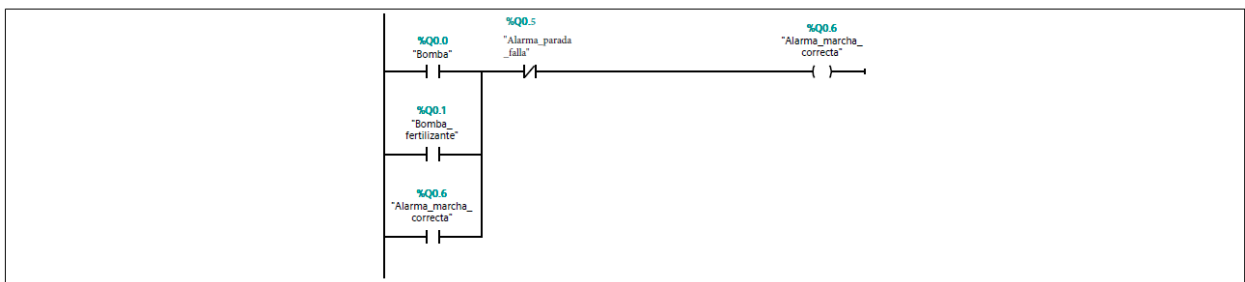
Network 2:



Network 3:



Network 4:



Anexo 4: Certificado de traducción del resumen

CERTIFICACION DE TRADUCCION

Loja, 03 de enero 2024

Susana Guadalupe Mendoza Prado
Licenciada en Ciencias de la Educación, idioma inglés

Certifico:

Que la traducción al idioma inglés del resumen de la tesis denominada "Diseño de un sistema automático de fertirriego para la finca "Los Limos" ubicada en el sector "La Capilla" de la parroquia El Tambo", correspondiente a la señorita Gladys Daniela Songor Juncay, portador de la cédula de identidad nro. 1105537938, ha sido revisado y supervisado según se me ha solicitado, por lo cual cumple con la correcta traducción al idioma inglés.

Esto es lo que puedo mencionar y certificar en honor a la verdad para fines pertinentes.



Lic. Susana Guadalupe Mendoza Prado
C.I.