



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO CON
MONITOREO LOCAL USANDO UNA TOUCH Y
CONTROL REMOTO INALÁMBRICO VIA GSM
(ARDUINO OPEN SOURCE) PARA EL MEJORAMIENTO
DENTRO DEL CAMPO AGRÍCOLA EN ASOFRUT DE LA
CIUDAD DE AMBATO”**

**CALLE ZAMBRANO FRANCIS ANDRÉS
GAIBOR VISTIN JOHN XAVIER**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: Propuesta tecnológica

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Riobamba–Ecuador

2017

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2016-09-29

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

CALLE ZAMBRANO FRANCIS ANDRÉS

Titulado:

**“AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO CON MONITOREO
LOCAL USANDO UNA TOUCH Y CONTROL REMOTO INALÁMBRICO VIA
GSM (ARDUINO OPEN SOURCE) PARA EL MEJORAMIENTO DENTRO
DEL CAMPO AGRÍCOLA EN ASOFRUT DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Eduardo Francisco García Cabezas
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos
ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2016-09-29

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

GAIBOR VISTIN JOHN XAVIER

Titulado:

**“AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO CON MONITOREO
LOCAL USANDO UNA TOUCH Y CONTROL REMOTO INALÁMBRICO VIA
GSM (ARDUINO OPEN SOURCE) PARA EL MEJORAMIENTO DENTRO
DEL CAMPO AGRÍCOLA EN ASOFRUT DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Eduardo Francisco García Cabezas
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos
ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CALLE ZAMBRANO FRANCIS ANDRÉS

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO CON MONITOREO LOCAL USANDO UNA TOUCH Y CONTROL REMOTO INALÁMBRICO VIA GSM (ARDUINO OPEN SOURCE) PARA EL MEJORAMIENTO DENTRO DEL CAMPO AGRÍCOLA EN ASOFRUT DE LA CIUDAD DE AMBATO”

Fecha de Examinación: 2017-08-15

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Homero Almendariz Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Eduardo Francisco García Cabezas DIRECTOR			
Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Homero Almendariz Puente
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GAIBOR VISTIN JOHN XAVIER

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO CON MONITOREO LOCAL USANDO UNA TOUCH Y CONTROL REMOTO INALÁMBRICO VIA GSM (ARDUINO OPEN SOURCE) PARA EL MEJORAMIENTO DENTRO DEL CAMPO AGRÍCOLA EN ASOFRUT DE LA CIUDAD DE AMBATO”

Fecha de Examinación: 2017-08-15

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Homero Almendariz Puente PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Eduardo Francisco García Cabezas DIRECTOR			
Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Homero Almendariz Puente
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, CALLE ZAMBRANO FRANCIS ANDRÉS y GAIBOR VISTIN JOHN XAVIER, egresados de la Carrera de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, autores del proyecto de titulación denominado **“AUTOMATIZACION DE UN SISTEMA DE RIEGO CON MONITOREO LOCAL USANDO UNA TOUCH Y CONTROL REMOTO INALAMBRICO VIA GSM (ARDUINO OPEN SOURCE) PARA EL MEJORAMIENTO DENTRO DEL CAMPO AGRÍCOLA EN ASOFRUT DE LA CIUDAD DE AMBATO”**, nos responsabilizamos en su totalidad del contenido en su parte intelectual y técnica, y me someto a cualquier disposición legal en caso de no cumplir con este precepto.

Calle Zambrano Francis Andrés
Cédula de Identidad: 070657601-4

Gaibor Vistin John Xavier
Cédula de Identidad: 210098215-2

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Francis Andrés Calle Zambrano Y John Xavier Gaibor Vistin, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Calle Zambrano Francis Andrés

Cédula de Identidad: 070657601-4

Gaibor Vistin John Xavier

Cédula de Identidad: 210098215-2

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por haberme dado la fortaleza y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Calle Zambrano Francis Andrés

El presente trabajo lo dedico a mi gran amiga, mi madre Luz Malliquinga por ser el pilar incondicional en mi vida, por ser mi ejemplo de lucha y fortaleza para afrontar los retos de la vida.

Gaibor Vistin John Xavier

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fortaleza para lograr mis metas, a mi familia por brindarme todo el cariño y confianza para ver culminada una meta más de mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de ser profesional y ser una persona útil a la sociedad.

Calle Zambrano Francis Andrés

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Mecánica y a mi querida Escuela de Ingeniería Industrial gracias por haberme permitido formarme en lo que tanto me apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso de aprendizaje y de manera especial al Ing. Jhonny Orozco, director de tesis y al Ing. Jesús Brito, asesor de tesis los mismos que han contribuido con sus conocimientos para la conformación de este trabajo de titulación, que consolida la culminación de mi paso por la Universidad

Gaibor Vistin John Xavier

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION.	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación	3
1.3.1 <i>Justificación teórica.</i>	3
1.3.2 <i>Justificación metodológica.</i>	3
1.3.3 <i>Justificación práctica.</i>	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general.</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos:</i>	4
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Riego.....	5
2.1.1 <i>Métodos de Riego.</i>	5
2.1.2 <i>Diseño hidráulico.</i>	7
2.2 Principios para el diseño, tramos de tubería a considerar.....	7
2.2.1 <i>Cálculo de las pérdidas de carga.</i>	8
2.2.2 <i>Elementos de un sistema de riego.</i>	8
2.2.3 <i>Accesorios (Fittings).</i>	10
2.3 Sistemas automatizados de riego	14
2.3.1 <i>Domótica.</i>	14
2.4 Tecnología GSM.....	16
2.4.1 <i>Evolución de la tecnología GSM.</i>	16
2.4.2 <i>La tercera generación.</i>	17
2.4.3 <i>Subsistemas de la red de telefonía móvil GSM.</i>	17
2.4.4 <i>Nodos de la red GSM.</i>	18
2.4.5 <i>Interfaz GSM.</i>	18
2.4.7 <i>Teleservicios.</i>	20
2.4.8 <i>Servicio SMS.</i>	21
2.5 Dispositivos de automatización	21
2.5.1 <i>Programmable Logic Controller (PLC) o Controlador Lógico Programable</i>	21
2.5.2 <i>Simatic HMI Basic Panels.</i>	22
3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO, DISEÑO HIDRÁULICO, SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO.	
3.1 Criterios de selección del sistema de riego óptimo.....	24
3.1.1 <i>Reconocimiento del área.</i>	24
3.1.2 <i>Selección del sistema.</i>	26
3.1.3 <i>Diseño hidráulico.</i>	26
3.1.4 <i>Diseño de la red de distribución.</i>	26

3.1.5	<i>Selección de bomba.</i>	38
3.1.6	<i>Selección de actuadores.</i>	40
3.2	Selección de componentes electrónicos para la automatización del sistema	40
3.2.1	<i>Determinación de entradas y salidas.</i>	40
3.2.2	<i>Selección del autómatas programable.</i>	41
3.2.3	<i>Selección panel HMI.</i>	42
3.2.4	<i>Selección de componentes electrónicos para la mando GSM del sistema ...</i>	43
3.3	Descripción del sistema a implementarse	45
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO.	
4.1	Implementación de tubería y válvulas solenoides	47
4.1.1	<i>Excavación de zanjas.</i>	47
4.1.2	<i>Instalación de tuberías.</i>	47
4.1.3	<i>Instalación del sistema de bombeo.</i>	50
4.1.4	<i>Instalación (conexión) de válvulas solenoides.</i>	51
4.2	Instalaciones eléctricas para la automatización del sistema	51
4.2.1	<i>Realización del mando local.</i>	51
4.2.2	<i>Realización del mando desde pantalla HMI.</i>	55
4.2.3	<i>Mando remoto por GSM/GPRS.</i>	60
4.3	Pruebas de funcionamiento.	64
4.3.1	<i>Pruebas del mando local.</i>	65
4.3.2	<i>Pruebas del mando desde pantalla HMI</i>	65
4.3.3	<i>Mando remoto por GSM/GPRS.</i>	65
4.4	Evaluación el mejoramiento del riego.	66
4.5	Manual de operación y mantenimiento del sistema de riego automatizado por goteo.	67
4.5.1	<i>Riego por goteo.</i>	67
4.5.2	<i>Ventajas del riego automatizado por goteo.</i>	67
4.5.1	<i>Operación.</i>	67
4.5.2	<i>Mantenimiento del sistema de riego automatizado por goteo.</i>	67
4.5.3	<i>Mantenimiento de las líneas de distribución.</i>	68
4.5.4	<i>Mantenimiento de válvulas.</i>	69
4.5.5	<i>Mantenimiento de la bomba.</i>	70
4.5.6	<i>Mantenimiento en el tanque reservorio.</i>	72
4.5.7	<i>Mantenimiento de la caja de control.</i>	72
5.	COSTOS DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL SISTEMA.	
5.1	Costos directos	74
5.2	Costos indirectos	74
5.3	Costo total	75
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	76
6.2	Recomendaciones	76

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-3. Datos específicos del terreno	25
Tabla 2-3. Datos por parcelas	25
Tabla 3-3. Diámetros normalizados de tuberías laterales	28
Tabla 4-3. Calculo de caudales y numero de goteros	29
Tabla 5-3. Daiámetro de tubería	30
Tabla 6-3. Rugosidad absoluta de materiales	33
Tabla 7-3. Datos tubería principal	34
Tabla 8-3. Datos tubería principal	35
Tabla 9-3. Datos tubería principal	36
Tabla 10-3. Accesorios	37
Tabla 11-3. Características bomba Paolo.....	39
Tabla 12-3. Entradas y salidas del sistema de riego	41
Tabla 13-3. Características.....	42
Tabla 14-3. Características.....	42
Tabla 15-3. Materiales y equipos	43
Tabla 16-3. Características.....	44
Tabla 17-3. Características.....	45
Tabla 1-4. Asignación de E/S y memorias para el PLC.	54
Tabla 2-4. Asignación de variables HMI.....	58
Tabla 3-4. Codigos de activación.....	63
Tabla 4-4. Elementos sometidos a pruebas.....	64
Tabla 5-4. Mediciones Humedad vs Tempertura.....	66
Tabla 1-5. Costos directos.....	74
Tabla 2-5. Costos Indirectos.	74
Tabla 3-5. Costos totales.....	75

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1-2. Riego por inundación.....	5
Figura 2-2. Riego por surcos.	6
Figura 3-2. Riego por goteo.....	6
Figura 4-2. Sistemas de riego	8
Figura 5-2. Tubo de PVC.....	9
Figura 6-2. Tubería de (PEBD)	9
Figura 7-2. Tubería de (PEAD).	10
Figura 8-2. Tubería de aluminio	10
Figura 9-2. Accesorios.....	11
Figura 10-2. Válvulas	11
Figura 11-2. Electroválvula de riego.	12
Figura 12-2. Electroválvula de acción directa.	12
Figura 13-2. Electroválvula de acción indirecta.	13
Figura 14-2. Bomba centrífuga.....	13
Figura 15-2. Sistema automatizado de riego.	14
Figura 16-2. Red WWAN.....	16
Figura 17-2. Arquitectura de una red GSM (1/2).	17
Figura 18-2. Frame GSM.....	19
Figura 19-2. Teleservicios GSM.....	21
Figura 20-2. Tecnología GSM (1/2).	21
Figura 21-2. PLC s7-1200	22
Figura 22-2. HMI KTP400 Basic Mono PN.....	23
Figura 1-3. Mapa de la cobertura vegetal y uso de suelo de la parroquia Huachi.....	24
Figura 2-3. Datos del área de terreno.....	25
Figura 3-3. Red de distribución	27
Figura 4-3. Distancia de gotero a gotero	28
Figura 5-3. Altura estática de succión.	38
Figura 6-3. Bomba Paolo de 2HP	39
Figura 7-3. Válvula seleccionada	40
Figura 8-3. PLC S7-1200 1214 DC/DC/ Rly.....	41
Figura 9-3. Panel HMI KTP 400.....	42
Figura 10-3. Tarjeta Shield sim GPRS/GSM 900.....	44
Figura 11-3. Arduino uno	44
Figura 12-3. Módulo relé	45
Figura 1-4. Zanja tubería principal	47
Figura 2-4. Salida del cuarto de bomba	48
Figura 3-4. Tubería primaria.....	48
Figura 4-4. Accesorios.....	48
Figura 5-4. Válvula de bola	49
Figura 6-4. Válvula solenoide.....	49

Figura 7-4. Tubería terciaria	49
Figura 8-4. Instalación mangueras flexibles	50
Figura 9-4. Separación de mangueras flexibles	50
Figura 10-4. Detalles de instalación	50
Figura 11-4. Bomba Paolo de 2HP instalada	51
Figura 12-4. Distribución de válvulas.	51
Figura 13-4. Diagrama eléctrico mando local	52
Figura 14-4. Caja de control	53
Figura 15-4. Bloques de programación	55
Figura 16-4. Puertos del panel operador	55
Figura 17-4. Conexión de la fuente de alimentación	56
Figura 18-4. Interfaz HMI - PLC	57
Figura 19-4. Bloques de programación HMI.....	58
Figura 20-4. Pantalla de presentación.....	59
Figura 21-4. Pantalla de inicio	60
Figura 22-4. Pantalla de simulación	60
Figura 23-4. Conexión Arduino UNO + Shield GPRS/GSM	61
Figura 24-4. Conexión Shield GPRS/GSM + módulo relé	61
Figura 25-4. Conexión módulo relé + PLC	61
Figura 26-4. Montaje Arduino UNO + Shield GPRS/GSM	62
Figura 27-4. Programacion arduino	62
Figura 28-4. Conexión relés	63
Figura 29-4. Envío de mensaje	64
Figura 30-4. Humedad vs Temperatura	66
Figura 31-4. Tuberías del sistema.....	68
Figura 31-4. Válvulas de bola y solenoides	69
Figura 33-4. Bomba	70
Figura 34-4. Reservorio	72
Figura 35-4. Caja de control	73

LISTA DE GRÁFICOS

	Pag.
Gráfico 1-3. Diagrama de Moody	33

LISTA DE ABREVIACIONES

HMI	Interfaz Hombre Maquina (Human Machine Interface)
PLC	Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller)
CPU	Unidad Central de Procesamiento
DIN	Instituto Alemán de Normalización (Deursches Istitut Für Normung)
PC	Computadora Personal
TIA Portal	Portal Automático Totalmente Integrado (Totally Integrated Automation Portal)
V	Voltaje
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Directa
GND	Tierra (Ground)
RLY	Relay
HP	Caballos de potencia
BOOL	Booleano (lógica binaria)
I%	Entradas PLC
Q%	Salidas PLC
M%	Memorias PLC

LISTA DE ANEXOS

- A** Programación PLC
- B** Programación Arduino|

RESUMEN

El presente trabajo describe el proceso de automatización de un sistema de riego con monitoreo local y control remoto inalámbrico como propuesta de innovación tecnológica dentro del campo agrícola, desarrollada como prototipo para las plantaciones de ASOFRUT ubicada en la ciudad de Ambato que cuenta con una extensión 3200 m² en los que están distribuidos árboles y plantas frutales de manzana, durazno, claudia y mora. Para el desarrollo del sistema de riego automático, se seleccionó un riego por goteo el que es de forma localizado, directo a la planta el cual se reduce el desperdicio de agua, método más eficiente. Una vez seleccionado el método de riego se procedió a realizar un diseño hidráulico para escoger de forma adecuada los diámetros de la tubería, la bomba y calcular las pérdidas en la red. Tomando en cuenta los elementos de riego se derivó a su automatización con la ayuda PLC S7-1200 1214c que con sus características técnicas fue el que satisfacía los requerimientos; el mismo controla el accionamiento de válvulas solenoides que están colocadas estratégicamente en cada plantación, el mismo que es comandado por pulsadores y adicional se implementó un interfaz hombre máquina basado en una touch panel SIMATIC KTP400 en el que se realizó pantallas de mando y se elaboró una simulación del funcionamiento de los elementos. Adicionalmente se realizó un mando remoto inalámbrico con ayuda de la tecnología GSM sustentada en la plataforma de Arduino que gobierna un microcontrolador Arduino uno, que relacionado con un shield GPRS/GSM sim 900, consiste en el envío de mensajes de texto desde un dispositivo móvil y este es detectado por dicha shield que mediante códigos AT comunica al Arduino el que se encuentran conectados en paralelo al conjunto de pulsadores para la activación del PLC. Se comprobó el mejoramiento de riego en las plantaciones mediante una comparación de niveles de humedad en los cuales se analizó las mediciones en las horas de mayor incidencia solar y se obtuvo un promedio de 66% de humedad a una temperatura de 21,3 °C. Se recomienda para la conservación del sistema dar uso al manual de mantenimiento propuesto.

PALABRAS CLAVE: <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>< INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)><MENSAJES DE SERVICIO CORTO (SMS)>< AUTOMATIZACIÓN >< SISTEMA GLOBAL DE COMUNICACIONES MÓVILES (GSM)>

ABSTRAC

This research describes the automation process of a local irrigation system using a wireless remote control which is a proposal of technical innovation in the agricultural field. This system is developed as a prototype for the ASOFRUT enterprise located in Ambato city, it has an extension of 3200 square meters. In this area there are trees and fruit plants such as: apple, peach, plum, and blackberry. For the automatic irrigation system the localized drop irrigation was implemented, this goes directly to the plant to avoid water waste; it is the most efficient system. Once the irrigation method was selected, a hydraulic design was chosen to get the appropriate pipe diameters, the pump, and calculate the losses in the supply system. By taking into consideration the irrigation elements, the automatization was performed with the help of a S7-1200 1214c Programmable Logic Controller (PLC) which fulfilled the requirements for its technical characteristics, this controls the solenoid valves activation which are located strategically in each plantation, and the commands are taken by pushbuttons. Additionally, a User Man Interface was implemented based on a SIMTIC KTP400 touch panel which was used to make control screens and the elements operation simulation. Furthermore, a wireless remote control was made with the help of the Global Communications System (GCS) sustained in the Arduino platform which governs a microcontroller Arduino one. This is related to a GPRS/GSM sim 900 shield which consists on sending text messages from a mobile device. It is detected by the shield that communicates with Arduino with AT codes. This device is connected parallel to the pushbuttons for the PLC activation. The improvement in the plantations irrigation was proved through a comparison of humidity levels, the measurements in the hours of highest solar incidence were analyzed, and the results were an average of 66% of humidity and a temperature of 21,3° Celsius. It is recommended to use the maintenance manual proposed to conserve the system.

KEY WORDS: PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC), HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI), SHORT SERVICE MESSAGES, AUTOMATION, MOBILE GLOBAL COMMUNICATION SYSTEM (GSM)

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCION.

1.1 Antecedentes

El agua es el principal constituyente de todos los organismos vivos; en las plantas representa el 80 % o más de su peso. Además, el agua es el medio de transporte de los nutrientes provenientes del suelo y en el proceso fotosintético, el agua se combina con el dióxido de carbono para constituir la biomasa. A pesar de esto el mayor consumo del agua no es para la formación de los tejidos, sino para contrarrestar el proceso de transpiración, que en la mayoría de los cultivos se estima el 95 % del consumo de este vital elemento. (<http://iessantamaria.cat.infed.edu.ar/sitio/upload/Sistema%20de%20Riego.pdf>)

Durante las décadas recientes la agricultura bajo riego ha sido una fuente de producción de alimentos muy importante. Los mayores rendimientos de los cultivos que pueden obtenerse en regadío son más del doble que los mayores que pueden obtenerse en. Incluso la agricultura bajo riego con bajos insumos es más productiva que la agricultura de secano con altos insumos (<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/y3918S/Y3918S00.pdf>).

Hay diferentes métodos de riego entre los más importantes está el riego por goteo que es muy utilizado por su bajo coste, este método consiste en llevar agua mediante tuberías de plástico de diámetros pequeños a lo largo de las hileras de las plantas para proporcionar agua de manera lenta y localizada gota a gota, este método fue desarrollado en Israel por el Ingeniero Simja Blass.

Diversos son los trabajos realizados con tecnologías de comunicaciones inalámbricas aplicadas a sistemas de riego, estas tecnologías van desde las que utilizan luz infrarroja para cortos alcances, las comunicaciones punto a punto, hasta la red de área personal inalámbrica (WPAN) de corto alcance. Las comunicaciones punto a multipunto, tales como Bluetooth y ZigBee, las redes de área local de múltiples saltos, la red de área local inalámbrica (WLAN), hasta los sistemas de telefonía celular de larga distancia, como GSM/GPRS y CDMA (Ojha, Misra & Raghuwanshi, 2015).

1.2 Planteamiento del problema

En Ecuador la provincia de Tungurahua posee un clima único y adecuado para el cultivo de diferentes frutas, los principales sectores de producción son; Ambato, Cevallos, Tisaleo, Quero y Pillaro.

En el cantón Ambato se destaca significativamente la parroquia de Huachi Grande por sus extensas áreas de cultivos, es en esta parroquia que en el año de 1981 surgió la necesidad de crear una asociación para el desarrollo conjunto de los fruticultores del sector, con 76 socios se crea oficialmente la Asociación de Fruticultores de Tungurahua (ASOFRUT) según el acuerdo ministerial del entonces Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) numero 0161.

El problema nace por la falta de tiempo del fruticultor que utiliza un método de riego manual por inundación que genera una mala distribución del recurso hídrico en las plantaciones, además de un desperdicio de agua.

La labor de riego implica que los dueños estén presentes durante todo el tiempo que tarda regar cada uno de los sembríos. El fruticultor además de realizar labores de sembrío, riego y cosecha, también se dedica a otras actividades como lo es la comercialización de dichos productos inclusive en muchos casos tienen otras fuentes de ingreso que requieren su presencia en diversos lugares.

El presente proyecto tiene como finalidad tecnificar la actividad de riego en un cultivo multi-frutal en las plantaciones de uno de los socios de la Asociación de Fruticultores de Tungurahua (ASOFRUT) implementando un método de riego automatizado por goteo que consiste en proporcionar la cantidad de agua justa directamente en la zona radicular de las plantas, este sistema estará controlado mediante una touch y controlado inalámbricamente vía GSM.

El fruticultor con la implementación de este sistema automatizado podrá programar el riego cada cierto intervalo de tiempo además de poder cancelar la programación en días lluviosos desde cualquier parte de donde se encuentre con tan solo él envió de un mensaje de texto.

Con la implementación del sistema automático de riego se optimizarán recursos de personal, no se necesitará que el fruticultor se traslade a las plantaciones lo que conlleva a un ahorro significativo de dinero. Otro factor importante es la reducción de tiempo de trabajo.

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación teórica.* Debido a que los sembríos se realizan en zonas rurales, la distancia y el tiempo para acceder a ellos son de vital importancia, la implementación de un sistema de riego automático permite controlar mediante programaciones la hora de riego sin necesidad de la presencia del fruticultor, este sistema se puede controlar a gran distancia con el envío de mensajes de texto para iniciar o cancelar en el caso de presencia de lluvia el riego en las plantaciones.

1.3.2 *Justificación metodológica.* La necesidad de que el sembrío se mantenga siempre en condiciones óptimas de humedad, implica que exista un control adecuado de la zona, y que no requiera la presencia de una persona para esto. De allí nace el requerimiento de que se implemente un sistema automático que mediante un controlador lógico programable (PLC), que se encargue de esta labor, permitiendo así al fruticultor dedicar más tiempo a sus diferentes actividades.

También es necesario para complementar al sistema la elaboración de un manual que permita conocer su funcionamiento, características, utilización, programación, etc. Para mayor facilidad del usuario y en caso de presentarse algún inconveniente el manual tendrá el adecuado instructivo para solucionarlos.

1.3.3 *Justificación práctica.* La implementación de éste sistema ayudará a mejorar las labores del fruticultor que podrá controlar el recurso hídrico de mejor manera sin generar mayor desperdicio.

La implementación de este sistema dará a las personas un indicio para encaminarse al avance tecnológico ya que muchas veces en zonas rurales se tiene desconocimiento del gran potencial de ayuda que es hoy en día la tecnología.

Para los socios de Asofrut este sistema de riego automatizado representará un ahorro de recursos (tiempo, dinero y personal), debido a que los socios podrán realizar múltiples actividades, ya que el sistema puede funcionar mediante un controlador lógico programable y además puede ser controlado con el uso de mensajes a gran distancia.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general.* Automatizar un sistema de riego con monitoreo local usando una touch y control remoto inalámbrico vía gsm (Arduino open source) para el mejoramiento dentro del campo agrícola en Asofrut de la ciudad de Ambato.

1.4.2 *Objetivos específicos:*

- Diseñar el sistema de riego para una plantación multi-frutal piloto.
- Implementar el monitoreo y control local del sistema de riego por medio de un PLC y una pantalla touch empleada como HMI.
- Realizar el control del sistema de riego remotamente usando de la tecnología GSM.
- Evaluar el mejoramiento del riego en el área piloto.
- Diseñar un manual para la adecuada utilización del sistema tecnificado de riego.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Riego

Se denomina sistema de riego al conjunto de elementos que permiten la aplicación de agua eficiente en una respectiva área de suelo con frecuencia apropiada en cantidades necesarias y en el momento oportuno.

2.1.1 Métodos de Riego. Los métodos principales usados hoy en día para el riego de los campos de cultivo son: inundación, surcos, goteo y riego por aspersores.

2.1.1.1 Inundación o sumersión. Es un sistema de irrigación que consiste en inundar el terreno con una capa de agua, es el más usado y más antiguo, tiene el inconveniente de desperdiciar agua especialmente en campos abiertos debido a la evaporación se dice que la pérdida es del 25% aproximadamente, esto sin contar con las filtraciones o con las roturas de los conductos.

El agua proviene de un centro de acopio que en muchos casos son pantanos, embalses o tanques especialmente contruidos para este propósito, después se distribuye a través de grandes canales, el agua llega por gravedad a las parcelas y terrenos.

Figura 1-2. Riego por inundación.



Fuente: <https://goo.gl/EjzTZe>

2.1.1.2 *Riego por surcos.* Este método consiste en hacer correr el agua por gravedad desde una acequia madre alrededor de pequeñas zanjas o surcos que se forman entre las hileras del cultivo.

Los canales son realizados por un trabajador, del tamaño de la apertura de la fuente de agua y del tamaño de los surcos dependerá la cantidad de agua que se entregue al cultivo.

En algunos casos se emplean tuberías al inicio de los surcos que tienen orificios o válvulas por donde sale el agua.

Figura 2-2. Riego por surcos.



Fuente: <https://goo.gl/WG9eA4>

2.1.1.3 *Riego por goteo.* Es un tipo de riego localizado, el agua es aplicada en forma de gotas a través de emisores o de mangueras perforadas, la descarga fluctúa entre 2 a 4 litros por hora. Este método suministra pequeñas cantidades de humedad a la raíz de cada planta, este método garantiza una mínima pérdida de agua y evaporación

Figura 3-2. Riego por goteo.



Fuente: <https://goo.gl/suKW7z>

Entre sus características más importantes están:

- Permite una considerable reducción de la evaporación del suelo y de las pérdidas por percolación, debido a esto se reduce significativamente las necesidades brutas de agua.
- El agua se infiltra en el terreno, luego se riega en varias direcciones principalmente en dirección vertical y horizontal.
- Solo se moja la parte que se aplica el goteo en contraste solo se humedece el sistema radicular de la planta. (tesis diseño agronómico 21).

Existen distintos tipos de riego por goteo que se diferencian según su método de aplicación entre los más importantes están:

- Subterráneo: permite el aporte de agua y nutrientes a la planta de forma localizada y bajo la superficie, optimizando el crecimiento de raíces y plantas.
- Superficial: ampliamente utilizado por su amplia flexibilidad.
- Aéreo: se emplea en invernaderos, el agua cae por gravedad al pie de la planta.

2.1.2 *Diseño hidráulico.* Con ayuda del diseño hidráulico se calculan los caudales, componentes y dimensiones de la red de la instalación de riego.

En el diseño hidráulico se calcularán las pérdidas provocadas por accesorios y longitud de la tubería según formulas y ecuaciones utilizadas en hidráulica.

2.2 Principios para el diseño, tramos de tubería a considerar.

Para llevar a cabo el diseño de las tuberías que componen las distintas líneas de proceso se dividirán éstas en tramos, cada uno de los cuales estará formado por la porción de línea comprendida entre dos equipos consecutivos. De esta forma los diferentes aspectos a calcular (diámetro óptimo de la conducción, pérdidas de carga, etc.) se evaluarán independientemente para cada uno de estos tramos. La definición y descripción de los

diferentes tramos de tubería se realizará sobre el correspondiente diagrama de flujo, usándose para designar cada uno de ellos los nombres de los equipos que constituyen su principio y su final.

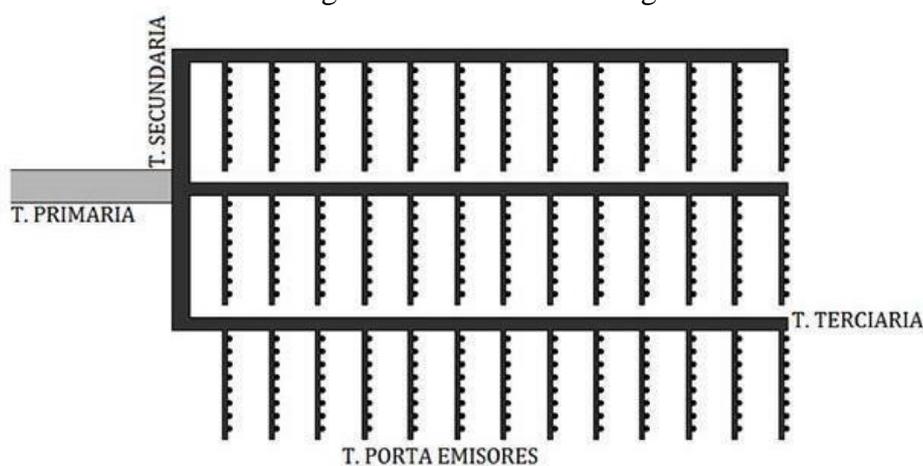
2.2.1 *Cálculo de las pérdidas de carga.* El rozamiento de un fluido con las paredes de la tubería por la que circula provoca en el mismo una caída de presión. Conocer el valor de esta caída de presión es necesario de cara al cálculo de las bombas, pero también para comprobar que el diámetro elegido para la conducción es suficiente, pues de ser éste muy pequeño la pérdida de carga que se produzca será muy elevada. En este sentido se consideran valores razonables de caída de presión en una conducción los siguientes (para caudales de 0 a 60 m³ /h):

- Zona de aspiración de bombas: 0,40 kg/cm² (0.39 bar)
- Zona de impulsión de bombas: 0,6 a 0,8 kg/cm² (0,59 a 0,78 bar).

2.2.2 *Elementos de un sistema de riego.* Una red de suministro para riego por goteo está compuesta por 3 tuberías principales que son:

- Tubería Primaria.
- Tubería Secundaria.
- Tubería Terciaria.

Figura 4-2. Sistemas de riego



Fuente: <https://goo.gl/JDmCxu>

Los materiales más usuales de las tuberías son las siguientes:

2.2.2.1 *Policloruro de vinilo (PVC)*: Utilizado normalmente en las redes primaria y secundaria, puede utilizarse también como tubería terciaria. Se fabrican con dos tipos de uniones, por encolado y por junta elástica.

La ventaja que tiene es que es más resistente que el PE a los esfuerzos provocados por el agua al pasar por las tuberías, pero resulta ser un material frágil que soporta mal los golpes. Se suele enterrar para evitar roturas accidentales y el efecto que tiene la radiación ultravioleta sobre este material.

Figura 5-2. Tubo de PVC.



Fuente: <https://goo.gl/jkPhMb>

2.2.2.2 *Polietileno de baja densidad (PEBD)*: Se utiliza para el montaje de la red terciaria y los porta emisores.

Son más flexibles y menos frágiles que el PVC por lo que se usan para las partes de la instalación que están al aire libre.

Figura 6-2. Tubería de (PEBD)



Fuente: <https://goo.gl/pUUDtR>

2.2.2.3 *Polietileno de alta densidad (PEAD)*: Son tubos más rígidos y duros que los de PELD, con mayor resistencia a temperaturas extremas y a agentes químicos.

Figura 7-2. Tubería de (PEAD).



Fuente: <https://goo.gl/jSaAbu>

2.2.2.4 *Aluminio*: Su uso está limitado a las instalaciones de riego por aspersión.

Figura 8-2. Tubería de aluminio



Fuente: <https://goo.gl/Tw7cqg>

2.2.2.5 *Selección del diámetro de tubería*. La selección de los diámetros de la tubería suele realizarse en función del caudal, para lo cual se emplean las siguientes cartas:

El diámetro de la tubería a emplearse en el sistema se obtiene en función del caudal y bajo los siguientes parámetros:

- Para mínimas pérdidas; mayor diámetro de tubería.
- Para mínimos costos; menor diámetro de tubería.

2.2.3 *Accesorios (Fittings)*. Se entienden por fittings a los accesorios usados para unir tuberías en virtud de la geometría de instalación.

Estos se fabrican de diversos materiales (PVC, PE, bronce, aluminio, acero, fundición, hormigón, etc.) teniendo gran cantidad de formas y dimensiones. Para mayor información basta recurrir a un catálogo especializado donde se encuentran sus características físicas (diámetros, longitudes, pesos, etc.).

Figura 9-2. Accesorios.



Fuente: <https://goo.gl/AjcDj9>

2.2.3.1 Válvulas. En todo sistema de riego es necesario instalar distintos tipos de válvulas y aparatos de control para garantizar su funcionamiento adecuado, en este apartado nos proponemos describir el funcionamiento, ubicación y mantenimiento para garantizar que cumplan con eficiencia su trabajo.

Figura 10-2. Válvulas



Fuente: <https://goo.gl/AhZ8Uc>

2.2.3.2 Electroválvula. También conocida como válvula solenoide sirven para controlar el paso de flujo (on-off), pueden soportar líquidos como gas, aire comprimido, combustible vapor entre otros, pueden ser de dos hasta cinco vías.

Figura 11-2. Electroválvula de riego.



Fuente: <https://goo.gl/1WrcJv>

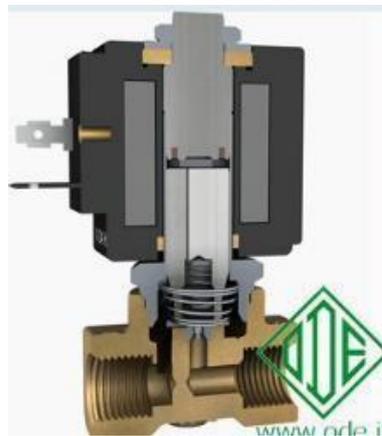
Funcionamiento.

Acción directa. El comando eléctrico acciona directamente la apertura o cierre de la válvula, por medio de un embolo.

La diferencia entre la válvula N.C. a la N.A. de acción directa es que, cuando la válvula N.C. no está energizada el embolo permanece en una posición que bloquea el orificio de tal manera que impide el flujo del fluido, y cuando se energiza la bobina el embolo es magnetizado de tal manera que se desbloquea el orificio y de esta manera fluye el fluido

La N.A. cuando la bobina no está energizada mediante la acción de un resorte el embolo se mantiene en tal posición que siempre está abierta y cuando se energiza la bobina la acción es hacia abajo empujando el resorte haciendo que cierre el orificio e impida que fluya el fluido.

Figura 12-2. Electroválvula de acción directa.



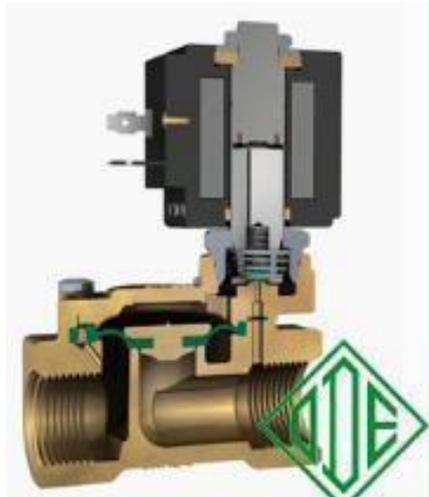
Fuente: <https://goo.gl/qEcyuC>

Acción Indirecta

La característica principal de la válvula del tipo acción indirecta es que cuando recibe el comando eléctrico se acciona el embolo el cual permite a su vez como segunda acción, o acción indirecta, que el diafragma principal se abra o se cierre, en una acción indirecta.

Esta serie de válvulas necesita una presión mínima para poder funcionar correctamente. También en esta serie de comando indirecto tenemos válvulas normalmente cerradas y válvulas normalmente abiertas.

Figura 13-2. Electroválvula de acción indirecta.



Fuente: <https://goo.gl/qEcyuC>

2.2.3.3 Bomba centrífuga. Son elementos que mueven una gran cantidad de volumen de líquido transformando la energía mecánica rotatoria en energía hidráulica.

Figura 14-2. Bomba centrífuga.



Fuente: <https://goo.gl/9gzFCW>

Características.

- Existen bombas centrífugas de una y varias etapas, en las bombas de una etapa se pueden alcanzar presiones de hasta 5 atm, en las de varias etapas se pueden alcanzar hasta 25 atm de presión, dependiendo del número de etapas.
- Las bombas centrífugas sirven para el transporte de líquidos que contengan sólidos en suspensión, pero poco viscosos.
- Las bombas centrífugas de una etapa y monoblock, son ideales para movimientos de líquidos en general, con una profundidad máxima de aspiración de 7 m. ó 9 m.
- Estas bombas son adecuadas para bombear agua limpia, sin sólidos abrasivos

2.3 Sistemas automatizados de riego

Permite el riego eficiente y óptimo de agua en el suelo. Este compuesto por varios elementos que hacen que las operaciones sean automáticas para comprender un sistema automatizado en un proceso cotidiano se deberá entender conocimientos básicos necesarias que serán empleados en el proyecto.

2.3.1 Domótica. Es el uso simultáneo de tecnologías eléctricas, electrónicas aplicadas al control automático de espacios. Pueden estar compuestos por medios de redes externas e internas de comunicación cableadas o inalámbricas.

Figura 15-2. Sistema automatizado de riego.



Fuente: <http://q-ene.com/?p=1432>

El sistema domótico está compuesto por tres elementos principales:

Sensores: captan el cambio físico y transmiten esta información a una unidad de control.

Actuadores. Trabajan junto a la unidad de control, son de origen hidráulico neumático o eléctrico.

Unidad de control. Es el principal componente del sistema demótico en él se programan y se reciben órdenes de los demás elementos, está compuesto por interfaces necesarias para para presentar información como pantallas, monitor etc.

2.3.1.1 *Características del sistema domótico.* Pueden ser centralizados y descentralizados

- Centralizados. Todos los sensores son conectados a la entrada del controlador y los actuadores a la salida, debido a esto toda la información es controlada por la unidad central.
- Descentralizados. Los actuadores y sensores poseen sistema de autocontrol que permite la interacción directa de unos con otros.

2.3.1.2 *Tecnologías WWAN.* Permite a los usuarios establecer conexiones inalámbricas a través de redes remotas públicas o privadas, estas conexiones pueden mantenerse a través de áreas geográficas extensas, como ciudades o países, mediante el uso de antenas en varias ubicaciones o sistemas satélites que mantienen los proveedores de servicios inalámbricos.

Las tecnologías principales son:

- GSM (Global System for Mobile Communication)
- GPRS (General Packet Radio Service)
- UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)

Figura 16-2. Red WWAN.



Fuente: <https://goo.gl/9aXfqe>

2.4 Tecnología GSM

Las siglas GSM vienen, de las palabras anglosajonas Global System for Mobile communications.

Como su propio nombre indica, el GSM no es más que un estándar de comunicación para la telefonía móvil, implementado mediante la combinación de satélites y antenas terrestres.

Aunque su principal función es la telefonía, también el GSM permite la transmisión de datos por medio de sus canales, siempre y cuando estos se hallen libres.

Es un sistema digital, y al ser un estándar usado mundialmente, permite su uso en cualquier lugar con cobertura, incluso en ámbitos internacionales (el llamado roaming o itinerancia).

2.4.1 Evolución de la tecnología GSM. Los servicios de alta banda ancha están siendo disponibles a través de tecnologías que pertenecen a la segunda generación.

El desarrollo hacia la tercera generación está claramente trazado y trae consigo la posibilidad aplicaciones sofisticadas en multimedia y datos. El estándar GSM continuará evolucionando con sistemas inalámbricos y satelitales que ofrecen más y mejores servicios. Esto incluye alta velocidad, servicios de datos multimedia apoyando paralelamente el uso de servicios integrados con Internet y redes alámbricas.

2.4.2 *La tercera generación.* Es el término que se usa para la siguiente generación de sistemas móviles de comunicación. Este nuevo sistema provee mejores servicios a los ya existentes de voz, texto y datos. Los conceptos para los sistemas de tercera generación están siendo desarrollados por grupos globales como el Third Generation partner ship Project (3GPP). La visión de la asociación GSM de la tercera generación está basada en los estándares actuales de GSM, pero evoluciona al incluir una interface de radio adicional mejor adaptado con mayor velocidad y servicios de datos multimedia.

2.4.3 *Subsistemas de la red de telefonía móvil GSM.* Está compuesta por tres equipos que desempeñan funciones señaladas para poder ofrecer el servicio de telefonía móvil al usuario e interactuar con otras redes.

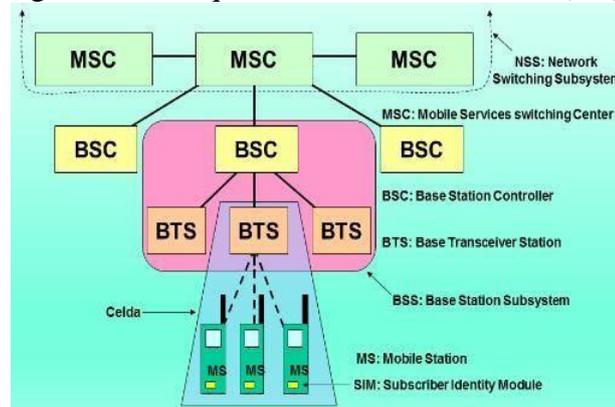
Los subsistemas se intercomunican entre ellos a través de diferentes interfaces mediante protocolos de señalización específicos

La comunicación entre el conjunto móvil y la estación base se realiza mediante la interface aire, también existe la interface A que es la encargada de la comunicación entre subsistemas de estación base y el subsistema de red.

Los tres subsistemas son:

- NSS. (subsistema de red y comunicación)
- BSS (Subsistema de estación base)
- MS (estación móvil)

Figura 17-2. Arquitectura de una red GSM (1/2).



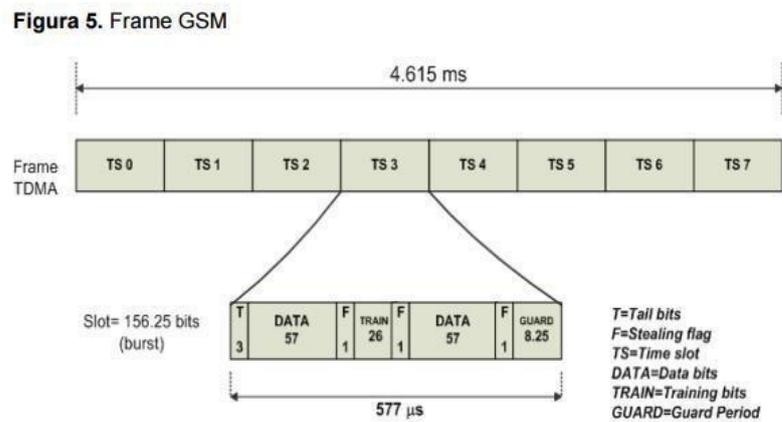
Fuente: <https://goo.gl/u5gjhm>

2.4.4 *Nodos de la red GSM.* Las funcionalidades de la red GSM se encuentran divididas entre: Las estaciones móviles (MS-Mobile Stations): terminales o dispositivos utilizados para que el usuario se comunique en la red celular, el subsistema de estaciones base (BSS-Base Station Subsystem). El BSS incluye dos tipos de elementos: La estación base transceptora (BTS-Base Transceiver Station) que maneja las interfaces de radio hacia la MS y la estación base controladora (BSC- Base Station Controller). Sus funciones son: codificación/decodificación de los canales, cifrado/descifrado del camino radio, medidas de intensidad de la señal, diversidad en la recepción, búsqueda del MS, recepción de las peticiones de canal desde las Mss. Sus funciones son entre otras: administrar los recursos de radio, supervisión de las estaciones base, gestión de la transmisión hacia las estaciones base, tras codificar y adaptar velocidades y localización de las estaciones móviles. El centro de conmutación móvil (MSC- Mobile Switching Center), el cual se encarga de establecer y mantener las llamadas que se hacen en la red, gestionar 37 handovers entre centrales, gestionar servicios complementarios y recuperación de datos de verificación y contabilidad. Las funciones relacionadas con el proceso de llamadas y abonados están implementadas en el sistema de conmutación, mientras que las funciones relacionadas con la radio se concentran en el sistema de estaciones base; todo ello está supervisado por el sistema de operación y mantenimiento.

2.4.5 *Interfaz GSM.* La arquitectura del sistema GSM incluye tres interfaces estándar utilizadas para la señalización dentro del sistema de conmutación: • La interfaz aire: Es la conexión entre la estación móvil (MS) y la estación base (BTS). La señalización en esta interfaz usa un sistema específico de protocolo jerarquizado para GSM que utiliza las capas 1, 2 y 3 del modelo de referencia OSI, dicho protocolo recibe el nombre de LAPDm (Protocolo de Acceso de Enlace sobre el Canal Dm). • La interfaz Abis: Es la conexión entre la BTS y el BSC y la señalización en esta interfaz es implementada como un esquema especial de la señalización por canal común, es decir uno de los canales se utiliza como canal de señalización según el protocolo de acceso de enlace sobre el canal D (LAPD). • La interfaz A: Es el enlace entre el sistema de conmutación y el sistema de estaciones base. La señalización se lleva a cabo según la parte de aplicación del sistema de estaciones base que gestiona la asignación y liberación de los recursos de radio, traspaso de llamadas, control de llamadas y gestión de la movilidad. Al ser un sistema híbrido (FM/TM), el sistema GSM organiza las transmisiones de radio, asignando portadoras (frecuencias centrales de los slots que se

sitúan cada 200 kHz) y timeslots, a los canales lógicos. La duración del Framees de 4.615 ms y cada uno es dividido en 8 time slots (como se muestra en la Figura 5)

Figura 18-2. Frame GSM



Fuente: <https://goo.gl/XkMufJ>

2.4.6 telefónico móvil es permitir al subscriptor comunicarse eficientemente.

Hay dos tipos de servicios:

Servicios básicos. Estos servicios están disponibles para todos los usuarios de la red celular. Por ejemplo, la posibilidad de realizar una llamada de voz es un servicio básico.

Servicios suplementarios. Son servicios adicionales que están disponibles para algunos usuarios de la red celular, a su vez mejoran los servicios anteriores; se enlistan algunos de ellos:

- Identificación de llamada.
- Redireccionamiento de llamada (incondicional, por ocupado, por no obtener respuesta, por saturación).
- Indicación de llamada en espera.
- Almacenamiento de llamada.
- Información de tarificación.
- Restricción de llamadas (salientes, entrantes, con salida internacional).
- Mensaje de voz.
- Conferencia.

- Marcación abreviada.
- Rellamada por buzón de voz

Adicionalmente, los servicios básicos de la red celular pueden ser divididos en dos principales categorías:

- Teleservicios
- Servicios portadores

2.4.7 *Teleservicios.* Son aplicaciones operativas ofrecidas por la red a sus abonados. Estas utilizan las posibilidades que ofrecen los servicios portadores. Permiten la transmisión de información de usuario a usuario, enmarcada dentro de una aplicación (usualmente a través de voz, fax, datos o SMS). La telefonía es el teleservicio más importante.

Permite los tipos de comunicación siguiente:

- Comunicación entre dos aparatos móviles.
- Comunicación entre un aparato móvil y otro fijo a través de cualquier número de redes.

El servicio de llamada urgente genera automáticamente una llamada con destino a un servicio de urgencia cuando el usuario pulsa en su aparato una tecla especialmente dedicada a esta función.

Asimismo, puede utilizar el servicio de fax por medio de un aparato.

El GSM propone igualmente un servicio de intercambio de mensajes alfanumérico corto (140 caracteres como máximo) tanto en emisión como en recepción. Puede ser utilizado en emisión por todos aquellos equipos terminales capaces de emitir mensajes alfanuméricos hacia una Terminal GSM.

Este servicio se puede utilizar de dos modos diferentes: punto a punto y punto-multipunto. La tabla: 2.1., ofrece la lista de servicios GSM, mientras que en la tabla 2.2 presenta los atributos que pueden asociarse a dichos teleservicios que como se puede observar, son diferentes a los servicios portadores.

Figura 19-2. Teleservicios GSM

Tipo de Información	Servicios ofrecidos
Palabra	Telefonía, llamadas de urgencia
Datos	Mensajes punto a punto
Textos cortos	Transmisión de mensajes cortos alfanuméricos
Gráfica	Fax

Fuente: <https://goo.gl/XkMufJ>

2.4.8 Servicio SMS. Es un servicio de mensajes cortos (Short Message Service), está disponible en los teléfonos móviles que reconocen el mensaje de envíos cortos. entre teléfonos móviles, fijos y otros dispositivos de mano.

Fue creado originalmente como es estándar de telefonía móvil digital GSM.

El servicio final brindado es una comunicación extremo-extremo entre la estación móvil (MS) y la entidad (SME).

Figura 20-2. Tecnología GSM (1/2).



Fuente: <https://goo.gl/5G7SvL>

2.5 Dispositivos de automatización

2.5.1 Programable Logic Controller (PLC) o Controlador Lógico Programable. Es un equipo digital electrónico que posee una memoria programable que almacena instrucciones que se ejecutan de forma cíclica, estas son programadas mediante el uso de funciones lógicas, secuenciales, contables, temporizadas y aritméticas, estos son mayormente utilizados en la industria, cuentan con un extenso campo de aplicación, ejemplo de esto son:

- Maniobra de maquinas
- Maquinarias de embalajes
- Instalaciones de seguridad
- Señalización y control
- Maniobra de plantas de producción, etc.

En el mercado existe diversas marcas de PLC disponibles, cada una con sus propias características y prestaciones, algunas de estas son:

- Siemens
- Schneider
- HITACHI
- Panasonic
- Mitsubichi, etc.

Figura 21-2. PLC s7-1200



Fuente: <https://goo.gl/p72nWT>

2.5.2 *Simatic HMI Basic Panels.* Los paneles SIMATIC HMI proporcionan la funcionalidad que se requiere en las maquinas industriales y compactas de hoy, en condiciones económicas ideales, es un equilibrio perfecto entre costo y productividad.

Todos los equipos de SIMATIC HMI Basic Panel se caracterizan por tener el mismo conjunto de funciones básicas sin importar el tamaño del dispositivo, además están diseñados para operar a la perfección con el controlador SIMATIC S7-1200.

Todos los dispositivos de SIMATIC HMI Basic Panels cuentan con funciones básicas, como administrador de recetas, sistema de alarmas, gráficos vectoriales y diagramas de curvas, además la herramienta de configuración incluye una librería con un sin número de gráficos y objetos diversos.

La perfecta unificación del software de ingeniería de control SIMATIC S7-1200 con SIMATIC HMI Basic Panels y SIMATIC WinCC, permiten una visualización y control más integrado, obteniendo mejores soluciones en un tiempo menor y con resultados óptimos.

Figura 22-2. HMI KTP400 Basic Mono PN



Fuente: <https://goo.gl/p72nWT>

CAPITULO III

3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO, DISEÑO HIDRÁULICO, SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO.

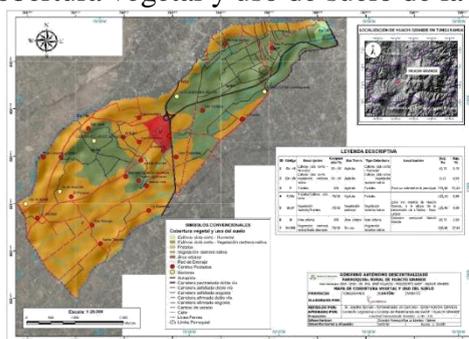
3.1 Criterios de selección del sistema de riego óptimo

Para seleccionar el sistema de riego adecuado en primer lugar se debe reconocer el área donde se quiere implantar, una vez reconocida el área se considerarán varios parámetros que dependerán del tipo de terreno, cultivo y abastecimiento de agua.

3.1.1 Reconocimiento del área. Para obtener la mayor optimización del sistema automatizado de riego por goteo se deberán conocer datos básicos del área donde será implementado. El área, la ubicación, humedad, clima, tipo de suelo, velocidad del viento u origen de agua son factores que pueden influir al momento de diseñar un sistema de riego.

La implementación se realizará en la provincia de Tungurahua en el cantón Ambato en la parroquia Huachi Grande, uno de los socios de la Asociación de Fruticultores de Tungurahua (ASOFRUT) Asofrut dedicada al cultivo de mora, duraznos, manzanas entre otras frutas. La parroquia Huachi Grande se encuentra ubicada al sur de la ciudad de Ambato, su territorio está a una altura de 2650 msnm, cuenta con una superficie territorial de 14,5 Km² que corresponde al 1,44 % del área cantonal, el clima es templado y frío, con una temperatura media de 12° C.

Figura 1-3. Mapa de la cobertura vegetal y uso de suelo de la parroquia Huachi Grande.



Fuente: Sistema Nacional de Información, SNI

3.1.1.1 Datos específicos. Para una interpretación más precisa para el diseño, se recolecto datos específicos que se colocaron en una tabla como se muestra a continuación.

Tabla 1-3. Datos específicos del terreno

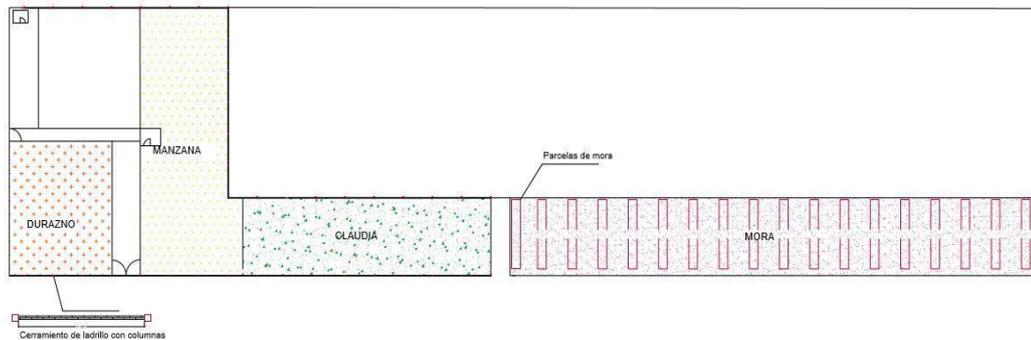
Datos	
Ubicación	al sur de la ciudad de Ambato
Superficie	14,5 Km ²
Clima	media de 12° C
Cultivo	frutas
Tipo de terreno	grueso
Sistema de riego actual	Inundación
Sistema de riego a implementarse	Automatizado por goteo
Fuente de agua	potable

Fuente: Autores

3.1.1.2 Dimensiones y datos del área. Luego de conocer los principales datos generales se investigaron datos del área específica donde se colocará el sistema automatizado, en el terreno cuenta con un área total de 3600m² con plantaciones de duraznos, manzanas, claudia y mora sembradas en parcelas.

El terreno en su gran mayoría es plano, pero en las plantaciones de mora presenta un desnivel poco pronunciado, los datos más importantes se mencionan a continuación.

Figura 2-3. Datos del área de terreno



Fuente: Autores

Las dimensiones del terreno se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 2-3. Datos por parcelas

Parcelas	Frutales	Área
Durazno	20	690
Manzana	16	200
Claudia	75	1450
Mora	130	860

Fuente: Autores

3.1.1.3 *Topografía del terreno y forma de la parcela.* El terreno en su gran mayoría es plano, pero en las últimas parcelas de mora presenta una ligera pendiente.

3.1.1.4 *Tipo de cultivo.* Frutas de distintos tipos con raíces que necesitan una mayor penetración de agua en los primeros días de desarrollo, las parcelas se encuentran de forma longitudinal y transversal con separaciones de 3 m.

3.1.1.5 *Disponibilidad de agua.* La captación de agua es desde un tanque reservorio.

3.1.1.6 *El coste de la instalación.* Se consideran dos tipos de riego que son; por aspersión y por goteo.

3.1.2 *Selección del sistema.* Con el análisis de estos parámetros se seleccionó el riego por goteo superficial fijo, el factor principal para seleccionar este método es el modo como están sembradas las parcelas, los aspersores son eficientes cuando hay plantaciones con gran distancia de separación o gran área pero en este caso colocar aspersores sería un desperdicio de agua a diferencia de un método de riego por goteo donde el riego es localizado y el agua se riega en forma vertical y horizontal, los aspersores dependiendo de su calidad suelen ser muy costosos esto en comparación con un método de riego por goteo es significativamente más barato porque se utilizan tuberías laterales perforadas de pequeños diámetros.

3.1.3 *Diseño hidráulico.* En un sistema de riego por goteo resaltan varios componentes que son:

El grupo de bombeo: comprende la tubería de succión y descarga, además de la bomba.
Red de distribución.

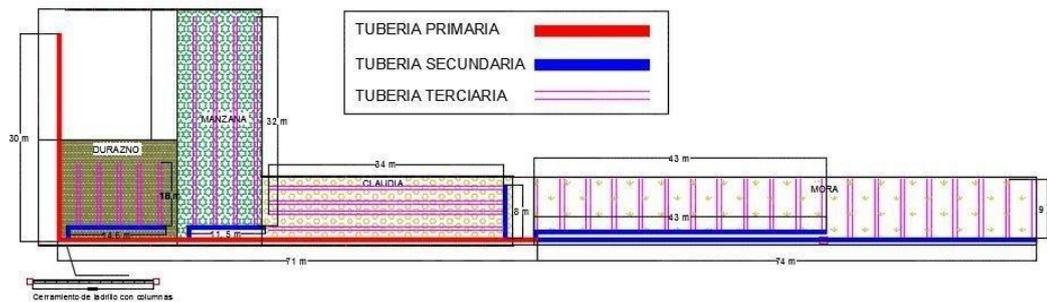
Es una serie de tuberías primarias secundarias y laterales con sus respectivos accesorios.

El objetivo del diseño hidráulico es seleccionar de forma adecuada los diámetros de la tubería, la bomba y calcular las pérdidas causadas por accesorios y longitud de la tubería.

3.1.4 *Diseño de la red de distribución.* Con ayuda de las dimensiones del área se traza las respectivas redes de riego, el área estará dividida de acuerdo al tipo de frutas que

se siembran, se empieza con el diseño desde las ultimas tuberías que son las terciarias o también conocidas como laterales después se traza las tuberías secundarias procurando que se distribuyan a lo largo del terreno y por ultimo las dos tuberías se unen a la principal que será la que suministre de agua al sistema mediante una bomba ,el diseño de la red está diseñada para que se distribuya correctamente con el menor tramo posible para evitar el costo excesivo del sistema , el diseño se muestra en la imagen siguiente.

Figura 3-3. Red de distribución



Fuente: Autores

Los detalles se muestran en el anexo B

3.1.4.1 Selección de tuberías terciarias o laterales. La tubería terciaria es la que distribuye el agua en las plantas, la distribución debe ser lo más uniforme posible para que las plantas tengan un adecuado grado de humedad para que se desarrollen correctamente, hay dos principales características que deben presentar estas tuberías:

- Que sean de buena calidad.
- Que la presión del agua en todos los laterales sean los más parecidos posibles.

Para seleccionar esta tubería se consultó varios distribuidores especialistas en riego, hay varias recomendaciones para la elección de esta tubería, la principal es la separación de laterales y el caudal.

El caudal condiciona la longitud del lateral, cuando mayor sea la longitud menor será el caudal, para longitudes menores a 100 metros el caudal adecuado será de 2,80 l/h x metro, según las dimensiones del terreno ningún tramo sobrepasa los 100 metros, por eso el caudal de referencial será de 2,80 l/h, con esta condición se consulta el catálogo agrícola de riego comercial.

Tabla 3-3. Diámetros normalizados de tuberías laterales

Diámetro Interior	Espesor		Distancia de goteros	Caudal de la Manguera P1 16 mm											Longitud del rollo	Presión de trabajo	
				Nominal	7 PSI		10 PSI		14 PSI		18 PSI		22 PSI			Minimo	Maximo
					l/h x gotero	l/h x metro											
16	8 Mil	200	0,20	0,80	0,56	2,80	0,66	3,30	0,79	3,95					2200	7	12
16	8 Mil	200	0,30	1,10	0,80	2,67	0,92	3,07	1,11	3,70					2500	7	12
16	12 Mil	300	0,20	0,80	0,56	2,80	0,66	3,30	0,79	3,95	0,87	4,35			1400	7	22
16	15 Mil	400	0,20	0,80	0,56	2,80	0,66	3,30	0,79	3,95	0,87	4,35	0,97	3,23	1400	7	22
16	15 Mil	400	0,30	1,10	0,80	2,67	0,92	4,60	1,11	3,55	1,22	6,10	1,40	4,67	1400	7	22

Fuente: <https://goo.gl/Yz9NbA>

Se selecciona una tubería flexible de polietileno de baja densidad de 16 mm de diámetro interior con longitud de rollo de 1400 m, trabaja a una presión de 10 PSI.

Se realizarán perforaciones de 2 mm de diámetro con separación de 0,20 m en cada lateral, se colocarán dos tuberías separadas a 20 cm debido a la forma de plantación de las frutas.

Figura 4-3. Distancia de gotero a gotero



Fuente: Autores

3.1.4.2 Selección de tubería secundaria. Para el cálculo del diámetro de la tubería secundaria se partirá del caudal máximo que circulará en su interior, éste caudal se calcula con el número de goteros en cada tubería terciaria, para saber el número exacto de goteros se divide la longitud de los laterales (tubería terciaria) para la distancia de separación que es de 0,20 m.

Finalmente con el número de goteros se multiplicara por el caudal de cada gotero que es de 2 L/h, se empleara la ecuación que relaciona la velocidad del agua (v) por el interior de la tubería con el caudal (Q).

La velocidad media no será mayor a 1,5 m/s.

$$Q=vA \tag{1}$$

A= Es el área de la sección interna de la tubería ($\pi \cdot D^2/4$)

La ecuación final para obtener el diámetro será:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

Q= Caudal en m³/seg

D= Diámetro en m

V= velocidad en m/seg

En la siguiente tabla se muestran datos calculados de caudales y número de goteros por sectores.

Tabla 4-3. Calculo de caudales y numero de goteros

Fruta	Numero de ramales	Numero de goteros	Caudal L / h
Durazno	8	720	1440
Manzana	8	1320	2640
Claudia	8	1360	2720
Mora	36	1800	3600

Fuente: Autores

El caudal total es de 10400 L / h, para calcular el diámetro se transformará a m³/seg

$$Q = 10400 \text{ L / h} = 2.88 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(2,88 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg})}{\pi 1,5 \text{ m}/\text{seg}}}$$

$$D = 0.049 \text{ m} = 49.51 \text{ mm}$$

Con el diámetro interior calculado se consulta el catálogo de tuberías de polietileno existentes en el mercado.

Tabla 5-3. Diámetro de tubería

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior		Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C	mm	mm	MPa	PSI (lb/pulg ²)	Kgf/cm ²
	20	17,6	1,2	1,25	181	12,75
		17,4	1,3	1,60	232	16,32
		17,0	1,5	2,00	290	20,40
	25	22,6	1,2	1,00	145	10,20
		22,4	1,3	1,25	181	12,75
		22,0	1,5	1,60	232	16,32
	32	29,6	1,2	0,80	116	8,16
		29,4	1,3	1,00	145	10,20
		29,0	1,5	1,25	181	12,75
	40	37,6	1,2	0,63	91	6,43
		37,4	1,3	0,80	116	8,16
		37,0	1,5	1,00	145	10,20
		36,2	1,9	1,25	181	12,75
	50	47,4	1,3	0,63	91	6,43
		47,0	1,5	0,80	116	8,16
		46,2	1,9	1,00	145	10,20
		45,2	2,4	1,25	181	12,75
	63	60,0	1,5	0,63	91	6,43
		59,0	2,0	0,80	116	8,16
		58,2	2,4	1,00	145	10,20
		57,0	3,0	1,25	181	12,75
	75	72,0	1,5	0,50	73	5,10
		71,4	1,8	0,63	91	6,43
		70,4	2,3	0,80	116	8,16
		69,2	2,9	1,00	145	10,20

Fuente: <https://goo.gl/Yz9NbA>

Según el catalogo, el diámetro interior más cercano es una tubería de 63 mm de diámetro exterior, esta tubería será la seleccionada para colocarla en la tubería secundaria.

3.1.4.3 Selección de tubería primaria. El caudal que circulará por la tubería principal será similar al caudal de la tubería secundaria, debido a esto se toma el mismo diámetro de la tubería secundaria que es de 63 mm, el material será PVC en el primer tramo y de PE la mayor longitud.

3.1.4.4 Calculo de pérdidas de carga en la instalación. Se realiza una estimación de las perdidas en la red de distribución también llamado como perdidas de presión con el objetivo de seleccionar correctamente la bomba de succión.

Primero se debe seleccionar el tramo donde se produce la mayor pérdida de carga, según se aprecia en la red de distribución la tubería secundaria tiene una mayor longitud y mayor número de ramificaciones por lo tanto tendrá la mayor pérdida de carga.

Para calcular la pérdida de carga total del sistema será necesario calcular dos tipos de pérdidas que son:

- A = Pérdidas en los tramos rectos de la red
- B= Pérdidas en accesorios y puntos localizados de la red.

$$\Delta p \text{ Total} = A + B$$

A) Pérdidas en los tramos rectos de la red

Para calcular las pérdidas de cargas Δp en todos los tramos rectos de una longitud “L” se emplea la fórmula de Darcy-Weisbach, que se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta p = f x \frac{L}{D} x \frac{v^2}{2xg} \quad (2)$$

Donde:

Δp = es el valor de la pérdida de carga expresada en metros de columna de agua (m.c.a.) que se produce en un tramo recto de tubería de longitud L.

L = Longitud del tramo considerado de tubería (m)

D = Diámetro interior de la tubería (m)

v = Velocidad del agua en el interior de la tubería (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach.

La anterior expresión, también puede ser expresada en función del caudal (Q) de agua que circula por la tubería en ese tramo, quedando de la siguiente forma:

$$\Delta p = f x \frac{8LQ^2}{\pi^2 g D^5}$$

Todos los datos son conocidos excepto el factor de fricción (f), este factor es adimensional y depende del número de Reynolds (Re) del fluido (agua) y de la rugosidad relativa (ϵ).

$$f = (Re. \epsilon) \quad (3)$$

El número de Reynolds esta expresado por la siguiente formula:

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

El número de Reynolds esta expresado por la siguiente formula:

Donde:

ρ = la densidad del fluido, en este caso del agua (kg/m³)

v = velocidad del agua en el interior de la tubería (m/s) D = es el diámetro interior de la tubería (m)

μ = viscosidad dinámica del agua (kg/m·s)

Esta fórmula se puede expresar en función de la viscosidad cinemática del fluido ($\vartheta = \mu / \rho$):

$$Re = \frac{VD}{\vartheta}$$

Donde:

v = Velocidad del agua en el interior de la tubería (m/s)

D = Diámetro interior de la tubería (m)

ϑ = Viscosidad cinemática del agua (m²/s)

En la siguiente tabla se muestran los valores de viscosidad del agua a diferente temperatura, para cálculos de riego se considera la temperatura del agua a 20 ° C.

Para obtener el valor de la rugosidad relativa se debe consultar en tablas donde especifican este valor según el material y el diámetro interior de la tubería según la siguiente formula:

$$Er = \frac{\varepsilon}{D} \quad (4)$$

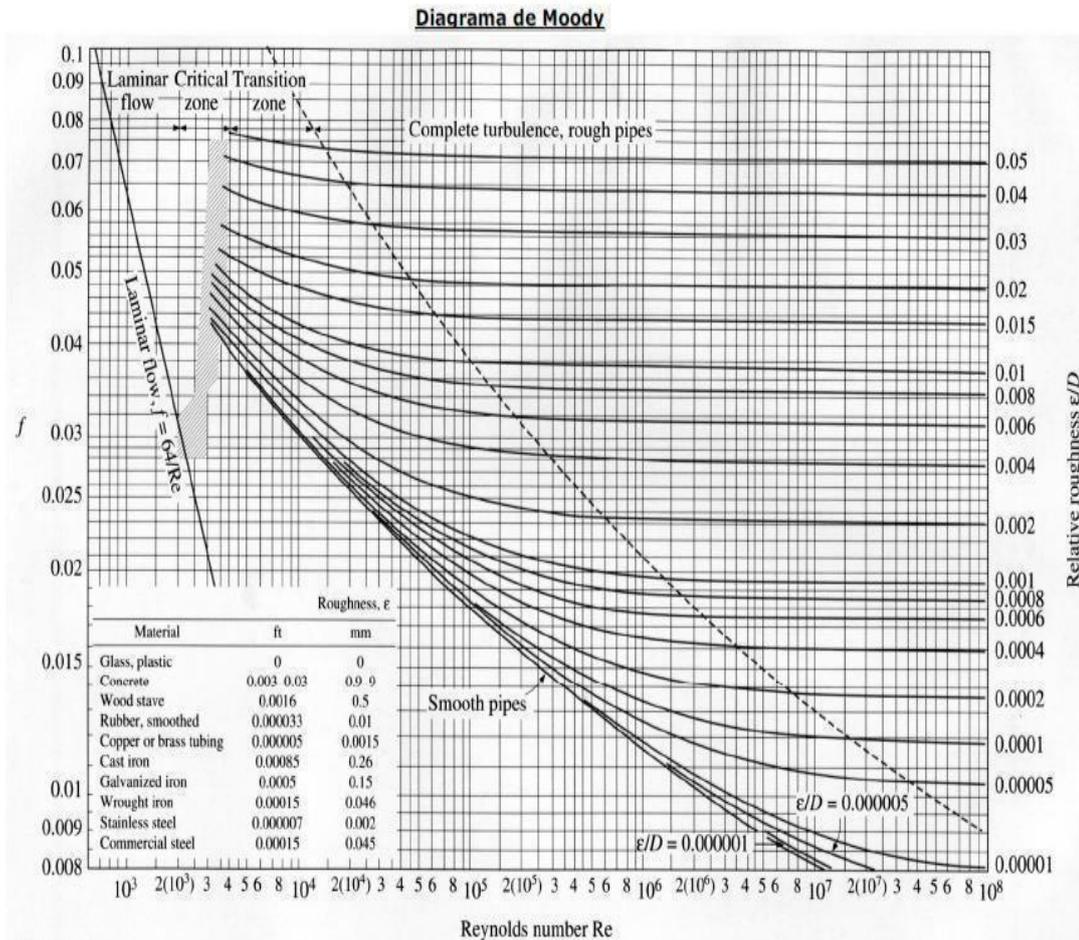
Tabla 6-3. Rugosidad absoluta de materiales

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	ϵ (mm)	Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente: <https://goo.gl/DyqAe5>

Para determinar el coeficiente de fricción se utilizará el diagrama de Moody que es la representación gráfica del factor de fricción en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de la tubería.

Gráfico 1-3. Diagrama de Moody



Fuente: <https://goo.gl/UVMej8>

3.1.4.5 *Calculo de pérdida de carga en la tubería principal.* Según datos consultados en tablas y la longitud de la tubería se tienen los siguientes datos para el cálculo de pérdidas.

Tabla 7-3. Datos tubería principal

Datos tubería principal	
Material	PVC, PE
Diámetro nominal (Dn)	63 mm
Diámetro interior (Di)	49,51 mm
Longitud del tramo (L)	101 m
Velocidad del agua (v)	1,5 m/seg
Rugosidad absoluta de la tubería (ε).	0.0015 mm
Rugosidad relativa (εr = ε/Di)	0,00003
Viscosidad cinética del agua a 20° C (θ)	1,007 x 10-6 m/s ²

Fuente: Autores

Calculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{vD}{\theta}$$

$$Re = \frac{1,5 \text{ m/seg } 0,049 \text{ m}}{1,007 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2}$$

$$Re = 72989$$

Con este valor calculado y la rugosidad relativa se obtiene el coeficiente de fricción (f) del diagrama de Moody.

$$f = 0.019$$

Finalmente se obtiene la perdida de carga en la tubería primaria con la fórmula de Darcy-Weisbach.

$$\Delta p = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

$$\Delta p = 0,0019 \times \frac{101 \text{ m}}{0,049 \text{ m}} \times \frac{(1,5 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/seg}^2}$$

$$\Delta p = 2,99 \text{ m}$$

3.1.4.6 *Calculo de perdida de carga en la tubería secundaria.* Los datos serán similares a los datos de la tubería principal a diferencia de su longitud y material.

Tabla 8-3. Datos tubería principal

Datos tubería principal	
Material	PE
Diámetro nominal (Dn)	63 mm
Diámetro interior (Di)	49,51 mm
Longitud del tramo (L)	153 m
Velocidad del agua (v)	1,5 m/seg
Rugosidad absoluta de la tubería (ε).	0,0015 mm
Rugosidad relativa (εr = ε/Di)	0,00003
Viscosidad cinética del agua a 20° C (η)	1,007 x 10-6 m/s ²
Coefficiente de fricción (f)	0,019

Fuente: Autores

$$\Delta p = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

$$\Delta p = 0,0019 \times \frac{153 \text{ m}}{0,049 \text{ m}} \times \frac{(1,5 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/seg}^2}$$

$$\Delta p = 4,53 \text{ m}$$

3.1.4.7 *Calculo de pérdida de carga en la tubería terciaria.* El cálculo de la velocidad que circula por el interior de la tubería se realiza mediante la ecuación en función del caudal y del diámetro interior, el caudal se selecciona de la tubería con mayor longitud que se colocará en el área de claudias.

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$Q = 330 \text{ L/h} = 9.16 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V = \frac{4(2,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg})}{\pi(0,0136)^2}$$

$$V = 0,17 \text{ m/seg}$$

Tabla 9-3. Datos tubería principal

Datos tubería principal	
Material	PE
Diámetro nominal (Dn)	16 mm
Diámetro interior (Di)	13.6 mm
Longitud del tramo (L)	720 m
Velocidad del agua (v)	0.17 m/seg
Rugosidad absoluta de la tubería (ε).	0.0015 mm
Rugosidad relativa (ε = ε/Di)	0.00003
Viscosidad cinética del agua a 20° C (θ)	1,007 x 10 ⁻⁶ m/s ²
Coefficiente de fricción (f)	0.027

Fuente: Autores

Calculo del número de Reynolds:

$$Re = \frac{vD}{\theta}$$

$$Re = \frac{0,17 \text{ m/seg} \cdot 0,0136 \text{ m}}{1,007 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2}$$

$$Re = 2295,9$$

Con este dato se puede determinar que el flujo que circula por la tubería es laminar por lo tanto se aplicara la fórmula de Poiseville para determinar el coeficiente de fricción (f).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

Donde:

f = coeficiente de fricción

Re = número de Reynolds

$$f = \frac{64}{2295,9}$$

$$\Delta p = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

$$\Delta p = 0,027 \times \frac{720 \text{ m}}{0,0136 \text{ m}} \times \frac{(0,17 \text{ m/seg})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/seg}^2}$$

$$\Delta p = 2,1 \text{ m}$$

La pérdida total en los tramos es igual a 9.62 m.

3.1.4.8 Cálculos de pérdida de carga en accesorios. Además de las pérdidas de cargas producidas por la longitud de tubería y rozamiento, se produce otro tipo de cargas denominadas localizadas que se dan en accesorios instalados como codos, válvulas, filtros etc., debido a cambios de dirección.

Estas cargas se pueden calcular de forma experimental mediante un coeficiente empírico (K) que es proporcionado por los fabricantes de accesorios.

La fórmula para determinar la pérdida de carga será:

$$h = K \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Donde:

h= pérdida de carga o energía

K= coeficiente empírico adimensional

V= velocidad media m/s

g= aceleración de la gravedad (m/s²)

A continuación, se colocan los accesorios que se utilizará en la red de riego:

Tabla 10-3. Accesorios

	Descripción	numero	K
	Unión flex de inserción de 16 mm	60	0.3
	Válvula conectora de 16 mm	15	0.06
	Unión roscada de 16 mm	20	0.3
	Válvula de bola de PVC	9	0.1
	Codo de PVC de 63 mm	8	0.23
	Codo de 16 mm	8	0.30
	Unión de PVC de 63 mm	9	0.2

Tabla 10-3. (Continua) Accesorios

	T de PVC de 63 mm	8	0.2
	Reductor de PVC	10	0.2
	Collarín de PVC de 63 mm	8	0.18

Fuente: Autores

La pérdida en accesorios total es de 1.11 m.

La pérdida total de carga es igual a = pérdida total en longitud de tubería + pérdida de carga en accesorios.

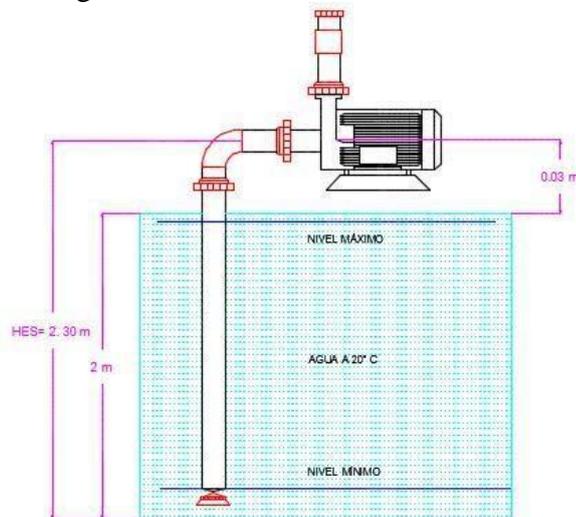
$$\Delta \text{ Total } p = 9.62 \text{ m} + 1.11 \text{ m} = 10.73 \text{ m}$$

3.1.5 Selección de bomba. Para seleccionar la bomba adecuada se debe superar la carga de pérdidas calculadas ($\Delta_{\text{total } p}$), además de la altura estática de succión (HES).

La altura de succión se determina sumando las longitudes entre la altura de aspiración y la altura desde la base de almacenamiento hasta el eje de funcionamiento de la bomba.

Esta altura se calcula con la base donde se colocará la bomba ya establecida y con la altura del tanque reservorio conocido.

Figura 5-3. Altura estática de succión.



Fuente: Autores

$$\text{HES} = (2 + 0.3) \text{ m} = 2.3 \text{ m}$$

$$\text{Altura total a vencer} = \text{HES} + \Delta \text{ total } p = (2.3 + 10.73) \text{ m} = 13.03 \text{ m}$$

3.1.5.1 Criterios de selección:

Caudal: 10400 L / h = 10.4 m³/ h

Alturas a superar: 13.03 m

3.1.5.2 Bomba seleccionada. Con los dos datos conocidos, se buscó en el mercado una bomba que se adapte a los cálculos realizados.

Se seleccionó una bomba Paolo de 2HP específicamente por el caudal requerido, además para futuras instalaciones siempre se dimensionará con un porcentaje mayor al 10% del caudal calculado, los datos principales de la bomba se especifican en el siguiente cuadro.

Figura 6-3. Bomba Paolo de 2HP



Fuente: <https://goo.gl/ht5umP>

Tabla 11-3. Características bomba Paolo

Tipo	Bomba centrífuga
Caudal de diseño	260 LPM
Max H	20 m
RPM	3450
Datos eléctricos	
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Corriente nominal	16/8 ^a

Fuente: Autores

3.1.6 Selección de actuadores. Un actuador tiene la capacidad de transformar un tipo de energía en la activación de un proceso con la finalidad de generar un proceso automatizado, en el sistema de riego las válvulas solenoides cumplen esta función, al recibir un estímulo eléctrico de 24VCD se abren y el fluido pasa haciendo posible el riego en el área designada.

El número de válvulas de control se distribuyen de acuerdo a la red de tubería trazada anteriormente, se colocarán cinco válvulas solenoides en la tubería secundaria y una válvula en la tubería principal

La válvula seleccionada es de conexión de rosca universal de 2" de purga manual interna y externa con solenoide encapsulado de 24 VCD con embolo cautivo, con temperatura máxima de trabajo de 66° C.

Figura 7-3. Válvula seleccionada



Fuente: <https://goo.gl/et3cw9>

3.2 Selección de componentes electrónicos para la automatización del sistema

3.2.1 Determinación de entradas y salidas. El sistema de riego automático estará compuesto por entradas que serán pulsadores normalmente abiertos para las señales de arranque y un pulsador normalmente cerrado para parar el sistema.

Los actuadores como se especificó anteriormente serán válvulas solenoides que en este caso serán salidas además de la bomba centrifuga que se activarán por medio de interfaces de potencia, en el siguiente cuadro se especifican estos elementos con sus nombres correspondientes.

Tabla 12-3. Entradas y salidas del sistema de riego

Numero	Nombre	Entrada	Salida (actuador)
1	Manual / automático	✓	
2	Pulsador durazno	✓	
3	Pulsador manzana	✓	
4	Pulsador Claudia	✓	
5	Pulsador mora 1	✓	
6	Pulsador mora 2	✓	
7	Pulsador stop	✓	
8	Bomba		✓
9	Válvula durazno		✓
10	Válvula manzana		✓
11	Válvula claudia		✓
12	Válvula atranque		✓
13	Válvula mora 1y2		✓
14	Válvula mora 3y4		✓

Fuente: Autores

Se determinó que el número de entradas es 7 y el número de salidas 7.

3.2.2 Selección del autómata programable. Para la selección se tomó en consideración el criterio cuantitativo en base a la capacidad de entradas y salidas analizadas anteriormente. Se seleccionó un PLC S7-1200 1214

DC/DC/Rly porque cumple con el número de entradas y salidas adecuadas para este proyecto, la energización de 24vdc, ya que, en el mercado se encontró las válvulas solenoides con la misma alimentación.

Figura 8-3. PLC S7-1200 1214 DC/DC/ Rly



Fuente: <https://goo.gl/tf3jpX>

Tabla 13-3. Características.

Información general	
Paquete de programación	STEP 7 V13.0 SP2 o superior
Tensión de alimentación	24V DC
Intensidad de entrada	100 mA @ 120 VAC 50 mA @ 240 VAC
Alimentación de sensores	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V
Intensidad de salida	1600 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
Memoria de usuario	75 Kbyte
Entradas digitales	14 (6 Contadores de gran velocidad)
Entradas analógicas	2 (0-10 V)
Salidas digitales	10 (4; 100 kHz tren de impulsos)
Comunicación	Interfaz Ethernet

Fuente: Autores

3.2.3 Selección panel HMI. Para este trabajo de investigación se seleccionó un panel HMI SIMATIC KTP400 BASIC por su costo y facilidades de configuración.

Figura 9-3. Panel HMI KTP 400



Fuente: <https://goo.gl/dvjb69>

Tabla 14-3. Características

Pantalla táctil de 4"
Resolución: 480 x 272
Dimensiones frontales: 114x116 (mm)
Memoria 10 MB
Software: a partir de Win CC Basic V13
65536 colores

Fuente: <https://goo.gl/pbjlR5>

Además de los componentes electrónicos se contará con los siguientes equipos y materiales descritos a continuación.

Tabla 15-3. Materiales y equipos

	MATERIALES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	Riel Din		1
	Caja de control		1
	Fuente de poder	110VCA/24VCD	1
	Transformador monofásico	Reductor 110VCA/24VCD	1
	Contactor	Bovina 24 VCA 14 amp	1
	Borneras	AWG 16	1
	Porta fusibles	1ª	1
	Placa interfaz	Juego de relés bobina de 24 VCD	1
	Pulsador	Normalmente abierto	5
	Pulsador	Normalmente cerrado	1
	Selector	Dos posiciones	1

Fuente: Autores

3.2.4 Selección de componentes electrónicos para la mando GSM del sistema

3.2.4.1 Selección de la tarjeta GPRS GSM. Se seleccionó una tarjeta que sea compatible con Arduino para controlar el accionamiento de los actuadores mediante relés vía GSM.

La tarjeta seleccionada es Shield sim GPRS/GSM 900, se seleccionó esta tarjeta porque es de fácil adquisición en el mercado local además su costo es bajo.

La tarjeta se conecta directamente al microcontrolador Arduino y comienza la comunicación mediante comandos AT.

Figura 10-3. Tarjeta Shield sim GPRS/GSM 900



Fuente: <https://goo.gl/y2JWhv>

Tabla 16-3. Características.

Totalmente compatible con Arduino
Conexión con el puerto serial
Quad-Band 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz
GPRS multi-slot clase 10/8
GPRS mobile station clase B
Compatible GSM fase 2/2+
Clase 4 (2 W (AT) 850 / 900 MHz)
Clase 1 (1 W (AT) 1800 / 1900MHz)

Fuente: <https://goo.gl/iygKSd>

Junto con la tarjeta seleccionada se debe adquirir una antena GPRS, cabe recalcar que la tarjeta es compatible con la mayoría de los modelos de Arduino, además de poder ser controlada también con microcontroladores.

3.2.4.2 Selección de microcontrolador. Se seleccionó un microcontrolador Arduino uno por su compatibilidad con la tarjeta GPRS sim 900, otra característica para seleccionar este microcontrolador es que posee conexión USB que facilita las tareas de programación.

Figura 11-3. Arduino uno



Fuente: <https://goo.gl/F8R3vC>

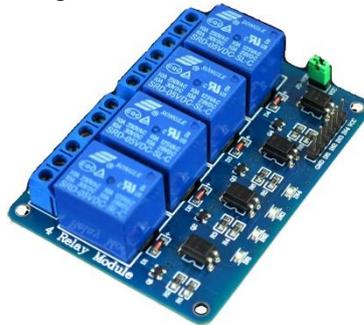
Tabla 17-3. Características

Voltaje de operación de 5v
Voltaje de operación de 7 a 12 v
Flash Kb (32)
I/O digitales /PWM 14/16
Pines Analógicos (I/O) 6/0
Compatibilidad con shields excelente

Fuente: <https://goo.gl/F8R3vC>

Además se adquirió un módulo de relés para Arduino para el mando del sistema mediante su activación.

Figura 12-3. Módulo relé



Fuente: <https://goo.gl/zwYTst>

3.3 Descripción del sistema a implementarse

El sistema funciona mediante tres métodos, el primero es mediante un mando local usando una botonera para proporcionar un arranque directamente al PLC que estará programado para activar los solenoides y la bomba para dar riego a áreas seleccionadas, permitiendo un riego uniforme y constante.

El segundo método es el mando desde una pantalla HMI que estará configurada para que el PLC procese esas señales para accionar directamente a las válvulas solenoides obviando los pulsadores e identificando el funcionamiento mediante una simulación en tiempo real del proceso.

El tercer método es un mando remoto por GSM/GPRS, el sistema contará con un módulo de control mediante una interfaz Shield SIM900 y un Arduino para procesar mensajes de texto que serán enviados desde cualquier teléfono móvil al número establecido en el

Arduino, cuando se reciba el mensaje el sistema se activará las señales de entrada y empezará el riego en las diferentes zonas donde se encuentra instalado el sistema, el sistema de riego puede funcionar a cualquier hora del día, una vez terminado con el tiempo establecido el sistema procederá a apagarse cerrando automáticamente todas las válvulas.

CAPÍTULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO.

La primera fase es la implementación de todos los elementos de riego, en el capítulo anterior se detallaron los componentes necesarios para la instalación.

Como el terreno presentó varias irregularidades se procedió al desbroce y limpieza de malezas en el área señalada en los planos, una vez concluida esta tarea se realizaron sistemáticamente los siguientes pasos que se detallan a continuación:

4.1 Implementación de tubería y válvulas solenoides

4.1.1 *Excavación de zanjas.* Es necesario que la zanja sea lo suficientemente ancha para facilitar el trabajo de instalación, este trabajo solo se realiza al inicio del terreno para la tubería primaria, las demás tuberías estarán fuera del terreno.

La profundidad de excavación fue de 0.3 m que es suficiente para proteger a la tubería de posibles cargas producidas por las labores propias del cultivo.

Figura 1-4. Zanja tubería principal



Fuente: Autores

4.1.2 Instalación de tuberías

4.1.2.1 *Tubería primaria.* La tubería primaria se instaló desde el inicio del sistema de bombeo hasta el inicio del terreno de frutales de durazno, por ser de material PVC se colocó dentro de la tierra en la zanja excavada, la unión de tuberías y accesorios fue mediante unión cementada.

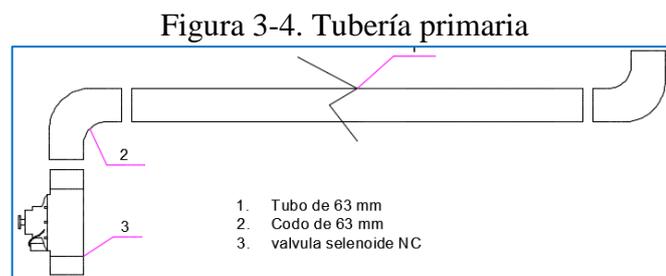
En la unión de la tubería primaria y secundaria se coloca una válvula solenoide.

Figura 2-4. Salida del cuarto de bomba



Fuente: Autores

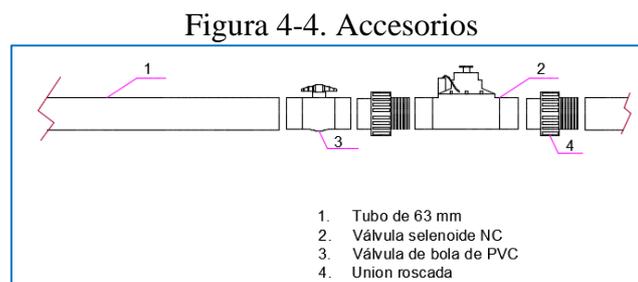
En la siguiente imagen se detalla la instalación de la tubería primaria.



Fuente: Autores

4.1.2.2 Tubería secundaria. Para la instalación de le tubería secundaria se necesitó tubería de 63 mm de diámetro, las uniones de tubería y accesorios son mediante unión roscada, se colocaron válvulas de bola después de las válvulas solenoides, para la instalación de válvulas de control se cuidó que se instalen con la dirección de flujo correcto.

En la siguiente figura se apreciar los detalles de los accesorios colocados en esta red.



Fuente: Autores

Figura 5-4. Válvula de bola



Fuente: Autores

En otros tramos se optó por colocar un collarín con el mismo sistema anterior.

Se colocaron todas las válvulas solenoides en esta tubería, la última válvula se colocó en la parcela número 4 de mora.

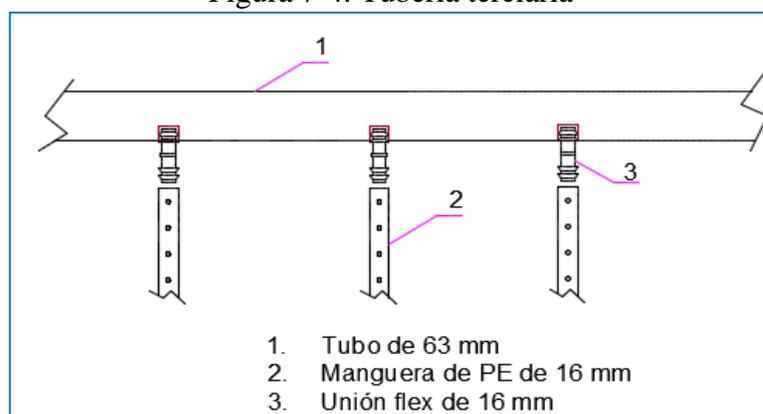
Figura 6-4. Válvula solenoide



Fuente: Autores

4.1.2.3 *Tubería terciaria.* La tubería terciaria es de material PE de 16 mm de diámetro, se colocaron directamente en la tubería secundaria, los goteros son perforaciones de 2 mm cada 0,20 m, para la unión se colocó uniones flex de 16 mm.

Figura 7-4. Tubería terciaria



Fuente: Autores

Figura 8-4. Instalación mangueras flexibles



Fuente: Autores

Se colocaron dos ramales con separación de 0,3 m.

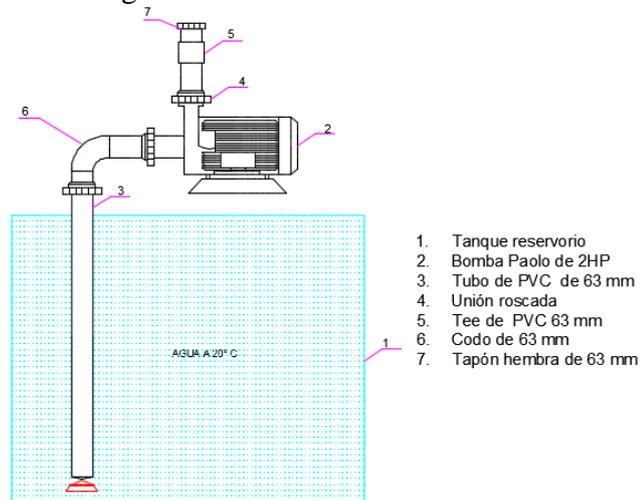
Figura 9-4. Separación de mangueras flexibles



Fuente: Autores

4.1.3 *Instalación del sistema de bombeo.* La bomba seleccionada en el capítulo anterior se colocó en la parte superior del tanque reservorio en una base construida específicamente para la bomba y dentro de una cubierta donde también se colocó el tablero de control del sistema.

Figura 10-4. Detalles de instalación



Fuente: Autores

Como se observa en la siguiente imagen la bomba se coloca en la base de cemento anclada con pernos, está alimentada directamente desde la caja de control del sistema.

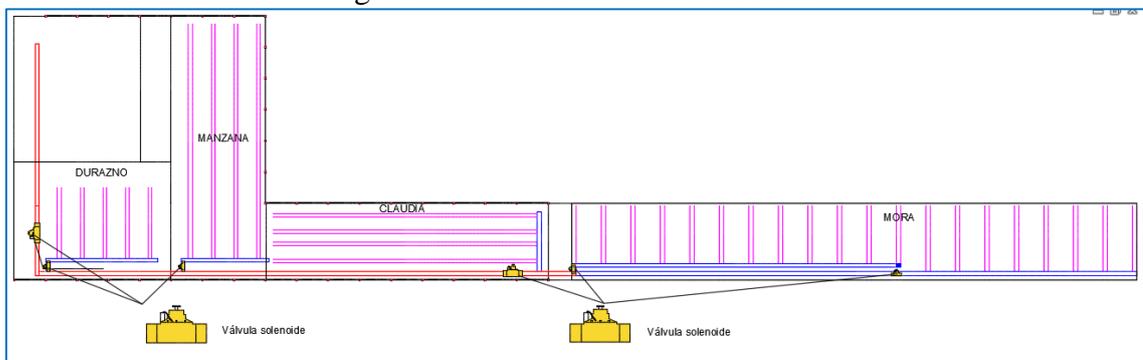
Figura 11-4. Bomba Paolo de 2HP instalada



Fuente: Autores

4.1.4 *Instalación (conexión) de válvulas solenoides.* Se colocaron válvulas solenoides al inicio de cada plantación y una en la mitad del sistema para que sirva de atranque si se desea regar las primeras plantaciones, en total válvulas como se muestra en la imagen siguiente.

Figura 12-4. Distribución de válvulas.



Fuente: Autores

Una vez definidas las posiciones de las válvulas, se conectan a la fuente de energía con cable # 16 flexible.

4.2 Instalaciones eléctricas para la automatización del sistema

4.2.1 *Realización del mando local.* En primer lugar se realizó un diagrama eléctrico del sistema para el mando local, cuenta con dos fuentes de alimentación, para lograr el correcto funcionamiento.

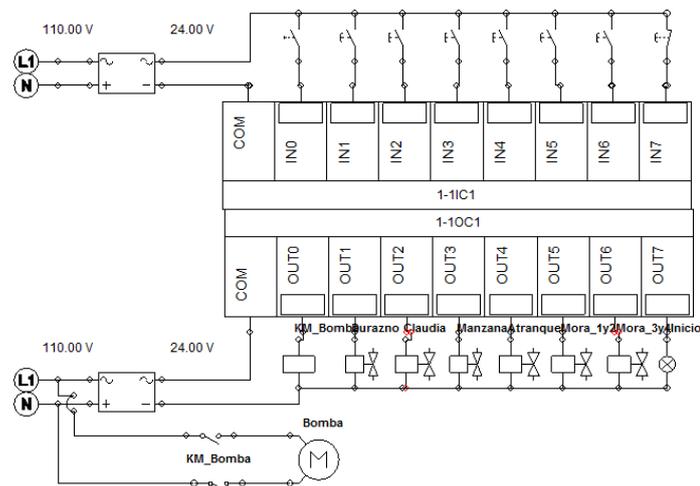
La primera se utiliza en las entradas del PLC y su energización, esta fuente de alimentación dispone de un voltaje de 24 V DC debido a que es el único voltaje admitido por el mismo, en esta fuente se encuentran conectados los siguientes dispositivos:

- Interruptor 2 posiciones, activar modo manual o automático
- Pulsador NO, para dar inicio al riego de durazno.
- Pulsador NO, para dar inicio al riego de claudia.
- Pulsador NO, para dar inicio al riego de manzana.
- Pulsador NO, para dar inicio al riego de mora 1y2.
- Pulsador NO, para dar inicio al riego de mora 3y4.

La segunda se utiliza en las salidas tipo relé del PLC y, dicha fuente dispone de 24 V DC, en dicha fuente están conectados los siguientes dispositivos:

- Un contactor, el cual nos sirve para energizar la bomba.
- 6 válvulas solenoides, las cuales nos sirven dar paso al riego en los frutales.
- Luces piloto.

Figura 13-4. Diagrama eléctrico mando local



Fuente: Autores

Todas las instalaciones se encuentran hechas dentro de una caja de control, se perforaron agujeros para colocar los pulsadores para la activación del sistema y luces piloto que servirán para verificar la activación del motor, así como el inicio y finalización del proceso.

Figura 14-4. Caja de control



Fuente: Autores

4.2.1.1 Programación del PLC. Para la el funcionamiento del sistema se realizó una programación en el PLC S7 1200 se utilizó el software TIA PORTAL V13, la programación está hecha en lenguaje ladder, la transmisión del programa desde el ordenador al PLC se llevó a cabo a través de la interfaz Ethernet bajo el protocolo TCP/IP.

Pasos para elaborar el proyecto:

- Ejecutar el software TIA Portal V13.
- Seleccionar “Crear Proyecto” dentro de la pantalla de inicio, llenar la información y dar clic en crear.
- Dar clic en “Agregar Dispositivo”, controladores a continuación SIMATIC S7-1200 y seleccionamos el CPU “1214C DC/DC/RLY”, clic en la serie que corresponda al PLC y agregar.
- Desplegamos la pestaña “Bloques de Programa” y clic en Main [OB1].
- Procedemos a elaborar la programación.

Asignación de E/S y memorias para el PLC.

Son las variables utilizadas en la programación del sistema, así como entradas, salidas y memorias internas; todas estas en datos booleanos es decir en bytes.

Tabla 1-4. Asignación de E/S y memorias para el PLC.

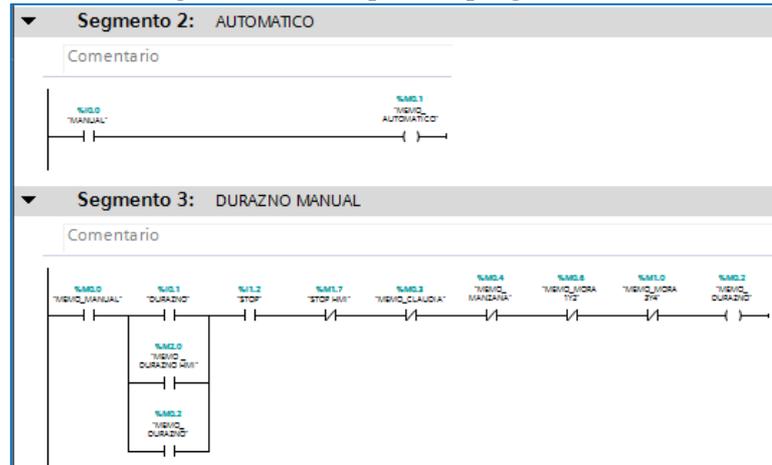
Name	Data Type	Logical Address	Hmi Accessible
MANUAL	Bool	%I0.0	True
DURAZNO	Bool	%I0.1	True
CLAUDIA	Bool	%I0.2	True
MANZANA	Bool	%I0.3	True
ATRANQUE 1	Bool	%I0.4	True
MORA 1Y2	Bool	%I0.5	True
MORA 3Y4	Bool	%I0.6	True
STOP	Bool	%I1.2	True
ATRANQUE_2	Bool	%I0.7	True
VALVULA DURAZNO	Bool	%Q0.1	True
VALVULA CLAUDIA	Bool	%Q0.2	True
VALVULA MANZANA	Bool	%Q0.3	True
VALVULA ATRANQUE 1	Bool	%Q0.4	True
VALVULA MORA 1Y2	Bool	%Q0.5	True
VALVULA ATRANQUE2 & MORA 3Y4	Bool	%Q0.6	True
BOMBA	Bool	%Q0.0	True
MEMO_MANUAL	Bool	%M0.0	True
MEMO_AUTOMATICO	Bool	%M0.1	True
MEMO_DURAZNO	Bool	%M0.2	True
MEMO_CLAUDIA	Bool	%M0.3	True
MEMO_MANZANA	Bool	%M0.4	True
MEMO_ATRANQUE1	Bool	%M0.5	True
MEMO_MORA 1Y2	Bool	%M0.6	True
MEMO_ATRANQUE2	Bool	%M0.7	True
MEMO_MORA 3Y4	Bool	%M1.0	True
MEMO_AUTO_DURAZNO	Bool	%M1.1	True
MEMO_AUTO_CLAUDIA	Bool	%M1.2	True
MEMO_AUTO_MANZANA	Bool	%M1.3	True
MEMO_AUTO_MORA_1Y2	Bool	%M1.4	True
MEMO_AUTO_MORA_3Y4	Bool	%M1.5	True
BOMBA MANUAL	Bool	%M1.6	True
STOP HMI	Bool	%M1.7	True
MEMO_DURAZNO HMI	Bool	%M2.0	True
MEMO_CLAUDIA_HMI	Bool	%M2.1	True
MEMO_MANZANA_HMI	Bool	%M2.2	True
MEMO_MORA_1Y2_HMI	Bool	%M2.3	True
MEMO_MORA_3Y4_HMI	Bool	%M2.4	True

Fuente: Autores

Bloques de programación.

Se realizó la programación en segmentos especificando el área en la q va a dar riego, como se muestra en la figura el segmento durazno, la programación completa se encuentra en anexo A

Figura 15-4. Bloques de programación



Fuente: Autores

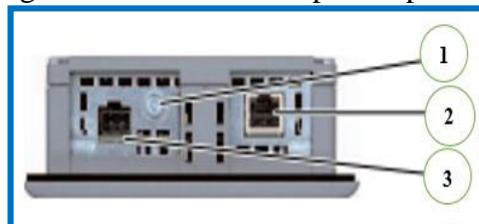
4.2.2 *Realización del mando desde pantalla HMI.* Para la realización del mando desde pantalla HMI se debe realizar la conexión tanto en su alimentación eléctrica e interfaz con el PLC.

4.2.2.1 *Conexión del panel operador.*

Puertos del panel operador.

- Conexión a tierra
- Interfaz PROFINET
- Conexión para la fuente de alimentación.

Figura 16-4. Puertos del panel operador



Fuente: <http://goo.gl/ejNzIX>

Procedimiento para realizar una correcta conexión.

Para poder conectar correctamente el panel de operador se debe seguir la siguiente secuencia.

- **Conexión de la fuente de alimentación.**

Para la fuente de alimentación se utiliza cable flexible número 16. La fuente de alimentación debe ser de 24V DC debido a que una fuente de alimentación mal dimensionada puede averiar el panel de operador de forma irreparable.

Procedimiento.

Pelar los extremos de dos cables de la fuente de alimentación a una longitud aproximada de 6 mm.

Aplicar terminales a los extremos pelados de los cables.

Fijar los terminales en los extremos de los cables con una tenaza.

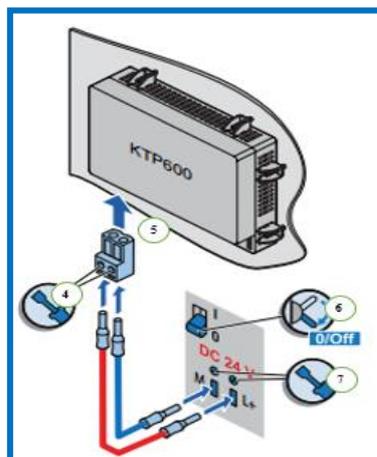
Introducir los dos cables de la fuente de alimentación en el borne de conexión de red y fijarlo con un destornillador plano.

Conectar el borne de conexión de red con el panel de operador.

Desconectar la fuente de alimentación.

Introducir los otros dos extremos de los cables en las conexiones de la fuente de alimentación.

Figura 17-4. Conexión de la fuente de alimentación



Fuente: <http://goo.gl/ejNzIX>

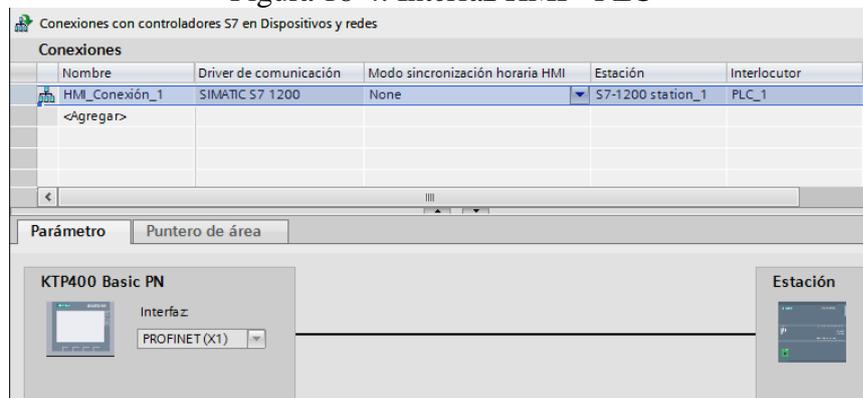
- **Prueba del panel operador**

Conecte la fuente de alimentación. La pantalla se ilumina tras conectar la fuente de alimentación. Durante el arranque se visualiza una barra de progreso. Si no arranca el panel de operador, es posible que los cables estén intercambiados en el borne de conexión de red. Compruebe los conductores conectados y cambie su conexión.

4.2.2.2 Pasos para configurar el panel HMI Basic.

- Ejecutar la programación del módulo.
- Seleccionar “dispositivos y redes”
- En el nuevo cuadro de dialogo seleccionamos “agregar dispositivo” y luego clic en seleccionar “SIMATIC Basic Panel”, luego damos clic en “4” display” y procedemos a seleccionar la pantalla KTP400 Basic.
- Seleccionar la serie que corresponda a nuestra pantalla y clic en agregar.
- Configurar el modelo de pantalla e indicar a que PLC se encuentra conectado y damos clic en “siguiente”.
- Seleccionar las propiedades de la pantalla que se requieran como la fecha, el color y otros.
- Indicar el número de ventanas de usuario que se va a crear y damos clic en finalizar.
- Desplegamos la pestaña “imágenes” y seleccionamos agregar imagen.
- Procedemos a realizar la configuración de la pantalla.
- Para el correcto funcionamiento de la pantalla HMI se debe realizar un interfaz digital para conectarla con el PLC

Figura 18-4. Interfaz HMI - PLC



Fuente: Autores

4.2.2.3 Asignación de variables para la HMI KTP 400 Basic Mono PN.

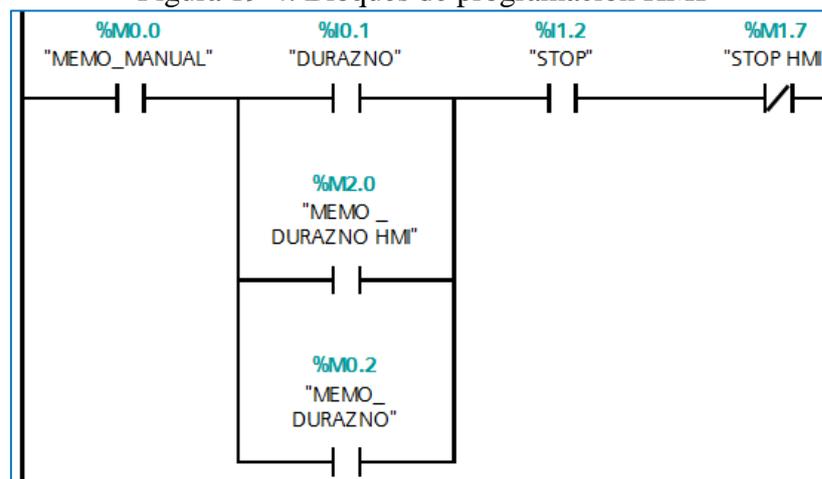
Tabla 2-4. Asignación de variables HMI

Name	Connection	Data Type	Coding
MANUAL	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
MEMO_DURAZNO	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
STOP HMI	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
MEMO_DURAZNO HMI	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
MEMO_CLAUDIA_HMI	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
MEMO_MANZANA_HMI	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
MEMO_MORA_1Y2_HMI	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
MEMO_MORA_3Y4_HMI	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
VALVULA DURAZNO	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
BOMBA	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
VALVULA CLAUDIA	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
VALVULA ATRANQUE2 & MORA 3Y4	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
VALVULA MORA 1Y2	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
VALVULA ATRANQUE 1	HMI_Conexión_1	Bool	Binary
VALVULA MANZANA	HMI_Conexión_1	Bool	Binary

Fuente: Autores

4.2.2.4 Programación de la HMI. Para el mando mediante HMI se debe adicional a la programación del PLC unos contactos en forma de memoria interna los cuales van hacer asignado a pulsadores digitales en la pantalla.

Figura 19-4. Bloques de programación HMI



Fuente: Autores

Una vez modificada la programación del PLC se procede a programar la pantalla en la cual se observara pulsadores y simulación del sistema.

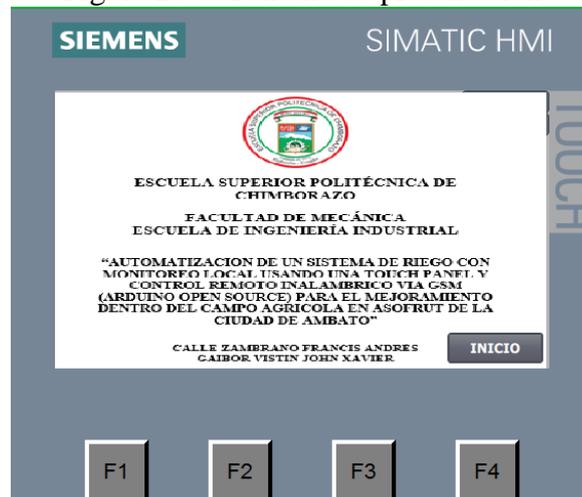
4.2.2.5 Descripción del sistema.

- **Pantalla de presentación.**

La pantalla de presentación es la primera que se observa cuando se ha iniciado la aplicación, se da a conocer el título del trabajo de titulación, nombres de los desarrolladores.

El único botón disponible en la pantalla es el que nos permite visualizar el inicio del sistema, donde se tendrá la opción para ir a la imagen del proceso de selección del modo como puede ser manual o automático.

Figura 20-4. Pantalla de presentación



Fuente: Autores

- **Pantalla de inicio.**

Esta pantalla nos permite desplazarnos desde la imagen de selección del modo manual o automático hacia la simulación. Con decir selección del sistema no se podrá cambiar el tipo de sistema de manual a automático sino de la selección de simulación en el estado que se encuentre.

Si el sistema se encuentra en modo manual en esta pantalla solo aparecerá el botón que llevara a la simulación de manual; si el sistema se encuentra en modo automático solo aparecerá el botón con el mismo nombre y en su fondo lleva el sello de la empresa ASOFRUT que dio la apertura para la realización del proyecto

Figura 21-4. Pantalla de inicio



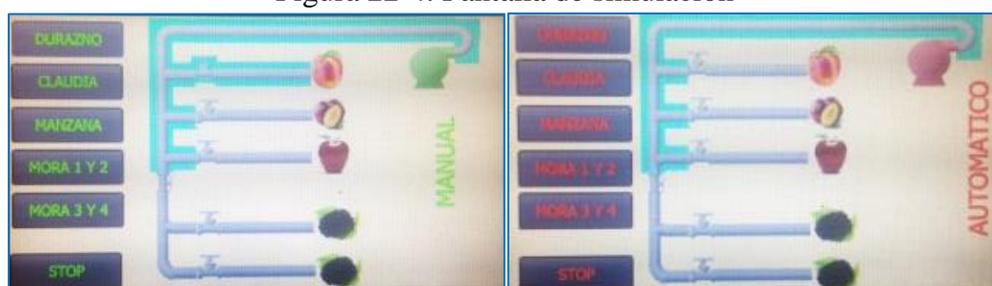
Fuente: Autores

- **Pantalla de simulación manual/automatico del sistema.**

Es la pantalla donde se encuentra la simulación de todo el proceso en modo manual o automatico en tiempo real, en dicha pantalla se puede observar la bomba, tubería, las válvulas solenoides, pulsadores identificados con nombre al cual se va a accionar y el pulsador de STOP, y el tiempo de trabajo en el cual se puede modificar desde la pantalla, los cuales son los elementos principales del sistema.

En la siguiente figura se identifica si se acciona el funcionamiento del riego, se modifica la apariencia de la tubería resaltándose, de azul de igual manera la válvula solenoide seleccionado.

Figura 22-4. Pantalla de simulación



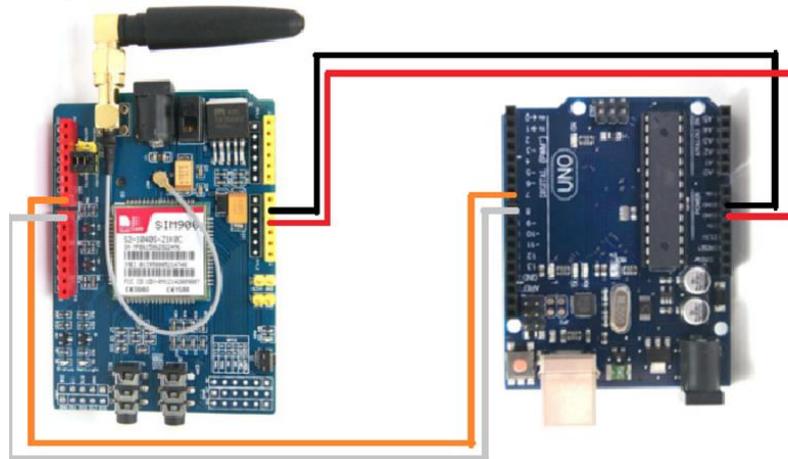
Fuente: Autores

4.2.3 *Mando remoto por GSM/GPRS*

4.2.3.1 Configuración tarjeta GPRS GSM. El sistema funcionará mediante el envío de mensajes de un dispositivo móvil hacia una tarjeta GSM GPRS que controlará las entradas del PLC con la ayuda de un módulo relé los pulsadores de accionamiento del PLC para q funcionen las válvulas solenoides son pulsadores normalmente abiertos a diferencia del pulsador de parada que es normalmente cerrado.

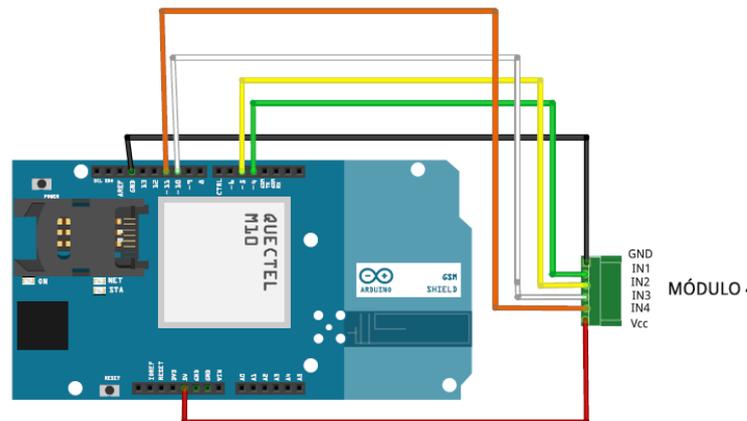
Es por la cual se conectara en paralelo a los pulsadores del mando local. Para la realización del mando remoto por GSM/GPRS, se elabora un diagrama eléctrico identificando los elementos y conexiones

Figura 23-4. Conexión Arduino UNO + Shield GPRS/GSM



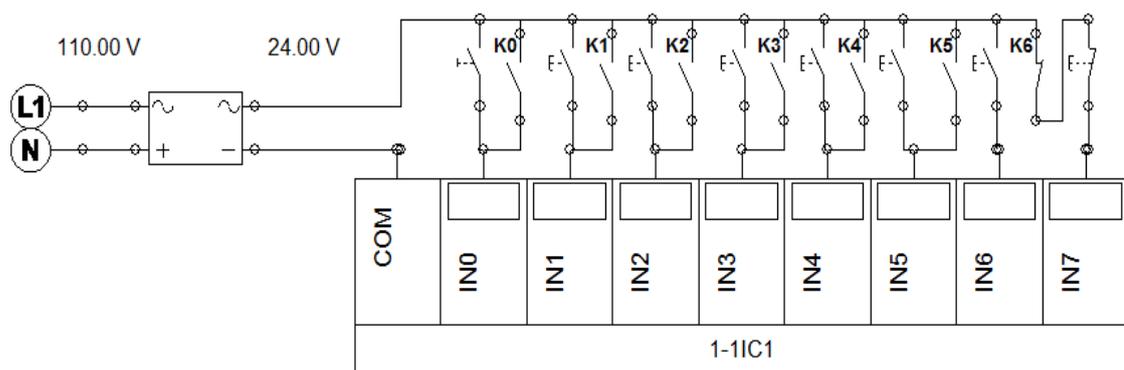
Fuente: Autores

Figura 24-4. Conexión Shield GPRS/GSM + módulo relé



Fuente: Autores

Figura 25-4. Conexión módulo relé + PLC



Fuente: Autores

Montaje Arduino UNO + Shield GPRS/GSM

Para lograr la comunicación se inserta el módulo Arduino uno debajo de la tarjeta GPRS GSM sim 900 de esta forma se obtiene un conjunto de control, previo a este montaje se debe conectar la antena GPRS/GSM e introducir una tarjeta SIM de cualquier operadora.

Figura 26-4. Montaje Arduino UNO + Shield GPRS/GSM



Fuente: Autores

Programación

Se realizar una programación para que sea cargada en el Arduino, esta programación tiene por objetivo codificar las instrucciones enviadas desde el celular para activar el pulsador requerido. La programación completa se encuentra en el anexo B

Figura 27-4. Programacion arduino

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial SIM900(7, 8);

int rele1 = 5;
int rele2 = 6;
int rele3 = 10;
int rele4 = 11;
int rele5 = 12;
int rele6 = 13;

void setup()
{
  Serial.begin(19200);
  pinMode(rele1, OUTPUT);
  pinMode(rele2, OUTPUT);
  pinMode(rele3, OUTPUT);
  pinMode(rele4, OUTPUT);
  pinMode(rele5, OUTPUT);
  pinMode(rele6, OUTPUT);
  digitalWrite(rele1, HIGH);
  digitalWrite(rele2, HIGH);
  digitalWrite(rele3, HIGH);
  digitalWrite(rele4, HIGH);
  digitalWrite(rele5, HIGH);
  digitalWrite(rele6, HIGH);
}
```

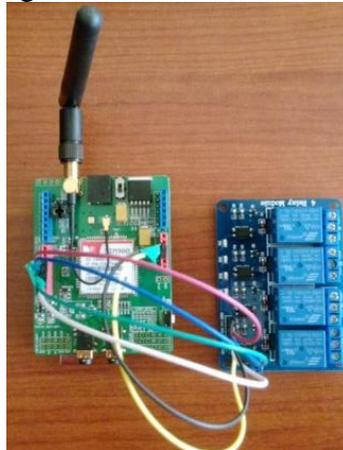
Fuente: Autores

Metodología de funcionamiento

El proceso funciona de la siguiente manera:

Cuando se envía un mensaje de texto este es detectado por la tarjeta shield GPRS GSM sim 900 que se comunica al Arduino uno por los pines 7, 8, los datos son enviados por medio de los terminales RX, TX en forma serial, el Arduino uno se programó con las condiciones necesarias para que según el caso accione una salida, estas salidas están conectadas a un módulo de relés por cada pulsador es decir 6 módulos relés.

Figura 28-4. Conexión relés



Fuente: Autores

Desde el celular se va a enviar #a0b0c0d0e0f0, en el cual va a representar lo siguiente.

Activación del sim 900, a0, a1 para activar el primer relé, b0, b1 para activar el segundo relé y así sucesivamente.

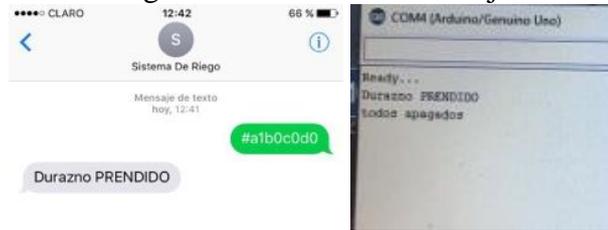
Tabla 3-4. Códigos de activación

Código	Fruta a regar
#a1b0c0d0e0f0	Durazno
#a0b1c0d0e0f0	Claudia
#a0b0c1d0e0f0	Manzana
#a0b0c0d1e0f0	Mora 1y2
#a0b0c0d0e1f0	Mora 3y4
#a0b0c0d0e0f1; #a0b0c0d0e0f0.	Stop

Fuente: Autores

De esta forma queda configurada el mando mediante mensajes de texto.

Figura 29-4. Envío de mensaje



Fuente: Autores

4.3 Pruebas de funcionamiento.

Después de colocar la bomba se realizaron pruebas sin conexión a la tubería principal, se observó que la descarga se realizó con normalidad, verificada la descarga se conecta la tubería principal con los accesorios correspondientes.

Una vez instalados todos los elementos hidráulicos y electrónicos se procede a realizar una prueba de funcionamiento de todo el sistema en modo manual y automático.

Se realizó un cuadro con todos los elementos sometidos a pruebas.

Tabla 4-4. Elementos sometidos a pruebas

ELEMENTO	FUNCIONA		COMENTARIOS
	SI	NO	
 Gprs	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
 Pantalla HMI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
 Fuente de poder	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
 Transformador monofásico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
 Contactor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
 Borneras	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
 Porta fusibles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
 Módulo relé	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Tabla 4-4. Elementos sometidos a pruebas

	Pulsadores	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Pulsador	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	selector	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Bomba	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Válvula durazno	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Válvula manzana	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Válvula Claudia 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Válvula mora 1y2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Válvula mora 3y4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Fuente: Autores

4.3.1 Pruebas del mando local. Las pruebas se lo realización en modo manual dejado el selector en 0 y presionado cada pulsador y constatando el paso del agua hacia el cultivo seleccionado, en forma automática dejando el selector en 1 y presionando un pulsador y esperando su desactivación.

4.3.2 Pruebas del mando desde pantalla HMI. En la pantalla HMI mientras se realizaba las pruebas con selector se constataba la aparición del botón manual o automático y su simulación según su funcionamiento.

Desde la pantalla se realizó la prueba de activación y desactivación del riego y visualización de la simulación

4.3.3 Mando remoto por GSM/GPRS. Una vez ya realizada la conexión física se procede a realizar la prueba del mando remoto por GSM/GPRS, enviando los códigos antes mencionado y esperando la respuesta de confirmación, la prueba se realizó enviando el código de durazno #a1b0c0d0e0f0 el cual remitirá un mensaje de confirmación de “Durazno PRENDIDO”, posteriormente se enviara un mensaje para detener el proceso

#a0b0c0d0e0f1 y #a0b0c0d0e0f0, recibiendo un mensaje de confirmación “TODOS APAGADOS”

4.4 Evaluación el mejoramiento del riego.

El sistema fue diseñado para mejorar el riego de los sembríos en ASOFRUT de forma automatizada.

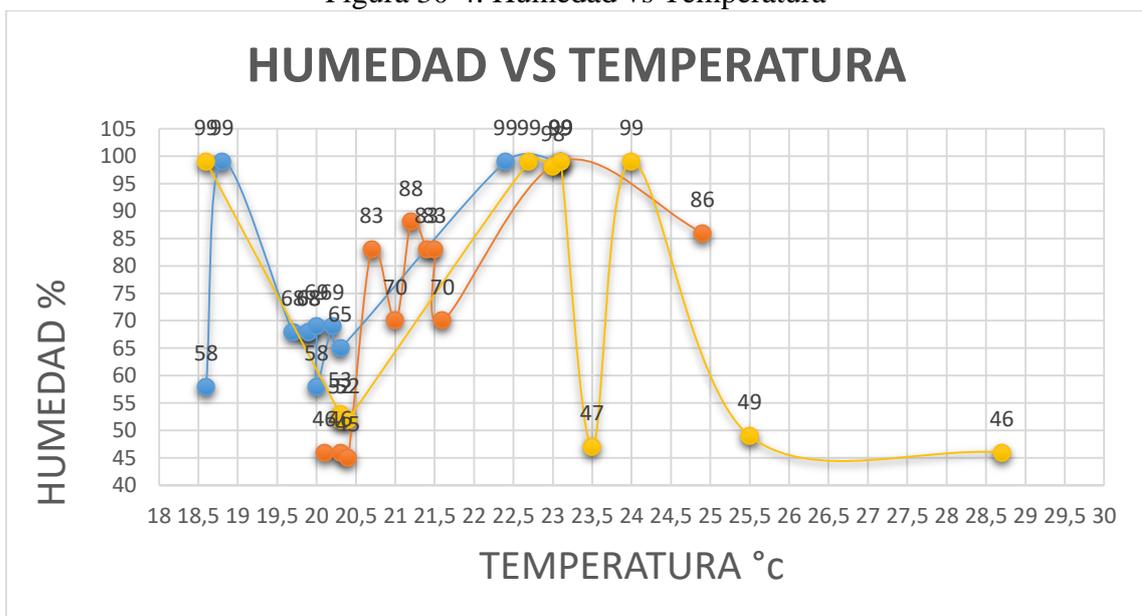
Se realizó una evaluación del mejoramiento del riego mediante mediciones de porcentaje de humedad y su respectiva temperatura en horarios establecidos

Tabla 5-4. Mediciones Humedad vs Temperatura

Medición 1		Medición 2		Medición 3	
TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %	TEMPERATURA °C	HUMEDAD %
18,6	58	20,1	46	18,6	99
18,8	99	20,3	46	20,3	53
19,7	68	20,4	45	20,3	52
19,9	68	20,7	83	20,4	52
19,9	68	21	70	22,7	99
20	69	21,2	88	23	98
20	58	21,4	83	23,1	99
20,2	69	21,5	83	23,5	47
20,3	65	21,6	70	24	99
22,4	99	23,1	99	25,5	49
23,1	99	24,9	86	28,7	46

Fuente: Autores

Figura 30-4. Humedad vs Temperatura



Fuente: Autores

4.5 Manual de operación y mantenimiento del sistema de riego automatizado por goteo.

4.5.1 *Riego por goteo.* Es un riego localizado que deposita gotas de agua directamente en las raíces de la planta mediante agujeros perforados en conductos de diámetros pequeños, este sistema es muy utilizado por su bajo costo.

4.5.2 *Ventajas del riego automatizado por goteo.*

- Riego localizado
- Bajo costo de inversión
- Ampliamente usado en lugares donde no hay gran cantidad de agua
- Este sistema puede ser automatizado completamente
- Reducción de problemas de plaga
- No importa las irregularidades del terreno se puede implementar en cualquier lugar.

4.5.1 *Operación.* El sistema de riego por goteo opera de forma automática por medio de un controlador lógico programable, el fluido es controlado por válvulas solenoides ubicadas en la red de distribución.

El agua es succionada por una bomba desde un reservorio para ser transportada por medio de varias tuberías a las diferentes plantaciones del terreno.

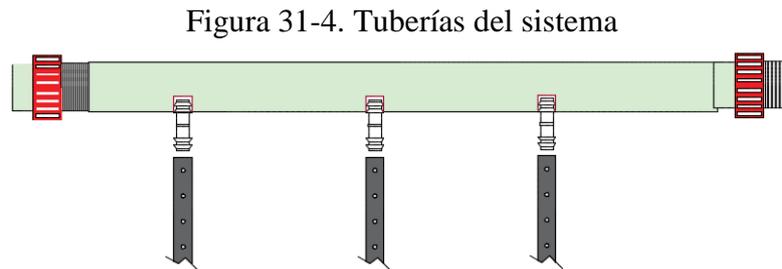
4.5.2 *Mantenimiento del sistema de riego automatizado por goteo.* El sistema está conformado por varios elementos que deben tener un mantenimiento periódico para alargar su vida útil, en este capítulo se describe el modo correcto de operación y cuidados básicos en varios de estos componentes.

Se deben realizar mantenimientos preventivos para evitar en lo posible mantenimientos correctivos, una herramienta importante es el trabajo de inspección visual que está enfocado a reconocer el estado del sistema.

El mantenimiento se realizará directamente en los accesorios de la tubería y en la caja de control del sistema.

A continuación, se menciona el mantenimiento en cada elemento.

4.5.3 *Mantenimiento de las líneas de distribución.* El sistema está compuesto por tuberías de distinto diámetro, es en estos elementos donde se producen obstrucciones de fluido por excesos de contaminantes, para evitar este problema se deben colocar filtros en la succión.



Fuente: Autores

Se debe recorrer la tubería que está sobre el terreno para verificar que no exista fuga de agua, si se observan fugas se ajustaran las tuberías roscadas y se unirán con pegamento las líneas de PVC.

Si se observan tuberías rotas se reemplazarán inmediatamente con un tubo del mismo diámetro.

Se debe tener especial cuidado en las mangueras con agujeros, al ser flexibles pueden doblarse y provocar que el agua no llegue a los sembríos.

Como las mangueras flexibles están en contacto directo con el terreno los agujeros se pueden obstruir por tierra u hojas secas, si se observa este problema las mangueras se limpiarán para que hidraten adecuadamente las raíces de las plantas.

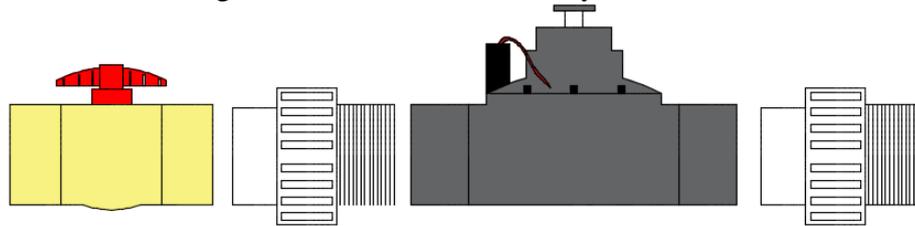
Si existen tuberías de PVC expuestas al sol es recomendable pintarlas de blanco para que no absorban directamente la luz solar.

Si se identifica una alta concentración de impurezas y bacterias se recomienda desinfectar toda la tubería con hipoclorito de sodio en concentraciones de 1ppm o lo que es lo mismo una bolsa de 250 cc para 250 litros de agua, se deben llenar las tuberías con esta concentración alrededor de 30 minutos y después soltar abundante agua.

4.5.4 *Mantenimiento de válvulas.* Las válvulas controlan el fluido de líquido en el sistema de riego en el caso de las válvulas solenoides esta operación la realizan automáticamente.

En el sistema están implementadas válvulas hidráulicas y solenoides.

Figura 32-4. Válvulas de bola y solenoides



Fuente: Autores

Se realizarán pruebas para constatar que las válvulas solenoides abran y cierren el fluido adecuadamente, si se nota fallas estas pueden ser provocadas por mala conexión o falta de voltaje adecuado.

Si se nota que las válvulas no se cierran pueden ser residuos de tierra u otro material que están interfiriendo en su interior, para solucionar este problema se deberá desmontar la válvula con cuidado y lavar todos sus componentes con agua limpia y después volver a montar la válvula.

Para esta operación se deben seguir los siguientes pasos:

- Apagar el suministro de agua, cerrar la válvula de bola de la red donde se encuentra la válvula.
- Desenroscar el solenoide (cilindro de color negro), para comprobar que esté funcionando correctamente se debe observar que el embolo interior se contraiga cuando recibe energía.
- Se debe desmontar el diafragma o muelle desenroscando los tornillos de la válvula, antes de sacar el diafragma se debe ver la orientación para luego montar este elemento correctamente.

- Se debe lavar el muelle para retirar cualquier impureza, el muelle debe contraerse y volver a su forma original adecuadamente, si se nota desgaste en este elemento se deberá reemplazar por un muelle de la misma dimensión.
- Se puede pasar un cable pequeño flexible por todo el cuerpo de la válvula mientras se lavan sus componentes para retirar cualquier tipo de obstrucción.
- Finalmente se deberá montar la válvula en el orden inverso de cómo se desmontó, los tornillos de la válvula siempre se apretarán a mano si se aprieta con demasiada fuerza la válvula puede sufrir daños.

Es recomendable que las válvulas de plástico se coloquen en un lugar que no tenga contacto con los rayos solares para alargar su vida útil.

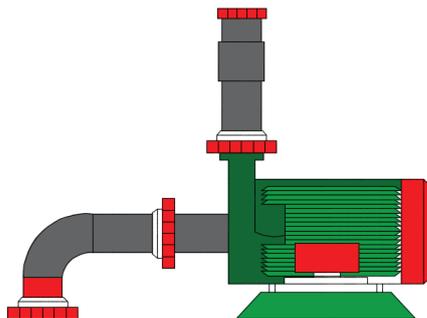
Las válvulas se deben cerrar de forma manual no utilizar ninguna herramienta porque pueden dañar el sistema de cierre.

4.5.5 *Mantenimiento de la bomba.* La bomba es la encargada de transformar la energía mecánica en hidráulica para aumentar la presión, de este modo el líquido transportado llega a su destino.

Solo se debe desmontar la bomba en casos excepcionales donde la bomba no tenga fuerza de succión o no encienda.

Las bombas funcionan con fuentes de energía derivados del gas licuado, gasolina o diésel en este sistema la bomba es accionada por una fuente eléctrica.

Figura 33-4. Bomba



Fuente: Autores

4.5.5.1 *Problemas que pueden presentarse*

- Falta de presión
- Ruidos en el interior de la bomba
- Fugas de agua
- Calentamiento excesivo de la bomba

4.5.5.2 *Posibles causas*

Falta de presión. Probable ingreso de aire en la tubería de succión, filtración en los acoples, válvulas mal cerradas.

Ruidos en el interior de la bomba. La bomba está mal nivelada, el eje del motor no gira correctamente.

Fuga de agua. Mal ajuste de la tubería, falta de teflón en las juntas de la bomba y tuberías.

Calentamiento excesivo de la bomba. La bomba esta forzada a trabajar a esa presión por aumento de líneas de riego, falta de ventilación en la cámara de aire, demasiada potencia.

4.5.5.3 *Recomendaciones para el Mantenimiento*

Nunca operar la bomba sin un filtro de aire.

No se recomienda que la bomba funcione por más de 4 horas seguidas si es necesario que la bomba funcione por más de este tiempo se deberá apagar por lo menos 30 minutos para ser encendida.

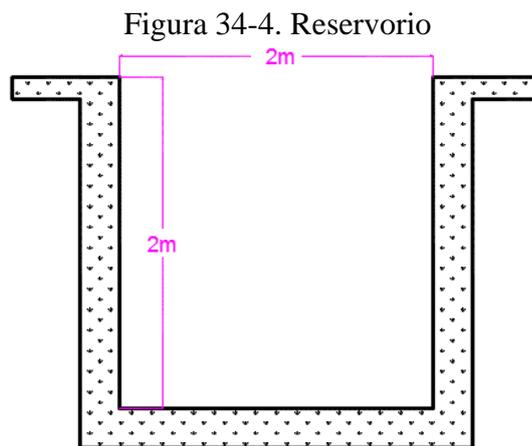
Colocar suficiente pegamento para tubería en las juntas.

Si no existe un fluido constante se puede deber a la presión del aire, para solucionar este problema es recomendable llevar a cabo el proceso de cebado que consiste en llenar de líquido la tubería de succión y la carcasa retirando un tornillo que se encuentra en la parte superior de la bomba, esto evitará que haya acumulación de bolsas de aire en el interior.

Cuando se presenten problemas mayores se deberá desmontar la bomba para limpiar las partes móviles y reemplazar los elementos que puedan haber sufrido desgaste.

Llevar un registro del mantenimiento de la bomba.

4.5.6 *Mantenimiento en el tanque reservorio.* El sistema implementado succiona agua directamente desde un tanque reservorio.



Fuente: Autores

El tanque reservorio se debe limpiar por los menos una vez al mes para remover impurezas ocasionadas por tierra, algas o acumulación de piedras u otros materiales.

Si se nota desgaste en las paredes o piso se deberá reparar con cemento impermeabilizante.

Siempre se mantendrá cerrada la puerta del reservorio para evitar el ingreso de materiales que puedan contaminar el agua.

Cuando se realice la limpieza del reservorio se inspeccionará el filtro a la entrada de la tubería de succión, si se nota que está desgastado se colocará un filtro nuevo.

4.5.7 *Mantenimiento de la caja de control.* Es en donde están colocados todos los dispositivos electrónicos de control, es la parte fundamental en el sistema de riego automático.

Figura 35-4. Caja de control



Fuente: Autores

El sistema de control es el alma de un riego automatizado, si se presenta averías o fallas en estos dispositivos el riego automático no funcionará.

Todos los dispositivos deben estar conectados correctamente.

Se deben realizar pruebas continuas de la comunicación inalámbrica del sistema.

Se debe asegurar el suministro continuo de energía.

Cuando no se activan las señales de salida del PLC se puede deber a una falla en la programación, para solucionar este problema se cargará nuevamente la programación.

4.5.8 Consideraciones para el correcto funcionamiento del sistema.

El sistema debe contar con agua continuamente considerando que la aplicación de agua es por periodos cortos.

La calidad física de agua es clave para el manejo correcto del sistema, los goteros se pueden obstruir por la presencia de sólidos o partículas de arena, para evitar este problema se colocarán filtros en la succión y a lo largo de la red de distribución.

Un sistema de riego por goteo es un sistema presurizado es decir funciona por la presión de agua suministrada en toda la red de conducción, la bomba se seleccionará según el número de ramales y las distancias que deberá cubrir para que la presión sea la adecuada en todo el terreno.

CAPITULO V

5. COSTOS DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL SISTEMA.

Para la implementación del sistema se consideraron las mejores ofertas de los dispositivos a instalar, en base a su rendimiento y calidad.

Los Costos directos corresponden a los elementos que influyen directamente en la instalación y los Costos Indirectos a los asignados a materiales y recursos secundarios.

5.1 Costos directos

Tabla 1-5. Costos directos.

Ítem	Denominación	Unidad	Precio unidad	Precio (USD)
1	Válvula solenoide 1"	5	80	400
2	Manguera de 2"	30 (m)	6	180
3	PLC S7-1200	1	700	350
4	Selector	1	6	6
5	Fuente de poder	1	30	30
6	Caja de control	1	100	100
7	Riel DIN	1	15	15
8	Transformador monofásico	1	30	30
9	Contactador	1	20	20
10	Borneras	5	1	5
11	Pulsador	7	2.50	17.50
12	Porta fusibles	5	6	30
13	Placa Arduino uno	1	20	20
14	Pantalla HMI KTP 400 Basic Panel	1	550	550
15	Modulo Gsm Sim900 Shield Arduino	1	100	100
16	Accesorios (codos, valvulas, uniones)			100
Total costos directos				1936

Fuente: Autores

5.2 Costos indirectos

Tabla 2-5. Costos Indirectos.

Ítem	Denominación	Precio (USD)
1	Transporte	50
2	Asesoramiento	50
4	Imprevistos	50
TOTAL		150

Fuente: Autores

5.3 Costo total

Tabla 3-5. Costos totales

Ítem	Denominación	Precio (USD)
1	Costos directos totales	1936
2	Costos indirectos totales	150
TOTAL		2086

Fuente: Autores

El costo de implementación del sistema de riego es de USD 2086

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se realizó el diseño idóneo para la realización del sistema de riego el cual fue el sistema por goteo para la plantación multi-frutal en asofrut, se implementó tubería de PE, válvulas selenoides y una bomba.

Para el control y monitoreo se lo realizó con la ayuda de un PLC S7-1200 que es el cual realiza las actividades de accionamiento de bomba y selenoides que da el paso al riego a las plantaciones; y con una pantalla KTP400 en la cual se realizó un pantalla de mando y simulación.

Se realizó un mando inalámbrico con el fin de controlar el sistema de forma inalámbrica mediante el envío de mensajes de texto, el cual remite un mensaje de activación.

Se comprobó el mejoramiento de riego en las plantaciones mediante una comparación de niveles de humedad en los cuales se analizaron las mediciones en las horas de mayor incidencia solar y se obtuvo un promedio de 66% de humedad a una temperatura de 21,3 °C.

Se diseñó un manual para la utilización y preservación del sistema para proceder de la mejor manera en el cuidado de los elementos que conforman el sistema de riego.

6.2 Recomendaciones

En el diseño del sistema se debe tomar en cuenta al momento de instalar las válvulas selenoides no se debe posicionar objetos pesados sobre ellas.

Se debe realizar un correcto montaje de los elementos de monitoreo y control para que desempeñen su correcto funcionamiento, y revisar el interfaz PLC-HMI.

Para el mando inalámbrico se debe tener en cuenta que dicho mando cuenta con saldo en el SIM CARD para su correcto funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

BIOMANANTIAL. *Biomanantial*. [En línea] Colombia: 2016 [Consulta: 18 de enero de 2017.] Dponible en: www.biomanantial.com.

SALON EMPRENDEDOR. *Riego especializado* . [En línea] Mexico: 2014 [Consulta: 21 de marzo de 2017.] Dponible en: <http://salonemprendedor-es.blogspot.com/2014/06/>.

GARCÍA, Andrés. *Control automático en la industria*. [En línea] España : 2005. pp. 55-62. [Consulta: 3 de Febrero de 2017.] Dponible en: <https://www.casadellibro.com/libro-el-control-automatico-en-la-industria/9788484274056/1053258>

ING. RUEDA, Carlos. *Automatización industrial: Áreas de aplicación de la ingeniería*. (tesis). Universidad Rafael Landívar-Facultad de Ingeniería, Mexico: 2011. pp 46-48. [Consulta: 23 de Febrero de 2017.] Dponible en: <https://canaleslicla.files.wordpress.com/2013/10/capitulo2.pdf>

AROCA DELHI, Alex Armando. *Implementacion de un plc-controlador lógico programable en el area agricola para la mejora de la produccion. (Tesis) (Ingenieria)* Escuela Superior Poitecnica del Litoral facultad de informacion tecnica, Guayaquil-Ecuador : 2016. pp 36-41 [Consulta: 13 de Febrero de 2017.] Dponible en: <http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?...>

SEBASTIAN. *Tecnonauta*. [En línea] 2014. [Consulta: 24 de abril de 2017.] Dponible en: <http://www.tecnonauta.com/notas/1881-impresoras-3d-materiales>.

EL TELEGRAFO. *5,4 millones se producen al dia*. [En línea] Ecuador: 2016. [Consulta: 18 de febrero de 2017.] Dponible en: <http://www.eltelegrafo.com.ec>.

