UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO EFICIENTE, ENFOCADO A SECTORES RURALES DE LA PROVINCIA DE LOJA

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECÁNICO

AUTOR:

Byron David Martínez Lanche.

DIRECTOR:

Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2021

CERTIFICACIÓN

CERTIFICACIÓN

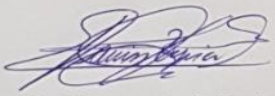
Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en: **"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO EFICIENTE, ENFOCADO A SECTORES RURALES DE LA PROVINCIA DE LOJA"**; previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el señor egresado Byron David Martínez Lanche, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 11 de marzo de 2020.



Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **BYRON DAVID MARTÍNEZ LANCHE**, declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional - Biblioteca virtual.

Autor: Byron David Martínez Lanche

Firma: .....

Cédula: 1900734946

Fecha: Loja, 28 de enero del 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN.

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **BYRON DAVID MARTÍNEZ LANCHE**, declaro ser autor de la tesis titulada: **"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO EFICIENTE, ENFOCADO A SECTORES RURALES DE LA PROVINCIA DE LOJA"**, como requisito para optar al grado de **INGENIERO ELECTROMECÁNICO**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional.

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

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 28 días del mes de enero del dos mil veintiuno.

Firma: .....

Autor: Byron David Martínez Lanche

Cédula: 1900734946

Dirección: Zamora, Av. Podocarpus vía el Remolino

Correo Electrónico: bdmartinezl@unl.edu.ec

Teléfono: 072605804 **Celular:** 0988967020

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo, Mg. Sc.

Ing. Carlos Gustavo Samaniego Ojeda, Mg. Sc.

Ing. Jefferson Fernando Camacho Muñoz, Mg. Sc

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por concederme salud e iluminarme en la formación como estudiante universitario y por permitirme culminar esta hermosa carrera, de la misma manera, agradezco a mis padres, hermanos, compañeros y amigos por su apoyo incondicional.

Dejo constancia de mi eterno agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, Carrera de Ingeniería Electromecánica, por impartirme conocimientos enriquecedores a través de sus docentes, que no solo me apoyaron en mi formación intelectual, sino que supieron aconsejarme y ayudarme durante el trayecto universitario para contribuir con el noble propósito de formar profesionales de calidad para el Ecuador.

Agradezco al Ing. Darwin Giovanny Tapia Peralta, Mg. Sc., porque con su ayuda se hizo posible la feliz culminación de este proyecto investigativo, gracias por su entusiasmo, motivación, paciencia y buena predisposición.

Finalmente, expreso mi gratitud a la Institución Pública INAMHI que aportó con datos meteorológicos de la parroquia Malacatos para el presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto investigativo con especial afecto y consideración a:

Mis padres y hermanos, quienes han sido y son la lumbrera de mi destino profesional, porque siempre me han impulsado a esforzarme permanentemente para formarme académicamente, y así forjar un futuro diferente, digno de una nueva sociedad. También dedico este trabajo a mis compañeros, docentes y amigos, por incentivarme, motivar y ayudarme durante este arduo camino hacia la profesionalización de Ingeniero Electromecánico.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN II

AUTORÍA III

CARTA DE AUTORIZACIÓN. IV

AGRADECIMIENTO V

DEDICATORIA VI

TABLA DE CONTENIDO VII

ÍNDICE DE FIGURAS XI

ÍNDICE DE TABLA XVI

1. TÍTULO. 1

2. RESUMEN 2

3. INTRODUCCIÓN. 4

4. REVISION DE LITERATURA. 7

4.1 Sistema de riego 7

4.1.1 Origen del sistema de riego 7

4.1.2 Tipos de sistema de riego. 8

4.2 Análisis Agronómico. 12

4.2.1 Textura y producción agrícola en la provincia de Loja 12

4.2.2 Características del cultivo de Maíz. 18

4.2.3 Clima-Agua-Planta 19

4.2.4 Suelo-agua-planta 20

4.2.5 Diseño Agronómico. 22

4.5 Nociones Hidráulicas. 27

4.5.1 Ecuación de Bernoulli. 27

4.5.2 Caudal. 28

4.5.3 Valores de rugosidad, ϵ para tuberías comerciales. 30

4.5.4 Factor de Fricción Hazen-Williams, CHW 30

4.5.5 Pérdidas primarias y secundarias en tuberías. 31

4.5.6 Ecuación general de las pérdidas primarias: Ecuación de Hazen-Williams. .. 31

4.5.7 El coeficiente £ de la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias. 32

4.5.8 Potencia Hidráulica. 33

4.5.9 Tuberías de conducción y laterales de riego 33

4.5.10 Cavitación. 34

4.6 Nociones económicas. 35

4.6.1 Valor Presente Neto (VPN). 35

4.6.2 Tasa Interna de Retorno (TIR). 35

4.6.3 Periodo de Recuperación (Payback). 36

4.6.4 Relación Beneficio Costo (B/C) 36

4.7 Proceso de Automatización. 36

4.8 Sistemas electrónicos. 37

4.9 Software de programación. 38

4.9.1 El programa Cropwat® 8.0. 38

4.9.2 El programa Epanet® 2.0. 38

4.9.3 El programa AutoCAD®. 39

4.9.4 El programa Proteus® 8.9 39

4.9.5 Logo!Soft Comfort V8.0 40

4.9.6 El programa Arduino®. 41

5. MATERIALES Y METODOS. 42

5.1 Materiales 42

5.2 Métodos. 47

6. RESULTADOS 49

6.1 Levantamiento técnico de la zona de estudio 49

6.2 Diseño de un sistema de riego tecnificado que se adapte a la zona. 50

6.2.1 Diseño de riego por aspersión para el cultivo de maíz 51

6.2.2 Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión. 54

6.2.3 Propuesta de la arquitectura de automatización en PLC logo para el terreno de estudio 92

6.3 Viabilidad económica y energética para la aplicación de la propuesta 95

6.4 Construcción de un prototipo de riego automatizado a escala..... 99

6.4.1 Propuesta arquitectónico del prototipo a escala..... 99

6.4.2 Programación del Arduino mega y Arduino uno para el sistema de riego automatizado..... 105

6.4.3 Construcción del prototipo..... 118

7. DISCUSIÓN. 127

8. CONCLUCIONES..... 129

9. RECOMENDACIONES..... 130

10. BIBLIOGRAFÍA 131

11. ANEXOS. 135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Riego de inundación para el cultivo de arroz. 8

Figura 2: Riego por surcos.. 9

Figura 3: Riego por aspersión 9

Figura 4: Riego por goteo 11

Figura 5: Cantones de la provincia de Loja 12

Figura 6: Fruto de la Planta de Maíz. 19

Figura 7: Curva Generalizada del Kc. 20

Figura 8: Triangulo de texturas del suelo. 21

Figura 9: Disposición entre aspersor. 26

Figura 10: Elemento del fluido utilizado en la ecuación de Bernoulli. 27

Figura 11: Arduino Mega 2560. 42

Figura 12: Sensor de humedad de suelo Higrómetro FC-28. 43

Figura 13: Sensor de lluvia. 44

Figura 14: Sensor de flujo. 45

Figura 15: Módulo de relé de 4 y una válvula solenoide 45

Figura 16: Electroválvula solenoide. 46

Figura 17: Pantalla LCD. 46

Figura 18: Alturas geodésicas del terreno. 54

Figura 19. Distribución de tuberías y espaciamiento de aspersores 55

Figura 20: Parcela 3 57

Figura 21: Diagrama Hidráulico. 81

Figura 22: Curva Característica de la Instalación (cci). 86

Figura 23: Curva Característica de la Bomba. 87

Figura 24: Punto de Funcionamiento real de la bomba. 87

Figura 25: Demanda de agua de cada aspersor. 90

Figura 26: Presiones de cada aspersor. 90

Figura 27: Diseño del riego automatizado por Logo Soft. 92

Figura 28: Programación del riego automatizado con fertilizantes. 93

Figura 29: Flujograma para la programación del prototipo del sistema de riego automatizado. 99

Figura 30: Esquema de conexión de la fuente de alimentación. 100

Figura 31: Conexión de los sensores de humedad del suelo y el de lluvia. 101

Figura 32: Conexión del Caudalimetro al Arduino uno. 101

Figura 33: Conexión de módulo de relé de 8. 102

Figura 34: Diseño para el riego manual. 102

Figura 35: Conexión de la LCD y el módulo I2C. 103

Figura 36: Placa electrónica para el Arduino uno para la comunicación serial. 103

Figura 37: Placa Electrónica para el control del Arduino mega. 104

Figura 38: Librerías del programa Arduino®. 105

Figura 39: Variables a utilizar, factor de conversión del caudalimetro en el Arduino. 105

Figura 40: Funciones que se ejecuta en interrupción y frecuencia de pulsos para el caudalimetro. 106

Figura 41: Código del caudalimetro y comunicación serial. 106

Figura 42: Librería de la LCD y las variables de los sensores analógicos. 107

Figura 43: Variables del sensor digital y entradas para el riego manual. 107

Figura 44: Variable del estado de los pulsadores, variables de bandera, salidas digitales con su respectivo pin y variable para la comunicación serial. 108

Figura 45: Declarar los pines de entrada analógicos. 108

Figura 46: Entradas manuales para el riego controlado con pulsadores y salidas digitales para el riego automático. 109

Figura 47: Configuración de los pines de salida. 109

Figura 48: Configuración de los mensajes de la LCD para la visualización. 109

Figura 49: Configuración del caudalimetro y lectura de la LCD. 110

Figura 50: Lectura y verificación del riego manual. 110

Figura 51: Código para que el riego manual de un error si se selecciona una parcela sin seleccionar la bomba o cuando se seleccione las dos bombas. 111

Figura 52: Configuración del riego manual con agua. 111

Figura 53: Configuración del riego manual con fertilizantes. 111

Figura 54: Lectura de los sensores de humedad de suelo y lluvia, código del riego manual en apagado. 112

Figura 55: Riego manual en apagado y visualización en la LCD. 112

Figura 56: Visualización de la LCD cuando da un error en el riego manual por seleccionar agua y fertilizante al mismo tiempo, ocasionando el apagado de todas sus salidas tanto de las bombas como de las válvulas. 113

Figura 57: Visualización de la LCD cuando da un error en el riego manual por seleccionar dos o más parcelas al mismo tiempo, ocasionando el apagado de todas sus salidas tanto de las bombas como de las válvulas. 113

Figura 58: Código para la selección de riego de agua manual. 114

Figura 59: Código para la selección de riego de fertilizante manual. 114

Figura 60: Mensaje de visualización de la LCD para la lluvia. 115

Figura 61: Mensaje de visualización de la LCD para los sensores de humedad. 115

Figura 62: Programación de la activación de las válvulas y bombas para el riego automático por medio de los sensores de humedad para las parcelas 1 y 2. 116

Figura 63: Programación de la activación de la válvula y bomba para el riego automático por medio del sensor de humedad para la parcela 3. 116

Figura 64: Desactivación del riego cuando presenta lluvia. 117

Figura 65: Verificación de la subrutina del riego manual. 117

Figura 66: Código del tiempo de riego de cada parcela. 118

Figura 67: Cortadora de disco. 119

Figura 68: Limpieza de la alimaña. 119

Figura 69: Corte con plasma. 119

Figura 70: Soldadura con MIG. 120

Figura 71: Acabado de la mesa del prototipo. 120

Figura 72: Placa electrónica. 120

Figura 73: Soldadura de relé. 121

Figura 74: Circuito electrónico. 121

Figura 75: Presentación de la pantalla LCD. 122

Figura 76: Presentación de los valores del sensor de lluvia. 122

Figura 77: Presentación de los valores de caudal. 123

Figura 78: Presentación de los valores de humedad de los sensores. 123

Figura 79: Parcela 2 requiere agua. 123

Figura 80: Lectura del caudal que circula por la tubería. 124

Figura 81: Salida del recurso hídrico..... 124

Figura 82: Humedad del suelo 30%, se apaga la bomba y funciona los sensores con sus respectivas lecturas. 124

Figura 83: Apagado de la bomba..... 124

Figura 84: Sensor de lluvia**.**..... 125

Figura 85: Se proporciona agua al sensor de lluvia..... 125

Figura 86: Lectura del sensor de lluvia mayor al 20%, apagando el sistema de riego. 125

Figura 87: Sistema de riego sin circulación del agua. 126

Figura 88: Pulsadores del sistema de riego Manual. 126

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Propiedades Hídricas de los suelos..... 22

Tabla 2: Valores de rugosidad ϵ..... 30

Tabla 3: Valores de Fricción CHW. 30

Tabla 4: (Patm - Pvap) en función de Temperaturas y Altitudes. 35

Tabla 5: Recolección de datos de la circulación de agua del canal para el cálculo del caudal..... 55

Tabla 6: Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 0-1 59

Tabla 7: Pérdidas de carga por accesorios en la succión. 60

Tabla 8:Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 1-2 61

Tabla 9: Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 2-3. 63

Tabla 10: Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 3-4. 66

Tabla 11:Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 4-5 68

Tabla 12:Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 5-6 70

Tabla 13: Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 6-7 72

Tabla 14:Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 7-8 74

Tabla 15: Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 8-9 76

Tabla 16: Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 9-10 79

Tabla 17:Pérdidas de carga por accesorios en el tramo 9-10..... 80

Tabla 18: Diferentes valores de caudal para el cálculo del Hmi de la Ec 26..... 85

Tabla 19: Puntos de coordenadas de caudal y altura de la bomba A de Gould Pum Anexo N° 8. 86

Tabla 20: Requerimiento del sistema de riego por aspersión. 91

Tabla 21: Distancia de funcionamiento del sensor SHT10..... 94

Tabla 22: Mantenimiento de sistema de aspersión automatizado..... 94

Tabla 23: Materiales para el riego por aspersión. 95

Tabla 24: Costo de materiales para la automatización. 96

Tabla 25: Ingresos y Egresos de la producción de maíz por hectárea mediante un riego tecnificado. 97

Tabla 26: Cálculos económicos para la viabilidad de un riego automatizado**.**..... 97

SIMBOLOGÍA AGRONÓMICA

Nombre de la magnitud	Símbolo de la magnitud	Unidad
Evapotranspiración del cultivo	ETc	mm/dia
Evapotranspiración de referencia	ETo	mm/dia
Coeficiente del cultivo	Kc	-------
Lámina de agua aprovechable	LAA	mm
Capacidad de campo	CC	%
Punto de marchitez permanente	PMP	%
Densidad aparente	Da	g/cm^3
Densidad del agua	Dw	g/cm^3
Profundidad radicular efectiva del cultivo	PROF	M
Lámina de agua rápidamente aprovechable	LARA	mm
Criterio u Umbral de riego	UR	%
Frecuencia de riego	FR	Días
Área mínima a regar	Amin	m^2
Lámina bruta	Lb	mm
Eficiencia del riego por aspersión	Na	%
Intensidad de precipitación	IP	mm
Caudal del aspersor	Qasp	$\frac{m^3}{s}, \frac{l}{s}$
Espaciamiento lateral	E_{lat}	M
Espaciamiento entre aspersor	E_{asp}	m
Tiempo de riego	Tr	hr
Número de aspersores	Np	--------
Superficie de riego	Sr	m^2
Caudal de diseño	$Q_{diseño}$	$\frac{m^3}{s}, \frac{l}{s}$

SIMBOLOGÍA HIDRÁULICO

Nombre de la magnitud	Símbolo de la magnitud	Unidad
Caudal	Q	m^3/s, l/s, gpm
Velocidad	V	m/s
Tiempo	T	s
Diámetro	D	m
Gravedad	G	m/s^2
Coeficiente adimensional de pérdidas de cargas secundarias.	£	------
Pérdida total	Hr	m
Pérdidas primarias	Hrp	m
Pérdidas secundarias	Hrs	m
Potencia	Pot	KW, W, HP
Peso específico	γ	N/m^3
Eficiencia	n	%
Aspiración positiva neta requerida	NPSHr	m
Aspiración neta disponible	NPSHa	m
Presión atmosférica	Patm	mca
Presión de saturación del vapor	Pvap	mca
Altura	z	m
Presión	P	mca, psi
Altura manométrica de la instalación	Hmi	mca

1. TÍTULO.

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO EFICIENTE, ENFOCADO A SECTORES RURALES DE LA PROVINCIA DE LOJA.

2. RESUMEN

En el presente proyecto de investigación, se realizó un prototipo de riego automatizado, que tiene como principal ventaja aumentar la eficiencia en el gasto de agua, tiempo y mano de obra, así mismo, mejorar la producción de los cultivos y la calidad de cada uno de ellos.

Se elaboró una investigación minuciosa en el diseño agronómico, hidráulico y programación para obtener los conocimientos necesarios para el sistema de riego tecnificado.

Los correspondientes softwares que se empleó son:

- ✓ AutoCAD® para elaborar el croquis del terreno.
- ✓ CropWat® que ayudó para el cálculo de evapotranspiración referencial.
- ✓ Epanet® para corroborar los cálculos de diseño hidráulicos y la presión que va a tener en cada uno de los aspersores.
- ✓ Proteus® para el diseño de la placa electrónico.
- ✓ Logo!Soft Comfort® para la programación del sistema de riego automatizado.
- ✓ Arduino® para el código de programación del prototipo de riego.

Este sistema de riego automatizado ayuda a monitorear el estado del terreno mediante una pantalla LCD, que indica la humedad de cada parcela en tiempo real, cada zona tiene su respectivo sensor de humedad, relé y su dependiente válvula solenoide que por medio de la señal que envía el sensor de humedad hace que se active el relé y abra su respectiva electroválvula. También tiene un sensor de lluvia que ayuda a desactivar las bombas y las válvulas solenoides para aprovechar este recurso, si el diluvio termina y el sensor de humedad señala que falta irrigar este sistema de riego se activa, hasta llegar a la humedad programada. Además, tiene una parte manual para que el agricultor fertilice sus productos de acuerdo a su conveniencia.

PALABRAS CLAVES: Arduino, eficiente, maíz, riego, sistema automatizado.

SUMMARY

In the present research project, a prototype of automated irrigation was carried out, which has the main advantage of increasing efficiency in the expenditure of water, time and labor, as well as improving crop production and the quality of each one of them.

Thorough research in agronomic, hydraulic and programming design was carried out to obtain the necessary knowledge for the technified irrigation system.

The corresponding softwares that were used are:

- ✓ AutoCAD® to make the terrain sketch.
- ✓ CropWat® that helped to calculate the referential evapotranspiration.
- ✓ Epanet® to corroborate the hydraulic design calculations and the pressure that will be in each of the sprinklers.
- ✓ Us Proteus® for the design of the electronic board.
- ✓ Logo! Soft Comfort® for programming the automated irrigation system.
- ✓ Arduino® for the programming code of the irrigation prototype.

This automated irrigation system helps to monitor the state of the land through an LCD screen, which indicates the humidity of each plot in real time, each zone has its respective humidity sensor, relay and its dependent solenoid valve that through the signal that sends the humidity sensor causes the relay to activate and open its respective solenoid valve. It also has a rain sensor that helps deactivate the pumps and solenoid valves to take advantage of this resource, if the flood ends and the humidity sensor signals that irrigation is not needed, this irrigation system is activated, until reaching the programmed humidity. In addition, it has a manual part for the farmer to fertilize his products according to his convenience.

KEY WORDS: Arduino, efficient, corn, irrigation, automated system.

3. INTRODUCCIÓN.

El riego agrícola es una de las prácticas más antiguas utilizadas por el hombre, para suministrar humedad en el suelo y obtener el crecimiento adecuado de la especie vegetal; el cual ha ido evolucionando desde la antigüedad hasta la actualidad.

Hoy en día tenemos diferentes sistemas de riegos como son: por inundación, surcos, aspersión y por goteo, todos ellos tienen como objetivo abastecer de agua al terreno con la finalidad de generar el crecimiento apropiado del cultivo.

El sistema de riego por inundación, es considerado uno de los primeros métodos de riego, su forma consiste en la apertura y cierre de compuertas que son accionadas por medio de un operario permitiendo o impidiendo el ingreso de agua en la zona de cultivo.

El riego por surcos se caracteriza por el lento recorrido del agua que se infiltra a través de los surcos, teniendo una pendiente suave uniforme, que es alimentada por pequeños canales, provocando que el agua se filtre a lo largo de la parcela.

El sistema de riego por aspersión puede ser controlado tanto en tiempo como en la intensidad en la que sale el agua, porque está controlada por medio de emisores denominados aspersores, los mismos que están diseñados para operar a seis diferentes presiones logrando una variada distribución y diversidad del flujo del agua.

El riego por goteo se caracteriza por la aplicación de agua en el cultivo en forma de gotas de manera localizada y en cantidades estrictamente necesarias, aplicando dosis requeridas de agua directamente sobre la planta mediante intervalos para mantener la humedad necesaria en el suelo.

Para el diseño agronómico se hizo una investigación bibliográfica para conocer las características y necesidades hídricas de un cultivo, y realizar los respectivos cálculos. Además, se empleó un software CropWat AutoCAD® que ayudó para el cálculo de la evapotranspiración referencial.

Luego se realizó los cálculos hidráulicos para determinar el caudal de diseño, y la altura manométrica más adecuada para que la instalación de la bomba permita el funcionamiento de todos los aspersores.

Se llevó a cabo cálculos de viabilidad económica y energética del proyecto para indicar el tiempo que se tardaría en la recuperación del capital invertido.

La automatización es un sistema que permite realizar un sinnúmero de procedimientos, remplazando al operador de manera mental y físicamente; estos sistemas automatizados contribuyen de diversas maneras en la vida de los grandes y pequeños agricultores, debido a la disminución en mano de obra, además permite llevar un control de la humedad del suelo por medio de los sensores para obtener una cosecha favorable.

Entre las ventajas que pueden ofrecer estos programas automatizados tenemos:

- Contribuyen a tener un adecuado riego, debido a que los sensores controlan la humedad del suelo.
- Proporciona estabilidad, pues estos sistemas evitan los errores que son cometidos comúnmente por el agricultor.
- Permite al agricultor tener un ahorro en la mano de obra y se evita el desperdicio del agua, porque ciertos suelos y cultivos necesitan menos o más agua que otros.

Sin embargo, al ser un sistema programado, también puede tener ciertos defectos, siendo el principal el costo de estos aparatos, especialmente para los pequeños agricultores, debido a que requieren mantenimiento con personal especializado, también disponer de energía eléctrica para no interrumpir su funcionamiento y poder leer la información establecida en la programación, logrando así un riego de calidad.

En el presente trabajo se han propuesto los siguientes objetivos:

Objetivo General.

Proponer un sistema de riego automatizado eficiente, enfocado a sectores rurales de la provincia de Loja.

Objetivos Específicos.

- Realizar el levantamiento técnico de la zona de estudio y organizar la información recolectada.
- Diseñar un sistema de riego tecnificado que se adapte a la zona.
- Realizar un análisis de viabilidad económica y energética para implementar la propuesta.
- Construir un prototipo de riego automatizado a escala, como banco de pruebas para el Laboratorio de Energía y Fluidos

4. REVISION DE LITERATURA.

4.1 Sistema de riego

Los sistemas de riego se definen como infraestructura hidráulica que permite proveer de la cantidad de agua necesaria a una determinada área de cultivo; es decir, son aquellas técnicas de riego que se utilizan para proporcionar la medida exacta de agua a plantas, por ejemplo, gracias a que en todos los sistemas de riego se puede obtener una elevada uniformidad, esto permite hacer un uso más eficiente del agua disponible, maximizar la producción y limitar las pérdidas de agua por percolación profunda. Uno de los primeros pasos para utilizar el agua eficientemente es conocer cómo utilizarlo, ya sea para el agricultor que desea hacer de su cultivo lo más productivo posible como para el pequeño jardinero. (Sanchez & Vinueza, 2007)

4.1.1 Origen del sistema de riego

El riego agrícola es una de las practicas más antiguas utilizadas por el hombre para producir sus alimentos. Se puede definir como la aplicación artificial de agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo. (Gurovich, 1985)

El sistema de riego es considerado uno de las labores agronómicas más importantes, debido a que permiten el desarrollo agrícola de los cultivos incrementando sus rendimientos. (Laverde, 2016)

Durante la Edad de Bronce, iniciada alrededor de 3500 años a.C., las primeras grandes obras de riego se desarrollaron en Egipto y Mesopotamia. Cuando el hombre descubrió algunos métodos para producir alimentos se hizo necesario su establecimiento en un lugar, por lo menos durante el tiempo que demoraba el desarrollo completo de un cultivo (desde el momento de la siembra hasta la cosecha). Los descubrimientos arqueológicos indican que esto ocurrió alrededor de 5000 años a.C. en los territorios ocupados por Egipto, Irán, China, Turquía, España, Inglaterra, Perú, México y el Sur de los Estados Unidos.

Las comunidades que vivieron en zonas donde la lluvia era abundante y bien distribuida, y bajo otras condiciones favorables de la naturaleza, pudieron cultivar sus alimentos sin necesidad de preocuparse por el riego; en aquellas zonas en donde la cantidad y la

distribución del agua no correspondía a los requerimientos de agua de los cultivos, los seres humanos debieron desde muy temprano preocuparse por asegurar el abastecimiento de agua para las superficies cultivadas. (Gurovich, 1985)

4.1.2 Tipos de sistema de riego.

Existen diferentes tipos de riego que se han venido generando a lo largo de la historia. Dentro de ellos encontramos sistemas de riego tales como: por inundación, surcos, aspersión, micro aspersión, goteo. Todos ellos tienen como objetivo abastecer de agua a un cierto terreno con el fin de generar el crecimiento del cultivo. Estos sistemas ofrecen grandes ventajas y desventajas dependiendo del método de riego que se ha de utilizar.

- ✓ **Riego por inundación.**

Figura 1: *Riego de inundación para el cultivo de arroz.*

Fuente: *(Santos, Picornell, & Velero, 2004)*

El riego por inundación, también conocido como riego por tendido, es un sistema de riego que existe desde hace muchos años atrás, que se caracteriza por ser uno de los primeros métodos de riego para los suelos y cultivos. Su forma de regar, es muy básica, consiste en la apertura y cierre de compuertas que son accionadas por medio de un operario. Estas permiten o impiden el ingreso de agua en la zona de cultivo dependiendo del estado en que se encuentren. Sin embargo, este sistema es calificado como uno de los más ineficientes debido a que el consumo de agua es muy alto, por la razón que presenta inconvenientes especialmente las grandes pérdidas por infiltración y evaporación durante el transporte del agua y el riego de las tierras; también en zonas con pendiente con este sistema de riego, los terrenos agrícolas son vulnerables a la erosión y arrastre de las capas superficiales del suelo, perjudicando la calidad de la misma, lo que también afecta en la calidad de los productos. (Salcedo, 2014)

- ✓ **Riego por surcos.**

***Figura 2**: Riego por surcos..*

***Fuente:** (Santos, Picornell, & Velero, 2004)*

En este sistema el agua corre lentamente y se infiltra a través de los surcos o también conocido riego por gravedad, estos deben tener pendientes suaves, uniforme y ser alimentados por pequeños caudales para que la mayor parte del agua que escurre por ellos se vaya infiltrando uniformemente a lo largo de la parcela. (Santos, Picornell, & Velero, 2004)

Otro método de funcionamiento para este riego es bloqueando un extremo del surco para que se retenga el agua el tiempo necesario hasta conseguir el riego deseado. Se recomienda el uso de esta técnica en los cultivos que presentan sensibilidad frente al exceso de humedad por el contacto directo en los tallos de las plantas. Los surcos son hendiduras que se prepara en la tierra para que permita el paso de agua por debajo de la superficie del cultivo. Las formas más comunes tienen forma de V o U, la altura oscila entre 25 a 80 centímetros. Este sistema de riego se adapta a cultivos sembrados en hileras como hortalizas, maíz y frutales en general. También es aconsejable cuando las plantas son de poca elevación, tales como los melones, calabazas, tomates, fresas, etc. (Salcedo, 2014)

- ✓ **Riego por aspersión**

***Figura 3:** Riego por aspersión*

***Fuente:** (Santos, Picornell, & Velero, 2004)*

Este tipo de riego consiste en conducir el agua a través de aspersores que humedecen el terreno de forma similar a como lo haría la lluvia. Estos sistemas de riego se componen de varias tuberías, las cuales se encuentran bajo la superficie del terreno, y se conectan a boquillas giratorias. Estas boquillas esparcen el agua de forma circular.

La ubicación de este tipo de aspersores puede estar dispuesta de forma cuadrada, rectangular o triangular. Siempre que el radio de aspersión se encuentre y no dejen espacios a los que no llegue el riego.

El tipo de boquilla determinará el tamaño de las gotas. Entre más pequeñas sean, más posibilidades habrá de que el viento desvíe la dirección o se evaporen. Por su parte, si son muy grandes, pueden causar daños en el terreno y sobre las plantas del cultivo.

Para garantizar la eficiencia del riego es importante considerar las características del aspersor en función de: la presión nominal de trabajo, el caudal de las boquillas (litros por hora), el diámetro de alcance, y la precipitación (litros por metro cuadrado). Entre los más comunes se encuentran los de impacto, los de doble boquilla, y los de media presión. (Agricola, 2016)

Ventajas del riego por aspersión:

- Se puede regar los terrenos sin la necesidad de hacer costosas nivelaciones.
- Elimina el problema de erosión en los suelos.
- Es la manera más eficiente de utilizar bajos caudales y en general su eficiencia es mayor que cualquier método superficial de riego, pues está alrededor del 70%. (Sanchez & Vinueza, 2007)
- Se consigue una alta uniformidad en la aplicación del agua sin pérdida por percolación y es posible aplicar simultáneamente con el riego, fertilizantes, herbicidas, insecticidas, etc.

Desventajas del riego por aspersión:

Un factor negativo de este método de riego es que se encuentra bastante condicionada a los factores climáticos de la zona, en particular el viento, y la aridez del clima. El motivo se

debe a que las gotas pueden evaporarse antes de tocar el suelo si es que estas son muy pequeñas. (Salcedo, 2014)

- ✓ **Riego por goteo.**

***Figura 4**: Riego por goteo*

***Fuente:** (Santos, Picornell, & Velero, 2004)*

Se le denomina así porque permite la aplicación del agua y fertilizantes al cultivo, en forma de gotas de manera localizada, en cantidades estrictamente necesarias y en el momento oportuno. Este sistema aplica la dosis requerida de agua directamente a la zona radicular de la planta, a intervalos regulares para mantener el suelo con una humedad apropiada y pueda ser aprovechada ventajosamente por la planta. Bajo este sistema de riego se encuentran otros tipos de riego localizado solo que varía el elemento del emisor que se emplea. Ellos son el sistema de riego por goteo con cintas de riego y el sistema de riego por exudación. Entre los componentes que se utilizan para este sistema tenemos a la unidad de presión, elemento que se encarga de proporcionar el adecuado nivel de presión que se requiere en el mencionado sistema; las tuberías de conducción; los laterales de riego; el cabezal de riego, donde se encuentran los elementos que se encargan del proceso de filtrado, también cuenta con el equipo de fertilización y control, en caso que el sistema presente un grado de sofisticación alto y pueda ser accionado remotamente a través de una computadora. Por último, los emisores que son los dispositivos que suministran el agua al suelo, los cuales pueden ser goteros, cintas de riego y mangueras de exudación.

Ventajas del riego por goteo:

- Permite aplicar el agua en forma localizada, continua, eficiente y oportuna.
- Se consiguen eficiencias de 90 – 95 % respecto al consumo de agua, ya que la evaporación disminuye bajo estos sistemas.

- Se aplica el agua sólo en la zona radicular del cultivo, por lo que se evita el desperdicio del recurso hídrico en otras zonas del terreno. Por esta misma razón, no le afectan los vientos fuertes.
- Requiere de una menor presión de agua en comparación con el riego por aspersión.
- Se puede aplicar los fertilizantes solubles, cuando la planta lo requiera y algunos insecticidas para el control de plagas. Esto se da de forma simultánea con el riego.
- Se adapta a cualquier suelo y condiciones topográficas diversas.
- Evita el desarrollo de malezas al humedecer el suelo en forma localizada.
- Se puede regar muy frecuentemente con pequeñas cantidades de agua, de tal manera que el suelo se encuentre húmedo.

Desventajas del riego por goteo:

- Se requiere de una alta inversión inicial.
- Necesidad de disponer de una fuente de abastecimiento de agua en forma regular.
- Se requiere de energía para operar el equipo.
- Este sistema de riego se emplea generalmente para frutales, hortalizas y flores.
- Se requiere de un mantenimiento periódico a los goteros. (Salcedo, 2014)

4.2 Análisis Agronómico.

4.2.1 Textura y producción agrícola en la provincia de Loja

El suelo de la provincia de Loja tiene diferentes características en cada cantón, a continuación, mencionamos la textura y los cultivos más predominante en cada uno de ellos:

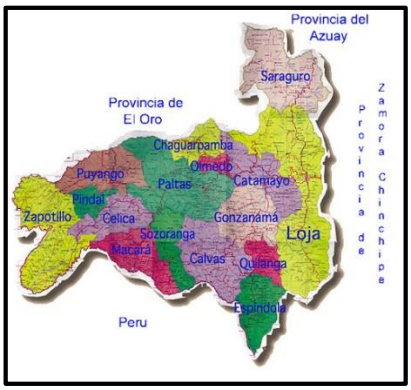


Figura 5: *Cantones de la provincia de Loja*

Fuente: Autor

❖ Loja

El cantón Loja cuenta con una extensión territorial de 1.893 km², existen diversos tipos de texturas de los suelos, prevaleciendo la fracción Franco-Arenosa con un 39,66% que cubre cerca de 75044 hectáreas seguido de la fracción Franco-Arcillo-Arenoso con un 17,33 % que cubre aproximadamente 32797 hectáreas.

Dentro del territorio las actividades agrarias ocupan el 3.33% del suelo cantonal, siendo principal el cultivo de maíz, que se da en el sistema de siembra por temporada es decir que se produce durante el periodo de lluvia, seguido de hortalizas y plantas aromáticas en zonas templadas y en las zonas subtropicales de las parroquias de Malacatos, Vilcabamba, Quinara y Yangana.

Un factor que limita el progreso del sector agrícola en el cantón, es la escasez de riego, únicamente el 22% de la superficie con uso agropecuario dispone de riego, mientras que el 78% no lo tiene (Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Municipio de Loja [PDOT], 2014).

❖ Puyango

El cantón Puyango posee una extensión de 63.698,89 ha, los suelos son de poca profundidad cuya capa arable va desde los 0,30 m a 0,40 m, son arcillosos, frágiles, de color rojizo amarillento, pesados, saturados de agua y poco fértiles, con un pH muy ácido.

De acuerdo a información del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) el 13% de la superficie es de uso agrícola, siendo los principales cultivos identificados: el maíz (8,4%), café (3,5%), caña de azúcar artesanal (0,7%) y otros (0,01%); con lo cual se determina que el cantón Puyango se caracteriza por ser una zona maicera y cafetalera.

Según el IEE (2012), el 50,92% de la superficie dedicada al sector agrario no cuenta con sistemas de riego, es decir 32.428,64 ha se encuentra sin riego y su forma de producir es mediante el sistema de secano o temporal (PDOT Cantonal Puyango, 2019).

❖ Paltas

El cantón Paltas cuenta con una superficie de 1.124 Km², el tipo de suelo que prevalece en el territorio es el Inceptisole (suelos poco desarrollados) que tiene una textura arcillo-limoso en la superficie y franco arcillo-limoso a profundidad, con 45.409,37 ha, que

constituyen un 39,28% del área total, se encuentran espacialmente distribuidos y principalmente concentrados en el sector sur-este.

Las actividades agronómicas abarcan 14.173 ha, siendo los principales productos: el maíz, café, maní, caña de azúcar artesanal, fréjol y frutales. El cultivo de maíz con 6.100,01 ha, representan el 5,27% de la producción agrícola del cantón. Las zonas de cultivo principales son las parroquias de Catacocha, Guachanamá, Casanga, Yamana, San Antonio, Cangonamá, Lauro Guerrero y Orianga (PDOT Cantón Paltas, 2019).

- **Zapotillo**

El cantón Zapotillo posee una extensión de 1.213,4 km², prevalecen los suelos del orden taxonómico Inceptisoles (suelos poco desarrollados que tiene una textura arcillo- limoso en la superficie y franco arcillo-limoso a profundidad) que constituye un 39,44% mientras que los Vertisoles (suelos agrietados, francos en superficie y arcillosos a profundidad, con drenaje bueno, poco profundos, pH neutro, fertilidad natural mediana) se hallan en menor proporción, 0,20%.

De acuerdo al Censo Agropecuario para el uso agrario existe una superficie de 28.4227,78 ha, Zapotillo ha sido reconocido porque su actividad agrícola gira en torno al grupo de los cultivos de cebolla, arroz y maíz, cuyo cultivo más distintivo de la zona es el maíz ocupando 9.000 ha que representan el 81,75% de tierras cultivables del cantón (PDOT Cantón Zapotillo, 2019).

- **Pindal**

El cantón Pindal cuenta con una superficie de 20.200,25 ha, predominan los suelos del orden taxonómico Inceptisoles (suelos poco desarrollados que tiene una textura arcillo-limoso en la superficie y franco arcillo-limoso a profundidad) con un 61,70% mientras que los Alfisoles (suelos con arcillo-limosos en la superficie y arcilla pesada en su profundidad, con drenaje moderado, poco profundos) se encuentran en menor proporción 30,87%.

El primer producto que produce el cantón es el maíz, sembrando entre 5.000 a 8.000 ha, por ello su productividad se encuentra en los rangos de 160 a 200 quintales por hectárea promedio. Además, también existen el cultivo de otros productos como el banano, frejol, zarandaja y maní.

En lo que se refiere a sistema de riego, la escasez de fuentes hídricas en el cantón obliga a los agricultores de todo el cantón a esperar las primeras lluvias del mes de enero de cada año para realizar la siembra del cultivo de maíz (PDOT Cantón Pindal, 2019).

- **Chaguarpamba**

El cantón Chaguarpamba tiene una superficie de 313.19 Km², el tipo de textura es arcillosa ocupa el 36, 72% del territorio.

Los cultivos principales del cantón son: el café, banano, caña de azúcar y maní, al mismo tiempo hay cultivos que se están adquiriendo gran importancia como es el maíz, pues desde el año 2013 ha ido incrementado su área de cultivo.

Chaguarpamba tiene 23 concesiones de agua que son utilizadas para sistemas de riego comunitarios. El caudal concedido es de 240.12 litros por segundo y riega 300.53 ha, beneficiando a 258 usuarios (PDOT Cantón Chaguarpamba, 2015).

- **Calvas**

El Cantón Calvas tiene una superficie de 841,1 Km², en los suelos predomina la textura arcillo arenoso representando el 61,84 % del territorio.

Los principales productos del cantón Calvas son: maíz (51%); maíz suave (12%), café (15%); arveja (7%); caña (6%); yuca (5%), otros cultivos como maní, zarandaja, tomate, banano (guineo común), hortalizas, frutales y papa (4,6%) (PDOT Cantón Calvas, 2011).

- **Catamayo**

El cantón Catamayo tiene una superficie 651,89 Km², los suelos que predominan en el cantón son los Entisoles (suelos escasamente desarrollados, su textura es arcillo- arenoso, con drenaje malo, abundante piedra en la superficie) correspondiente al 51,9% con una superficie de 33780,80 hectáreas del área.

Los principales cultivos permanentes del cantón son: caña de azúcar, banano, café y limón, mientras que los cultivos transitorios son: el maíz, frejol, yuca, tomate riñón y pimiento.

El 39% de los agricultores siembran mediante riego, mientras que el 61% lo hace en secano es decir terreno de cultivo que no tiene riego y solo se beneficia del agua lluvia, lo cual demuestra que la mayoría de agricultores cultivan según las estaciones climáticas (PDOT Cantón Catamayo, 2014).

❖ Celica

El cantón Celica ocupa 51859,55 ha de superficie, donde predominan los suelos del tipo inceptisol (suelo poco desarrollados que tiene una textura arcillo- limoso en la superficie y franco arcillo-limoso a profundidad) que constituye un 49%.

La actividad agrícola en el cantón ocupa una amplia extensión, en donde el cultivo de maíz es el principal cultivo a la que están dedicadas estas áreas con el 23,45 % (12162,89 ha).

En el cantón se riega 1367 ha., que contribuye a 575.64 UPAs, a través de distintos sistemas de riego. El riego por gravedad cubre un área 1288,36 ha., el riego por aspersión 48.42 ha otros sistemas de riego como el de bombeo 15.25 ha y Goteo un área de 11.41 ha. (PDOT Cantón Celica, 2015).

❖ Espíndola

EL Cantón Espíndola tiene una superficie de 632 km², la textura del suelo que predomina es arcillo arenoso representando el 31.53 % de la superficie, sus principales cultivos son: alverja, cebolla, frejol, haba, café, maní, trigo, yuca, banano y el maíz, este último es el de mayor producción.

❖ Gonzanamá

Este cantón ocupa una superficie de 681.93 km², los suelos son principalmente del tipo Entisol (suelo escasamente desarrollados, arcillo-arenoso en la superficie y en su profundad, con drenaje malo) con el 41,01% que corresponden a 27962,29 ha.

Los principales productos del cantón son el maíz con el 5,43% es decir 3700,93 hectáreas, en su variante suave choclo y suave seco, en el caso de los cultivos transitorios. También se destacan a nivel cantonal el frejol, maní trigo yuca, zarandaja, arveja, legumbres,

Existe una falta de cobertura de riego, los cultivos permanentes que poseen riego son un 30,5% y en los cultivos transitorios tan solo un 9,8%, el cantón posee un sistema de riego casi en su totalidad por gravedad, porque en solo el 2,5% es por bombeo y el 1,4% es por aspersión (PDOT Cantón Gonzanamá, 2014).

❖ Macará

El cantón Macará tiene una superficie de 578 km², predominan los suelos del orden taxonómico Inceptisoles (suelo poco desarrollados que tiene una textura arcillo- limoso en la superficie y franco arcillo-limoso a profundidad) con un 72 %.

Los principales cultivos transitorios del cantón son: el maíz duro seco representando el 51,09%, arroz 27,62% y maní 8,34%, mientras que los cultivos permanentes más importantes del cantón son: café 42,16%, caña de azúcar 32,37% y el banano 25,47%.

Existen 1345 UPAs y 4134 hectáreas que tienen riego en el cantón, siendo el principal sistema por gravedad, las hectáreas regadas por este sistema corresponden al 73%, seguido por el sistema de aspersión, goteo, bombeo (PDOT Cantón Macara, 2014).

❖ Olmedo

Este Cantón ocupa una superficie de 113.74 km², los suelos son arcillosos en un 99 %, y el 2 % restante es limo- franco-limoso.

La caña de azúcar es el producto con mayor rendimiento con un área de cultivo de 98,68 hectáreas, seguida de los cítricos como el limón y naranja con 0,9 hectáreas sembradas, después le sigue el maíz con un rendimiento de 191,15 hectáreas sembradas, seguida del maní y café con un rendimiento de 350 hectáreas de maní y 5,92 hectáreas de café respectivamente.

El 4,40% de los cultivos se riegan mediante el sistema por gravedad que tiene una eficiencia menor al 40% siendo un desperdicio del recurso (PDOT Cantón Olmedo, 2014).

❖ Quilanga

El cantón Quilanga tiene una extensión territorial de 236.68 km², posee suelos con profundidad media, cuya capa arable va desde los 0,30 m a 0,40 m, generalmente son suelos arcillosos, frágiles, de color rojizo amarillento, pesados, saturados de agua y poco fértiles, con un pH muy ácido.

El producto principal que se produce en el cantón es el café, pues se producen 342.22 hectáreas de cultivo, se dedica a la producción de café lavado con un volumen de 2395.54 quintales y el café tradicional (cáscara) con un área de 795.97 con un rendimiento de 5571.79 quintales (PDOT Cantón Quilanga, 2014).

❖ **Saraguro**

El cantón Saraguro ocupa una superficie de 1080.70 Km², en el suelo existe predominio de la fracción de arcilla en los horizontes (30-50%) y el pH de los suelos oscila entre neutro a alcalino (7-8).

Las actividades de agropecuarias son intensas, se siembran varios cultivos anuales como: maíz, papa, trigo, cebada, frejol, yuca, ocas, mellocos, otros: Los cultivos permanentes como pastos, café, banano y caña de azúcar, conforman los sistemas agroforestales y son el sustento y la economía de la familia (PDOT Cantón Saraguro, 2014).

❖ **Sozoranga**

El cantón Sozoranga, ocupa una superficie total de 41127.36 ha, donde los suelos son de texturas: franco, franco arenoso, franco arcillo-arenoso y arcilla pesada; son suelos poco profundos a moderadamente profundos, con fertilidad que van desde baja a mediana, con muy poca y frecuente, drenaje natural que va desde moderado a mal drenado. Incluyen a suelos no salinos y no tóxicos.

Los principales productos son: el maíz, frejol, trigo, café, caña de azúcar, maní, arroz, cítricos entre otros (PDOT Cantón Sozoranga, 2014).

Mediante la información recolectada se pudo conocer que el cultivo más predominante en la Provincia de Loja es el maíz, por ello a continuación se investiga las características de este cultivo.

4.2.2 Características del cultivo de Maíz.

En la Sierra del Ecuador el cultivo de maíz es uno de los más importantes debido a la superficie destinada para su cultivo; y al papel que cumple como componente básico de la dieta de la población ecuatoriana. Hasta el momento en el Ecuador se han identificado 29 razas de maíz. De estas, 17 pertenecen a la sierra.

Todas las plantas de maíz se desarrollan de la misma manera. Sin embargo, el tiempo entre etapas de crecimiento puede variar dependiendo del tipo de maíz, sus fechas de siembra, su localización, la altitud a la que se encuentra el maíz, etc. Normalmente, los maíces de altura tienen un ciclo de cultivo de 215 a 270 días desde la siembra hasta la cosecha.

En la provincia de Loja se cultiva el espécimen de maíz almendral que presenta sus siguientes características:

- Tipo: Duro, cristalino, precoz
- Grano: Mediano, amarillo cristalino
- Días a la Cosecha en seco: 160
- Altura de planta: 180 cm
- Altura a la mazorca: 12 cm
- Profundidad radicular: 1m a 1.7m
- Rendimiento: De 3 280 a 8 860 kg/ ha (de 73 a 197 qq/ ha), de acuerdo a la altitud, temperatura y suelo del lugar.
- Altitud: De 400 a 1200 msnm
- Usos: Alimentación animal como forraje y en la elaboración de balanceados.
- Zonas: Se cultiva en los valles de la provincia de Loja. (Yanez & Zambrano, 2013, págs. 3-10)

Figura 6: *Fruto de la Planta de Maíz.*

Fuente: *(Yanez & Zambrano, 2013)*

4.2.3 Clima-Agua-Planta

El maíz es un cultivo que a lo largo de su ciclo requiere de una humedad adecuada. Por lo que las necesidades de agua del cultivo están estrechamente ligadas con las características climáticas de la zona donde se siembra.

Para realizar el cálculo de la cantidad de agua que necesita un cultivo para su óptimo desarrollo se debe considerar dos factores: la transpiración y la evaporación. La transpiración es el consumo de agua que realiza la planta para sus procesos y la evaporación es el agua que se evapora desde la superficie del suelo. Uniendo estos dos factores se tiene que las necesidades de agua de un cultivo esta dadas por la evapotranspiración del cultivo (ETc) (Cárdenas & Ramón, 2010, págs. 7-8) y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$ETc = ETo * Kc$$ *Ecuación 1*

donde:

ETo = Evapotranspiración de referencia en mm/día

Kc = Coeficiente de cultivo (adimensional)

- **Evapotranspiración de referencia (ETo)**

La ETo, se define como la evapotranspiración de un cultivo de gramíneas (un pasto) de 8 – 10 cm de altura, suficientemente regado, bien abonado y en buen estado sanitario. Este dato puede ser calculo mediante fórmulas o se consulta en bases de datos (en este caso en el INAMHI). (Carrazón, 2007, pág. 71)

- **Coeficiente del cultivo (Kc)**

Es un factor que depende únicamente del tipo de cultivo, e indica la cantidad de agua que extrae el cultivo en cada una de las etapas de su desarrollo (inicial, desarrollo, media y final), por lo tanto este coeficiente se lo obtiene de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (Cárdenas & Ramón, 2010, pág. 9)

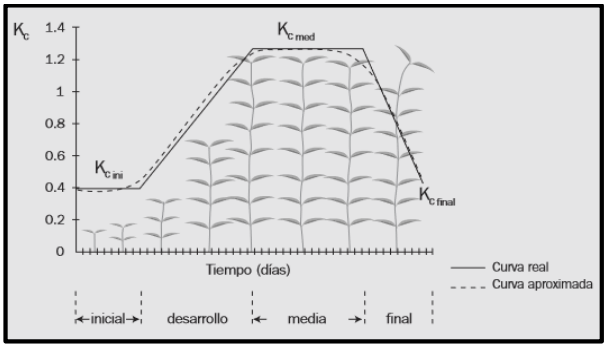


Figura 7: *Curva Generalizada del Kc.*

Fuente: (Carrazón, 2007)

4.2.4 Suelo-agua-planta

El análisis de las características del tipo de suelo proporciona parámetros importantes para el diseño y manejo del sistema de riego.

- **La textura. -** Indica el contenido de partículas de arena, limo y arcilla en el suelo. Así mismo, influye en otras propiedades como la densidad aparente, la porosidad y,

por lo tanto, el movimiento y el almacenamiento de fluidos (agua y aire) en el suelo. (Camacho & Ramírez, 2016, pág. 6)

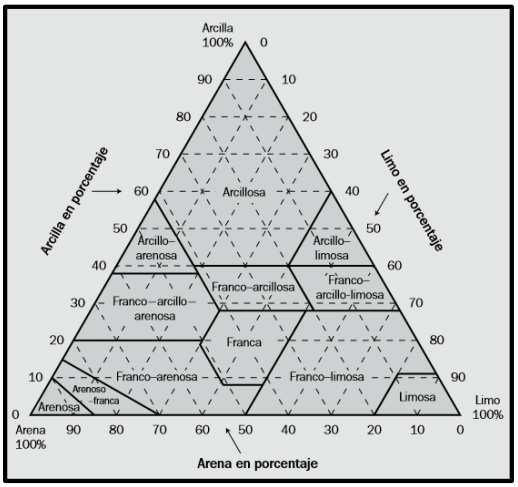


Figura 8: *Triangulo de texturas del suelo.*

Fuente: (Carrazón, 2007)

- **Velocidad de infiltración.-** Es la velocidad que penetra el agua en el suelo, está dada en mm/h, siempre debe ser mayor que el grado de aplicación del agua de riego para que no exista problemas de encharcamiento. (Cárdenas & Ramón, 2010)
- **Niveles de humedad del suelo:** En función de la proporción de agua en los poros del suelo, y su disponibilidad para las plantas, se definen los siguientes niveles de humedad
  - ✓ **Densidad Aparente. -** También llamada peso específico aparente, es una medida de la porosidad de un suelo. La densidad aparente es importante porque determina la compactación y la facilidad de circulación de agua y aire.
  - ✓ **Saturación del suelo.-** Se refiere al contenido de humedad del suelo cuando está saturada, en esta condición la porosidad se encuentra ocupada por el agua; la porosidad total del suelo es igual al contenido de humedad en términos de volumen para el punto de saturación, siendo la máxima capacidad de retención de humedad. (Gallegos, 2016, pág. 24)

- ✓ **Capacidad de Campo (CC). -** Es el contenido de agua de un suelo, después que ha sido mojado abundantemente y se ha dejado drenar libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración. Corresponde aproximadamente al contenido de agua del suelo a una tensión o potencial mátrico del agua de -0,33 bares. Normalmente este contenido de agua se toma alrededor de 24 a 48 horas después de un riego o lluvia abundante. (Silva & Silva, 2015, pág. 9)
- ✓ **Punto de Marchitez Permanente (PMP). -** Es el contenido de agua en el suelo que provoca que la planta se marchite, ya no recobra su turgencia al colocarla en una atmósfera saturada durante 12 horas. (Silva & Silva, 2015, pág. 9)

Tabla 1: *Propiedades Hídricas de los suelos.*

Textura del suelo	Densidad aparente (g/cm3)	Capacidad de campo %Θg	Punto de marchitez permanente %Θg	Infiltración básica (mm/h)
Arenosa	1.65 (1.55-1.90)	9 (6-12)	4 (2-6)	50 (25-250)
Franco Arenosa	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)	25 (13-75)
Franco	1.40 (1.35-1.50)	22 (18-26)	10 (8-12)	13 (8-20)
Franco Arcilloso	1.35 (1.30- 1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)	8 (2.5-15)
Arcilloso	1.25 (1.20-1.30)	35 (31-39	17 (15-19)	5 (1.3-10)

Fuente: (Carrazón, 2007)

4.2.5 Diseño Agronómico.

- **Lámina de agua aprovechable. -** Permite calcular la cantidad de agua expresada en lámina que un suelo a cierta profundidad, es capaz de almacenar. Es uno de los valores más importantes en el cálculo de la programación del riego denominado (*LAA*) o agua disponible en el perfil el suelo para uso consuntivo de las plantas. (Gallegos, 2016, pág. 40)

$$LAA = \frac{10(CC - PMP)}{100} * \left(\frac{Da}{Dw}\right) * PROF$$ *Ecuación 2*

Donde:

LAA= Lámina de agua aprovechable (mm)

CC= Capacidad de campo (%)

PMP= Punto de marchitez permanente (%)

Da= Densidad aparente (g/cm3)

Dw= Densidad del agua (g/cm3)

PROF= Profundidad radicular efectiva del cultivo (cm)

- **Lámina de agua rápidamente aprovechable. –** Es la cantidad de agua consumida por la planta entre dos riegos consecutivos, siendo la cantidad de agua que se debe aplicar en cada riego por unidad de superficie. Se obtiene: (Gallegos, 2016, pág. 40)

$$LARA = LAA * UR$$ *Ecuación 3*

Donde:

LARA= Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

LAA= Lámina de agua aprovechable (mm)

UR= Criterio o umbral de riego (50%)

El UR es el porcentaje que permite el descenso de la lámina de agua aprovechable, sin causar stress al cultivo, ni la dificultad de realizar mayor esfuerzo por las raíces, mismo que afectaría el normal desarrollo del cultivo. Para maíz el UR es de aproximadamente del 50%, depende de la sensibilidad del cultivo al déficit de humedad. (Gallegos, 2016, pág. 40)

- **Frecuencia de riego. -** Se relaciona la lámina de agua rápidamente aprovechable con la demanda máxima de cultivo, se obtiene la frecuencia de riego calculada.

Esta frecuencia de riego es el número de días que transcurren entre dos riegos sucesivos. (Gallegos, 2016, pág. 41)

$$FR = LARA/Etc_{max}$$ *Ecuación 4*

Donde:

FR= Frecuencia de riego, (días)

LARA= Lámina de agua rápidamente aprovechable, (mm)

Etc max= Evapotranspiración del cultivo, (mm/día)

- **Área mínima a regar por día. –** Este cálculo se lo realiza con la siguiente ecuación:

$$Amin = \frac{A_T}{FR}$$ *Ecuación 5*

Donde:

Amin= Área mínima a regar

A_T= Área total del terreno

FR= Frecuencia de riego, (días)

- **Lámina bruta a reponer. -** Es la cantidad total de agua que se entrega por riego a la superficie del terreno, de manera que asegure la suficiente entrega de agua, está en función de la eficiencia de aplicación del método de riego a utilizarse. (Gallegos, 2016, pág. 41)

$$Lb = \frac{FR * Etc_{max}}{n_a}$$ *Ecuación 6*

Donde:

Lb= Lámina bruta, (mm)

FR= Frecuencia de riego, (mm)

Etc max= Evapotranspiración del cultivo, (mm/dia)

na= Eficiencia del riego por aspersión, (75%)

- **Intensidad de precipitación por aspersor. -** Es la cantidad de agua provista a una unidad de superficie en mm/h, que puede entregar el aspersor durante el riego sin provocar erosión o encharcamientos en el suelo, por ello la condición de diseño debe ser $IP \leq$ VIb; se debe tener cuidado en escoger emisores que entreguen una precipitación adecuada para no provocar daños durante el riego. La intensidad de precipitación depende de las características del aspersor, diámetro de boquillas y la presión de trabajo. Para el cálculo, se considera la siguiente ecuación: (Gallegos, 2016, pág. 42)

$$IP = \frac{Qasp}{E_{lat} * E_{asp}} \qquad \textit{Ecuación 7}$$

  Donde:

  IP= Intensidad de precipitación, (mm)

  Qasp= Caudal del aspersor, (m3/hr)

  E lat= Espaciamiento lateral, (m)

  E asp= Espaciamiento entre aspersores, (m)

- **Tiempo de riego. –** Es el tiempo necesario para que la lámina de riego se infiltre en el suelo:

$$Tr = \frac{Lb}{IP} \qquad \textit{Ecuación 8}$$

Donde:

Tr= Duración de cada posición (hr)

Lb= Lámina de riego (mm)

IP= precipitación media (mm/hr)

- **Marco de riego. -** los aspersores se distribuyen en el terreno de modo que el sistema pueda operar en forma eficiente y económica. En la distribución incluye

la forma y dimensiones del terreno. Con el objeto de tener una buena uniformidad del riego, debe existir traslape de mojamiento entre aspersores, por lo que la distribución en cuadrado es las más utilizada en los sistemas semi fijo y móviles, el 60% del diámetro efectivo del aspersor, para marcos en cuadrado o en triángulo. El distanciamiento entre aspersores es uno de los aspectos fundamentales del diseño.

El aspersor no distribuye el agua de manera uniforme, sino que varían a lo largo del alcance de este; recibiendo más agua en la zona próxima al aspersor, y disminuyendo conforme aumenta la distancia; por lo que es preciso sobreponer una parte de las áreas regadas por aspersores consecutivos en busca de una buena uniformidad, ante lo cual se ha dado criterios entre investigadores, al igual que las casas comerciales no han llegado a ponerse de acuerdo en cuál es la separación adecuada. (Gallegos, 2016, págs. 42-43)

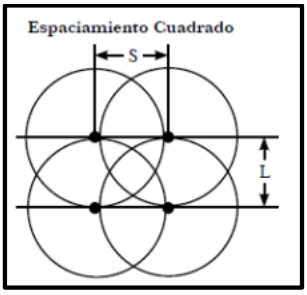


Figura 9: *Disposición entre aspersor.*

Fuente: (Gallegos, 2016)

- **Número de aspersores. –** Es la relación entre la superficie de riego y el marco de espaciamiento entre aspersores y laterales de riego.

$$Np = \frac{Sr}{E_{lat} * E_{asp}} \qquad \textit{Ecuación 9}$$

Donde:

Np= Número de posiciones.

Sr= Superficie de riego, (m2)

E_{lat}= Espaciamiento entre lateral, (m)

E_{asp}= Espaciamiento entre aspersor, (m)

- **Caudal de diseño. -** Sirve para obtener el caudal de todo el sistema de riego y diseñar la red hidráulica, especialmente la tubería principal; también se lo puede considerar en la selección del aspersor de riego y determinar el volumen del reservorio.

$$Q_{diseño} = Np * Qasp \qquad \textit{Ecuación 10}$$

4.5 Nociones Hidráulicas.

4.5.1 Ecuación de Bernoulli.

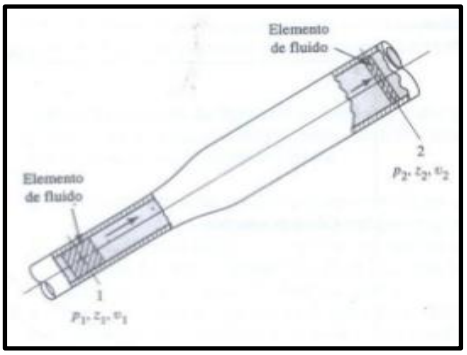


Figura 10: *Elemento del fluido utilizado en la ecuación de Bernoulli*.

Fuente: *((Mott, 2006)*

Para el cálculo de la ecuación de Bernoulli en flujo de tuberías se debe considerar tres formas de energía. Si consideramos un elemento del fluido a una cierta elevación $\boldsymbol{z}$, cierta velocidad $\boldsymbol{v}$ y una presión $\boldsymbol{p}$**.** El elemento del fluido tendrá la siguiente forma.

- ✓ Energía potencial. - Debido a su elevación, la energía potencial del elemento en relación con algún nivel de referencia es:

$$EP = wz$$

  Donde w es el paso del elemento.

- ✓ Energía cinética. - Debido a su velocidad

$$EC = \frac{wv^2}{2g}$$

- ✓ Energía de flujo o trabajo.- representa la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento de flujo a través de cierta sección contra la p:

$$EF = \frac{wp}{\gamma}$$

Entonces la ecuación total en estas tres formas de energía que posee el elemento es:

$$E = EP + EC + EF$$

$$E = wz + \frac{wv^2}{2g} + \frac{wp}{\gamma}$$

Si consideramos que el movimiento del fluido es de 1 a 2 la igualdad es:

$$E_1 = E_2$$

$$wz_1 + \frac{wv^2{}_1}{2g} + \frac{wp_1}{\gamma} = wz_2 + \frac{wv^2{}_2}{2g} + \frac{wp_2}{\gamma}$$

El peso del elemento w es común a todos los términos y se elimina entre ellos. Finalmente, la ecuación es:

$$z_1 + \frac{v^2{}_1}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + Hmi = z_2 + \frac{v^2{}_2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + H_{rP} + H_{rs} \qquad \textit{Ecuación 11}$$

Conocida como ecuación de Bernoulli, en la cual cada término es una forma de energía que posee el fluido por unidad de peso que se mueve en el sistema.

Esta igualdad toma en cuenta los cambios en la carga de presión y carga de velocidad entre dos puntos en un sistema de flujo de fluidos. Se supone que no hay pérdidas o adiciones de energía entre los dos puntos, por lo que la carga total permanece constante. (Mott, 2006, págs. 166-169)

4.5.2 Caudal.

El caudal es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente. Así, por ejemplo, en una tubería de agua los litros por hora que circulan a través de un plano transversal de la tubería. (Mataix, 1986)

Entre las técnicas más utilizados para medir caudales de agua se encuentra el Método Volumétrico, este método permite medir pequeños caudales de agua, como son los que se escurren en surcos de riego o pequeñas canales. Para ello es necesario contar con un depósito (balde) de volumen conocido en el cual se colecta el agua, anotando el tiempo que demoro en llenarse. (Conza & Soto, 2012)

El caudal se puede calcular con las siguientes expresiones:

$$Q = \frac{V}{t}\ (\frac{m^3}{s}) \qquad \textit{Ecuación 12}$$

$$Q = v * A = v\left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \qquad (\frac{m^3}{s}) \qquad \textit{Ecuación 13}$$

$$Q_T = Qasp + Nasp \qquad \textit{Ecuación 14}$$

$$Q_1 = Q_T - (Qasp + Nasp) \qquad \textit{Ecuación 15}$$

$$Q_2 = (Qasp + Nasp) \qquad \textit{Ecuación 16}$$

Donde:

Q= Caudal

V= Volumen

t= Tiempo

v = Velocidad

D= Diámetro

Qasp= Caudal del aspersor

Nasp= Número de aspersores

4.5.3 Valores de rugosidad, ϵ para tuberías comerciales.

En la siguiente tabla se muestra los valores de rugosidad para tuberías comerciables:

Tabla 2: *Valores de rugosidad* ϵ

Tipo de tubería	Valores de ϵ en centímetros (cm)	
	Intervalo	Valor de diseño
Acero roblonado	0.091-0.91	0.18
Hormigón	0.03-0.3	0.12
Fundición	0.012-0.06	0.026
Madera	0.0183-0.09	0.06
Hierro Galvanizado	0.006-0.024	0.015
Fundición asfaltada	0.006-0.018	0.012
Acero comercial y soldado	0.003-0.009	0.006
Hierro forjado	0.003-0.009	0.006
Tubo estirado	0.00024	0.00024
Latón y cobre	0.00015	0.00015
Fibrocemento	0.01	0.01
PVC y PE	0.0007	0.0007

Fuente: *(Almandoz & Ruben)*

4.5.4 Factor de Fricción Hazen-Williams, C_{HW}.

En la siguiente tabla se muestra los valores de fricción según Hazen-Williams

Tabla 3: *Valores de Fricción* C_{HW}.

Muy lisas	$C_{HW} = 150$	$\frac{\epsilon}{D} \leq 1.5x10^{-5}$
Lisas	$C_{HW} = 140$	$1.5x10^{-5} < \frac{\epsilon}{D} \leq 2x10^{-4}$
Semilisas	$C_{HW} = 130$	$2x10^{-4} < \frac{\epsilon}{D} \leq 1x10^{-3}$
Rugosas	$C_{HW} = 120$	$1x10^{-3} < \frac{\epsilon}{D} \leq 4x10^{-3}$
Muy rugosas	$C_{HW} = 110$	$4x10^{-3} < \frac{\epsilon}{D} \leq 1.5x10^{-2}$
Excesivamente rugosas	$C_{HW} = 100$	$\frac{\epsilon}{D} \leq 1.5x10^{-2}$

Fuente: *(Almandoz & Ruben)*

$$Rugosidad = \frac{\epsilon_{PVC}}{D} \qquad \textit{Ecuación 17}$$

4.5.5 Pérdidas primarias y secundarias en tuberías.

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos clases, primarias y secundarias.

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluidos con otras (régimen laminar) o de partículas de fluido entre sí (régimen turbulento). Tiene lugar en flujo uniforme, por tanto, principalmente en los tramos de tubería de sección constante.

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tiene lugar en las transiciones (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos, válvulas, y en toda clase de accesorios de tubería.

Si la conducción es larga (oleoductos, gasoductos) las pérdidas secundarias tienen poca importancia, pudiendo a veces despreciarse; o bien se tiene en cuenta al final, sumando un 5 al 10 por 100 de las pérdidas principales halladas. Si la conducción es corta y complicada (flujo de gasolina y de aire en un carburador, por ejemplo) las pérdidas secundarias pueden jugar un papel preponderante, y pueden incluso llegar a ser despreciable en comparación con ellas las pérdidas primarias. (Conza & Soto, 2012, pág. 37)

4.5.6 Ecuación general de las pérdidas primarias: Ecuación de Hazen-Williams.

El método de Hazen-Williams es válido solamente para el agua que fluye en las temperaturas ordinarias (5 ºC - 25 ºC). La fórmula es sencilla y su cálculo es simple debido a que el coeficiente de rugosidad "C_{HW}" no es función de la velocidad ni del diámetro de la tubería. Es útil en el cálculo de pérdidas de carga en tuberías para redes de distribución de diversos materiales, especialmente de fundición y acero (Cañar & Villamarin, 2009, pág. 28):

$$H_{rp} = \frac{10.674(L_T)(Q^{1.852})}{({C_{HW}}^{1.852})(D^{4.871})} \qquad \textit{Ecuación 18}$$

Donde

H_{rp} = pérdida de carga primaria

L_T = Longitud de la tubería total

Q = Caudal

D = diámetro de la tubería

C_{HW} = Factor de fricción

4.5.7 El coeficiente £ de la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias.

El coeficiente £ depende del tipo de accesorio, de la rugosidad y hasta de la configuración de la corriente antes del accesorio. En general antes y después del accesorio en que se produce la pérdida ha de haber una fracción de tubería recta de al menos 4 a 5D (D – diámetro de la tubería) para que los valores que se aducen a continuación puedan aplicarse con precisión. En la práctica no suele necesitarse demasiada precisión.

Las pérdidas secundarias tendrán lugar en accesorios distintos (codos, válvulas, etc.), cada uno con una v distinta, pero todas se expresan de la siguiente forma:

$$H_{rs} = \sum K\left(\frac{v^2}{2g}\right) \qquad \textit{Ecuación 19}$$

$$H_{rs} = \sum K\left(\frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2g}\right) = \sum £\left(\frac{\left(\frac{Q}{\frac{\pi * D^2}{4}}\right)^2}{2g}\right) = \sum K\left(\frac{16Q^2}{2g\pi^2D^4}\right) = \sum K\left(\frac{8Q^2}{g\pi^2D^4}\right) \qquad \textit{Ecuación 20}$$

Donde

Hrs = pérdida de carga secundaria

K = coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria como. codos, válvulas, entre otros.

Q= Caudal

D= Diámetro interior de la tubería.

v = velocidad media en la tubería, Si se trata de un cambio de sección como contracciones o ensanchamientos, suele tomarse la velocidad en la sección menor. (Conza & Soto, 2012, págs. 39-40)

Si la conducción es de sección constante la fórmula de pérdidas totales es:

$$H_r = \sum H_{rp} + \sum H_{rs} \qquad \textit{Ecuación 21}$$

Donde

Hr = es la pérdida total

4.5.8 Potencia Hidráulica.

La potencia se define como la rapidez en que se realiza un trabajo. En la mecánica de fluidos se modifica dicho enunciado y se considera que la potencia es la rapidez con que se transfiere energía, y se la expresa de la siguiente manera. (Mott, 2006, pág. 207)

$$Pot = H_{mb}\gamma Q/n \qquad \textit{Ecuación 22}$$

Donde:

H_{mb} = Altura manométrica de la bomba.

γ = Peso específico.

Q = Caudal.

$n =$ Eficiencia

4.5.9 Tuberías de conducción y laterales de riego

Las tuberías de conducción son el elemento que se encarga de distribuir el agua en todo el terreno o parcela que se requiere regar con la técnica del riego por aspersión. Se puede dividir en tubería principal y tuberías secundarias. Se necesita conocer el caudal y la presión para seleccionar el diámetro adecuado. Se pueden encontrar diámetros comerciales de "$1/2$," "$3/4$" ," 1" ,"$1\,{}^{1}/_{2}$" , "2", "3", "4", etc. Desde la salida de la unidad de presión hasta los

puntos de entrega de las cabeceras de riego, donde se encuentran las válvulas. (Salcedo, 2014, pág. 13)

4.5.10 Cavitación.

Cuando la presión ejercida sobre un líquido en movimiento, desciende por debajo de su presión de vaporización, éste se evapora formando gran número de pequeñas burbujas, que al ser arrastradas a zonas de mayor presión, terminan por estallar. La formación de estas burbujas y su subsiguiente estallido, es lo que constituye la cavitación. (Conza & Soto, 2012)

Para evitar este fenómeno se toma en cuenta lo siguiente:

Aspiración positiva neta requerida (NPSHr) es la presión de entrada requerida por la bomba y siempre debe ser igual o menor que la Aspiración neta disponible(NPSHa) para que no exista problemas de cavitación.

El valor de NPSHr lo especifica el fabricante de la bomba, mientras que el NPSHa se lo calcula mediante la siguiente ecuación:

$$NPSHa = \frac{Patm - Pvap}{\gamma} \pm \Delta H - h_{fa} \qquad \textit{Ecuación 23}$$

$$NPSHa \geq NPSHr \qquad \textit{Ecuación 24}$$

Donde:

Patm = Presión atmosférica.

Pvap = Presión de saturación del vapor.

ΔH= Altura de succión respecto con la bomba.

h_{fa}= Pérdidas de carga en la tubería de aspiración.

γ= Peso específico.

En la siguiente tabla se proporcionan los valores de (Patm – Pvap) en función de la temperatura del agua y de la altura sobre el nivel del mar. (Cárdenas & Ramón, 2010, págs. 36-37)

Tabla 4: *(Patm - Pvap) en función de Temperaturas y Altitudes.*

Temp. Agua	Altitud sobre el nivel del mar (metros)				
°C	0	500	1000	1500	2000
0	10.3	9.7	9.2	8.6	8.1
10	10.2	9.6	9.1	8.5	8
20	10.1	9.5	9	8.4	7.9
30	9.9	9.3	8.8	8.2	7.7
40	9.6	9	8.5	7.9	7.4
50	9	8.4	7.9	7.3	6.8
60	8.3	7.7	7.2	6.6	6.1

Fuente: (Cárdenas & Ramón, 2010)

4.6 Nociones económicas.

4.6.1 Valor Presente Neto (VPN).

Es el valor actual de los flujos de caja netos menos la inversión inicial, también se lo puede definir como el valor resultante de descontar la inversión y la suma recibida por el inversionista por su inversión. En otras palabras, es el remanente neto que recibe el inversionista, después de descontar los ingresos a una tasa de descuento y restarle la inversión inicial. La regla de decisión se basa en los siguientes criterios si se obtiene un VPN mayor que cero se acepta la inversión, si por el contrario el cálculo del VPN es menor que cero se rechaza y por último si este valor del VPN es igual a cero se es indiferente a realizar o no la inversión, pero si se desea ordenar todas las alternativas entre un grupo de ellas, la regla de decisión nos dice que es elegir aquella que tenga mayor VPN. (Rivas, 2015, pág. 29)

4.6.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).

Es la tasa de rendimiento que hace que el VPN sea igual a cero, se la define como la tasa de descuento por la cual el VPN es igual a cero o la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial.

Las ventajas del TIR entre ellas, que está estrechamente relacionada con el VPN, no exige la tasa crítica de rentabilidad lo que mitiga el riesgo de determinar una tasa errónea y la

simpleza porque da un panorama general del mayor flujo potencial de efectivo del proyecto a evaluar. Sin embargo, presenta desventajas como que no opera con flujos de efectivo no convencionales y que probablemente conduzca a decisiones incorrectas en las comparaciones de inversiones mutuamente excluyentes. (Rivas, 2015, pág. 29)

4.6.3 Periodo de Recuperación (Payback).

Consiste en la determinación del tiempo necesario para que los flujos de caja netos positivos sean iguales al capital invertido. Este método permite al inversionista comparar los proyectos en base al tiempo de recuperación necesario del capital invertido.

Como aspecto negativo que posee este método, es que solo considera los flujos de caja netos positivos durante el plazo de recuperación y no considera estos flujos que se obtienen después de este plazo. Otra desventaja de este método es la de no tomar en cuenta las diferencias que exista entre los vencimientos de los flujos de caja netos positivos. (Valero, 2005, pág. 18)

4.6.4 Relación Beneficio Costo (B/C)

Es la relación entre los beneficios y los costos o egreso de un proyecto. Se puede definir como la relación de los flujos de ingresos descontados entre los flujos de egresos o costos descontados de un proyecto, la regla de decisión de proyecto parte de que si es mayor que uno (1) se acepta de lo contrario se rechaza y es indiferente ante una relación Beneficio/Costo igual a la unidad. (Rivas, 2015, pág. 29)

4.7 Proceso de Automatización.

Se conoce con el término automatización al sistema que permite realizar un sinnúmero de procedimientos remplazando al operador mentalmente y físicamente esto se obtiene por medio de programas previamente diseñados, estos sistemas automatizados contribuyen de diversas maneras en la vida de los grandes y pequeños agricultores, debido a la disminución en mano de obra, además favorece a los cultivos porque los sensores nos ayudan a producir una cosecha favorable, dentro de las funciones que más beneficia y contribuye al agricultor es el de reconocer con facilidad problemas de humedad, esto debido a la interpretación de información que poseen, otra ventaja de estos sistemas automatizados es que permiten un

riego delicado, eficaz y fiable, presentando un gran avance en la tecnología de sistemas de riego, se pueden enumerar un sin número de ventajas que nos pueden ofrecer estos programas automatizados entre ellas tenemos:

- Contribuyen a tener un adecuado riego debido a que los sensores controlan la humedad del suelo.
- Proporciona estabilidad pues estos sistemas evitan los errores que son cometidos comúnmente por el agricultor.
- Le permite al agricultor tener un ahorro en la mano de obra y se evita el desperdicio del agua, ya que ciertos suelos y cultivos necesitan menos o más agua que otros.

Sin embargo, al ser un sistema y al estar programado también puede tener ciertos defectos, el principal es el costo de estos aparatos en especial para los pequeños agricultores, porque debe tener un mantenimiento con personal especializadas y siempre debe de disponer de energía eléctrica para no interrumpir su funcionamiento y poder leer la información establecida en la programación, logrando así un riego de calidad. (Simon, 2018, pág. 4)

4.8 Sistemas electrónicos.

Un sistema electrónico es un conjunto de sensores, circuitos internos y externos, actuadores y fuente de alimentación, que permiten ejecutar procedimientos de control

Este sistema posee sensores que obtienen información del exterior y esta información es transformada en una señal eléctrica que permite ser manipulada a la conveniencia del operador, podemos encontrar diversos tipos de sensores entre ellos tenemos:

- Sensores de temperatura
- Sensores de humedad
- Sensores de sonido.
- Sensores de lluvia.
- Entre otros

En cuanto a los sensores internos del sistema eléctrico procesan señales eléctricas convenientes esto se debe a que está programado con un conjunto de instrucciones lógicas que benefician y ejecutan órdenes ya establecidas en su hardware automáticamente.

Los actuadores se encargan de transformar una señal obtenida mediante la energía interna que actúa sobre la energía externa, mientras que la fuente de luz es la energía que permite realizar el funcionamiento del circuito.

4.9 Software de programación.

El software es un sistema basado en una programación con diferentes o diversos datos que permiten ejecutar diferentes tareas específicas.

4.9.1 El programa Cropwat® 8.0.

El programa Cropwat® es un sistema desarrollado por la FAO. Este es un programa que fue diseñado para el medio agrícola, es decir es un sistema de riego modificado para poder intervenir en diferentes cultivos, este sistema permite obtener información cuantitativa o diversos niveles de adaptación según la cantidad y la especie vegetal basado en la programación de diversas variaciones tales como el clima, suelo y fechas de siembra basado en un cronograma que está diseñado para cumplir diferentes condiciones empezando con la cantidad de agua que debe ser utilizada en cada cultivo y tipo de suelo. (Apaza & Torre, 2017, pág. 40)

4.9.2 El programa Epanet® 2.0.

Epanet es programa difundido por la Agencia Norteamericana de Medioambiente (EPA), es un programa de cálculo de redes que posee un funcionamiento intuitivo y una conexión visual, este es un programa que simula las redes hidráulicas a presión y a su vez se encuentra compuesto por:

Módulo de análisis hidráulico este permite simular el comportamiento de la red mediante las diversas leyes de la operación. (Molina, 2011, pág. 101)

- Permite el uso de tuberías, con tres opciones para el cálculo de pérdida que son: Darcy Weisbach, Hazen Williams, Chezy Manning

- Uso de bombas de velocidad variable y fija.
- Uso de válvulas de estrangulamiento
- Leyes de control temporales, presión o niveles
- Curva de modulación
- Controladores de caudal
- Depósito de nivel fijo y variable
- Entre otros.

4.9.3 El programa AutoCAD®.

Al programa asistido y diseñado por una computadora, que permite elaborar dibujos en dimensiones 2D, planos, objetos en tres dimensiones es conocido como AutoCAD®, este programa es usado en diferentes áreas académicas como son:

- Arquitectura
- Diseño grafico
- Ingenierías
- Otras

AutoCAD® es un programa de diseño que es asistido mediante un ordenador conocido como DAC, este programa gestiona una base de datos de diseños geométricos en los que se encuentran puntos, líneas, círculos, entre otras opciones, este programa permite operar médiate la pantalla grafica por el llamado editor del dibujo. El usuario interactúa mediante comandos, edición desde una línea de órdenes que están estrictamente diseñadas y orientadas. (Cardenas, 2015, págs. 73-74)

4.9.4 El programa Proteus® 8.9.

El software Proteus® contiene dos importantes herramientas conocidas como ISIS y ARES cada una de ellas desempeña diferentes funciones tales como:

ISIS: esta herramienta permite escoger el dispositivo y el material que van hacer utilizados en el proyecto, permitiendo así elaborar diversos trazos y esquemas.

ARES: esta herramienta permite diseñar y realizar un proceso conocido como ruteado del proyecto, la herramienta ARES tiene como fin dar a conocer el diseño del circuito por medio de una impresión en una hoja de papel termotransferible que después tendrá que ser planchado sobre y directamente en la baquelita y debe ser atacada con ácido para poder obtener así la placa.

Herramienta ISIS

Esta herramienta permite fabricar o diseñar el diagrama esquemático del circuito por medio de conexiones en cada diferente elemento, tiene una extensión de archivos conocido como (.dsn) este archivo hace referencia al Schematic Design.

Herramienta ARES

Una vez finalizado el circuito que fue creado mediante la herramienta ISIS, se debe transferir todos los elementos de ISIS a ARES, y con estos componentes procedemos a diseñar a gusto, se debe tener en cuenta optimizar lo máximo el espacio en su producto final. La herramienta ares tiene una extensión de archivo conocido como (.LYT) este archivo hace referencia a PCB Layout. (Salazar, 2014, págs. 91-92)

4.9.5 Logo!Soft Comfort V8.0

Logo Soft Comfort V8.0 es un programa, que está compuesto de un conjunto de funciones, en donde se puede: crear, programar, probar, simular, modificar, guardar e imprimir los programas cómodamente. Este software es una herramienta, que proporciona una amplia funcionalidad, en el diseño, programación y simulación de circuitos eléctricos.

Características del programa:

- ✓ Simulación del circuito en el ordenador.
- ✓ Permisibilidad para programar y diseñar circuitos, facilitando y garantizando la transparencia del diseño mediante los esquemas que se desarrollan en la página del software LOGO! Soft Comfort V8.0.
- ✓ Posibilidad de probar el programa online desde la PC al Logo o viceversa.
- ✓ Cuenta con múltiples funciones para la programación.

- ✓ Flexibilidad de configuración y programación. (Curimilma, 2012, págs. 4-5)

4.9.6 El programa Arduino®.

El código Arduino® se empleó por medio del desarrollo integrado, el software Arduino® lee los puertos de los sensores, censa el valor de los sensores y envía esta información al puerto serial. Posee un lenguaje propio basado en C/C++ y por ello soporta las funciones del estándar C y algunas de C++

El desarrollo integrado es representado por las siglas IDE, esta a su vez provienen de Integrated Development Environment traducido al idioma español significa entorno de desarrollo integral, estos sistemas de herramientas de software permiten a los usuarios o programadores poder desarrollar sus propios programas mediante un conjunto de instrucciones y órdenes que a su vez pretenden dar un resultado determinado. Dentro de los beneficios que nos presenta este programa es que está disponible para cualquier usuario de forma gratuita ya que es un software libre.

En el programa Arduino® necesita un IDE que permite editar y escribir, también permite comprobar que no se haya cometido un error y además ejecutar su función cuando este es considerado seguro mediante el uso de sketch, también se lo puede colocar en una memoria de microcontroladores de la placa del mismo programa para que se convierta en un ejecutor autónomo. (Simon, 2018, págs. 6-7)

Las placas más comunes de Arduino que se encuentran en el medio son:

1. Arduino Uno
2. Arduino Mega 2560
3. Arduino Leonardo
4. Arduino Nano

5. MATERIALES Y METODOS.

5.1 Materiales

A continuación, se describen los materiales que se utilizaron en esta investigación

- ✓ **Placa Arduino Mega 2560**

Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo open-source (fuente abierta) construida con un micro controlador modelo Atmega2560 que posee pines de entradas salidas (E/S), analógicas y digitales. Puede utilizarse en el desarrollo de objetos interactivos autónomos o puede comunicarse a un PC.

"El Mega 2560 está diseñado para proyectos más complejos. Con 54 pines de E / S digitales, 16 entradas analógicas y un espacio más grande para su boceto, es la placa recomendada para impresoras 3D y proyectos de robótica." (Escobar & Farfan, 2018, págs. 41-42)

- Características técnicas:
- Micro controlador: Atmega 2560
- Tensión de Operación: 5 V
- Voltaje de entrada: 7-12V
- Pines de entradas/Salidas: 54 (de los cuales 15 proveen de salida PWM)
- Pines Analógicas de entada: 16
- Memoria Flash: 256 KB
- Velocidad de reloj 16MHz

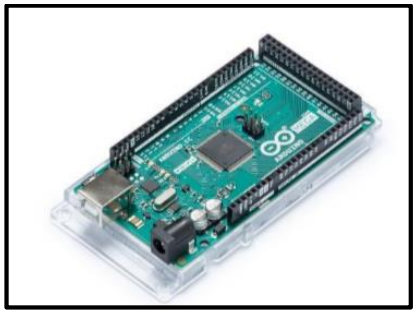


Figura 11: *Arduino Mega 2560.*

Fuente: *(Escobar & Farfan, 2018)*

- ✓ **Sensor de Humedad de Suelo Tipo Higrómetro FC-28**

Conocido también como higrómetro de suelo FC-28, es un sensor que mide la humedad del suelo, por la variación de su conductividad. No tiene la precisión suficiente para realizar una medición absoluta de la humedad del suelo, pero también no es necesario para controlar un sistema de riego, son ampliamente empleados en sistemas automáticos de riego.

Funcionamiento:

El FC-28 se distribuye con una placa de medición estándar que permite obtener la medición como valor analógico o como una salida digital, activada cuando la humedad supera un cierto umbral. Los valores obtenidos van desde 0 sumergido en agua, a 1023 en el aire o en un suelo muy seco. Un suelo ligeramente húmero daría valores típicos de 600-700. Un suelo seco tendrá valores de 800-1023.

La salida digital dispara cuando el valor de humedad supera un cierto umbral, que ajustamos mediante el potenciómetro. Por tanto, obtendremos una señal LOW cuando el suelo no está húmedo, y HIGH cuando la humedad supera el valor de consigna. El valor concreto dependerá del tipo de suelo y la presencia de elementos químicos, como fertilizante. (Apaza & Torre, 2017, págs. 45-46)

Características:

- Alimentación: 3.3V o 5V
- Voltaje de salida: 0 - 4.2V
- Corriente 32mA
- Pines: Azul (Salida), Negro (GND), Rojo (Vcc)

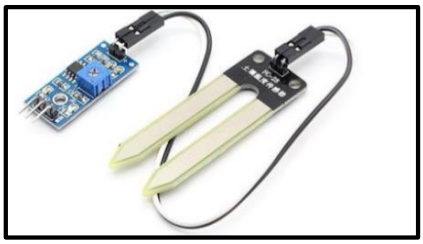


Figura 12: *Sensor de humedad de suelo Higrómetro FC-28.*

Fuente: *(Apaza & Torre, 2017)*

- ✓ **Sensor de lluvia**

(Escobar & Farfan, 2018, pág. 37) Afirma que este tipo de sensores detectan la presencia de lluvia por la variación de conductividad del sensor al entrar en contacto con el agua.

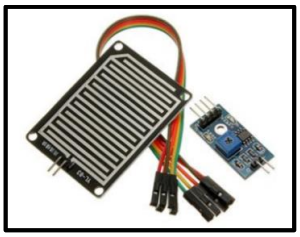


Figura 13: *Sensor de lluvia.*

Fuente: *(Escobar & Farfan, 2018)*

- ✓ **Sensor de flujo**

El sensor de flujo permite determinar si hay circulación de un fluido en una tubería es decir estos sensores indican la ausencia o presencia de flujo, pero no miden el caudal.

Funcionamiento:

El sensor internamente tiene un rotor cuyas paletas tiene un imán, la cámara en donde se encuentra el rotor es totalmente aislado evitando fugas de agua, externamente a la cámara tiene un sensor de efecto hall que detecta el campo magnético del imán de las paletas y con esto el movimiento del rotor, el sensor de efecto hall envía los pulsos por uno de los cables del sensor, los pulsos deberán ser convertidos posteriormente con el arduino.

Características:

El sensor de flujo posee tres cables para su conexión, rojo y negro para la alimentación y amarillo para la salida de los pulsos. La salida de pulsos es una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al caudal. El factor de conversión de frecuencia (Hz) a caudal (L/min) varía entre modelos, pero en esta ocasión el factor de conversión es k=7.5 (Apaza & Torre, 2017, págs. 47-48)

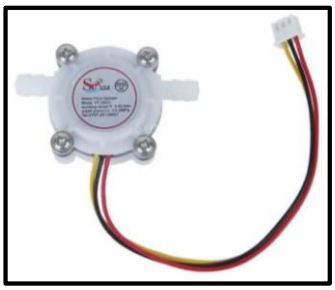


Figura 14: *Sensor de flujo.*

Fuente: *Autor*

- ✓ **Relé**

Según (Escobar & Farfan, 2018, pág. 36) plantea que todos los actuadores trabajan con un relé, que es un circuito electrónico que sirve para controlar circuitos que funcionan a tensiones superiores y es el encargado de encender o apagar una válvula solenoide o una bomba,

Figura 15: *Módulo de relé de 4 y una válvula solenoide.*

Fuente: *(Escobar & Farfan, 2018)*

- ✓ **Electroválvula solenoide de 1/2' N/C 12VDC**

La electroválvula utilizada es una válvula electromecánica, que se energiza o des-energiza para abrir o cerrar un orificio de paso y permitir o bloquear el flujo de agua. Este dispositivo está diseñado para el control unidireccional (un solo sentido) y es sumamente práctico y eficiente, su instalación y mantenimiento son sumamente sencillos.

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica, mediante magnetismo, en energía mecánica para actuar la válvula (Apaza & Torre, 2017, pág. 48)

Figura 16: *Electroválvula solenoide.*

Fuente: *(Apaza & Torre, 2017)*

- ✓ **Pantalla LCD**

Una pantalla LCD es un dispositivo diseñado para mostrar información en forma gráfica. LCD significa Liquid Crystal Display (Display de cristal líquido). La mayoría de las pantallas LCD vienen unidas a una placa de circuito y poseen pines de entrada/salida de datos. Mediante el hardware software Arduino se podrán mostrar los datos obtenidos en la prueba experimental del proyecto.

Figura 17: *Pantalla LCD.*

Fuente: *(Apaza & Torre, 2017)*

5.2 Métodos.

Para realizar la presente investigación se utilizaron los siguientes métodos:

Método de observación científica.

Este método se utilizó en el reconocimiento de la zona de estudio mediante una entrevista, que permitió conocer el sistema de riego que se empleaba, los cultivos se encuentran y cada que tiempo carecen de agua.

Método Analítico.

Este método permitió el análisis de los aspectos teóricos y científicos, también se utilizó para el diseño hidráulico, la arquitectura de automatización, ajuste de variables hidráulicas, de control, validar el diseño propuesto y el análisis económico de factibilidad de la presente tesis.

Método experimental.

Este método se utilizó en el diseño, programación, ajuste de variables hidráulicas, de control, la construcción y la verificación del prototipo.

Método de medición.

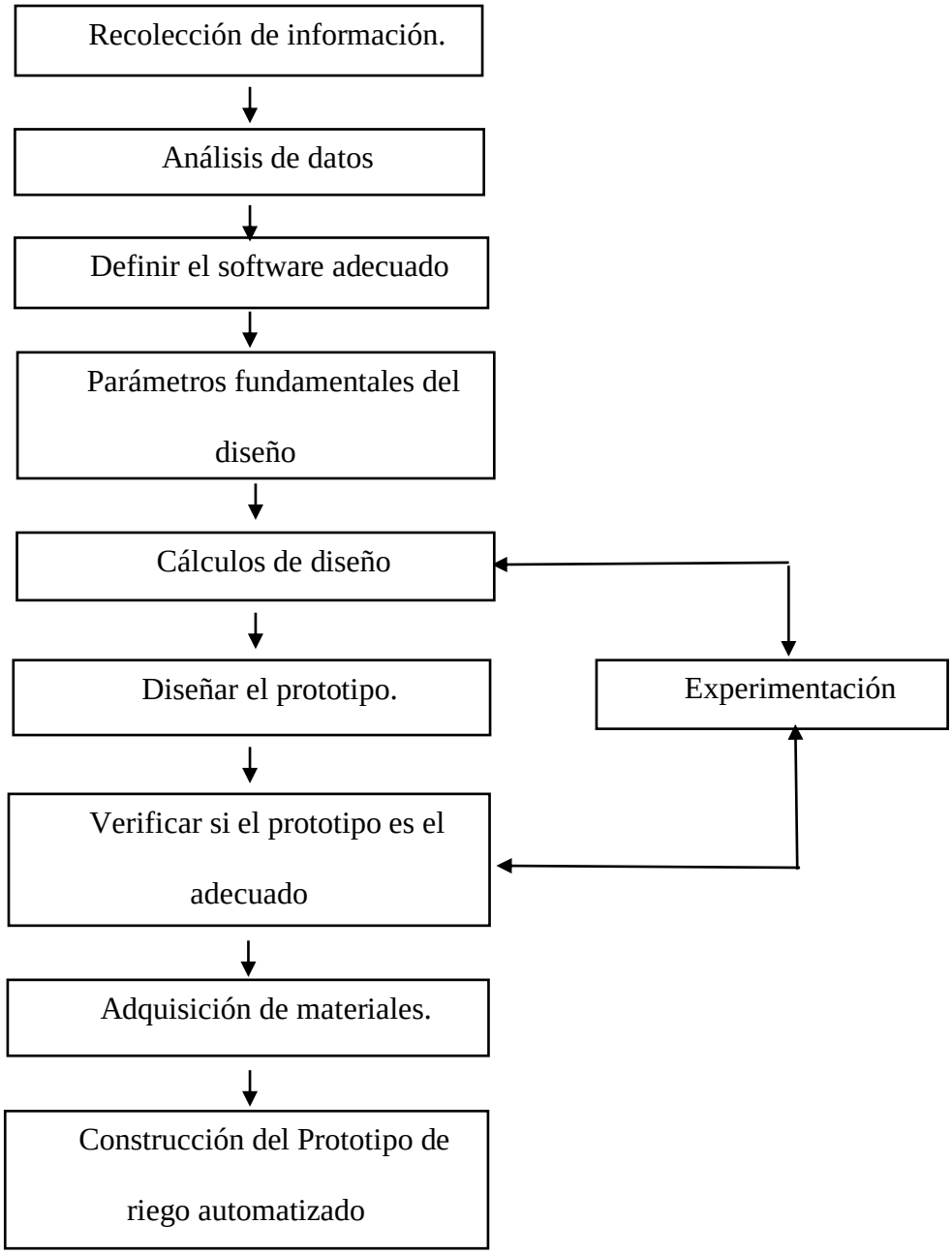
Este método permitió la toma de datos para la organización de los valores medidos para el análisis energético, y así poder comparar la eficiencia del sistema de riego con respecto al que se encuentra en el terreno de estudio.

También sirvió para realizar el estudio del análisis económico, para constatar el grado de factibilidad del presente proyecto.

Método práctico.

Este método sirvió para construir, verificar y validar el prototipo de riego automatizado eficiente, siguiendo la metodología del diseño propuesto.

El siguiente flujograma muestra la metodología a empleada durante el desarrollo del proyecto.


Recolección de información.
Análisis de datos
Definir el software adecuado
Parámetros fundamentales del diseño
Cálculos de diseño
Diseñar el prototipo.
Experimentación
Verificar si el prototipo es el adecuado
Adquisición de materiales.
Construcción del Prototipo de riego automatizado

6. RESULTADOS

6.1 Levantamiento técnico de la zona de estudio

De acuerdo a la investigación realizada en la Provincia de Loja el producto más cultivado es el maíz, siendo los cantones que tienen mayor índice de producción: Pindal, Celica, Puyango, Zapotillo, Paltas y Chaguarpamba. De acuerdo a esto se realiza el diseño de un sistema de riego en base al cultivo de maíz en un terreno del cantón Loja.

El terreno está ubicado en el cantón Loja, parroquia Malacatos, sector El Prado, con las siguientes coordenadas geográficas (4°12’47.3¨S; 79°13’36.5¨O), este predio tiene un área de una hectárea como se observa en el Anexo N°05. El abastecimiento del agua se lo realiza por medio de un canal, en el cual no existe dificultad para el abastecimiento de agua, es decir se puede hacer un riego continuo.

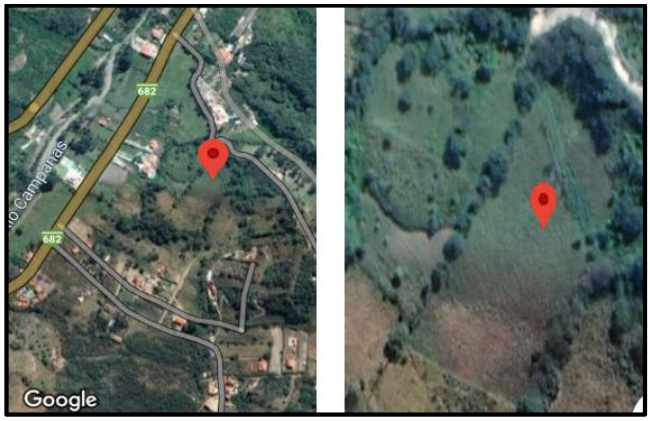


Figura 18: *Ubicación del terreno*

Fuente: *Autor*

Para lograr el cumplimiento del primer objetivo se efectuaron las siguientes actividades:

1) Verificar el tipo de terreno. - se tomó muestras del terreno y se las envió a analizar en el laboratorio de suelos y bromatología de la Universidad Nacional de Loja, en las cuales se pidió la textura del suelo, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, saturación del suelo y densidad aparente. Anexo N°01
2) Conocer que cultivo se encuentran en la propiedad. – Los cultivos que se encontraron en el terreno fueron: mango, naranja, mandarina, aguacate, limón, y el sembrío que más predomina en esta propiedad es el de maíz que abarca

aproximadamente un 80% del terreno, por lo que el estudio se lo realiza para ese cultivo por ser el que predomina en la zona de estudio

3) Consultar sobre el sistema de riego que realizan en dicho sector. - el sistema de riego es por gravedad, el cual no abarca todo el terreno de estudio, sino solamente para los cultivos de árboles frutales, es por ello que el propietario del terreno realiza la siembra del maíz en temporada de invierno; también se pudo observar que en los terrenos aledaños es común realizar el riego por surcos.
4) Conocer de donde proviene el agua. - El agua proviene de un nacimiento llamado por los agricultores de la zona El Naque Taxiche, los que ocupan este recurso hídrico son 94 beneficiarios, siendo dividido para los sectores del Naque, Orta, El Ceibu, Taxiche, El Prado.
5) Conocer cada que tiempo carecen del recurso hídrico para el regadío. – La escasez de este yacimiento de agua es poca, durante la temporada de invierno los beneficiarios realizan mantenimiento adecuado del canal de riego y en temporada de verano es normal la circulación de este recurso vital para los cultivos.

6.2 Diseño de un sistema de riego tecnificado que se adapte a la zona.

Para lograr el cumplimiento del segundo objetivo se realizó las siguientes actividades

- ✓ Se verificó el tipo de riego a realizar en la propiedad del Sr. Carlos Martínez, ubicado en sitio El Prado Bajo, parroquia Malacatos, cantón Loja.

Con el desarrollo de esta investigación y la recolección de datos de la zona de estudio, se pudo concluir que el sistema de riego más adecuado es por aspersión, debido a que su regadío es en forma de lluvia siendo este delicado, también se puede fertilizar, y a su vez facilita al sensor de humedad su correcta lectura, por lo tanto, favorece un mejor regadío que no comprometa a la vitalidad de la planta y ayuda a su correcto desarrollo.

Para la realización de los cálculos, se partió del diseño agronómico para el cultivo de maíz como se muestra a continuación:

- ✓ Se hizo los cálculos agronómicos de acuerdo al terreno de estudio.

6.2.1 Diseño de riego por aspersión para el cultivo de maíz

Diseño agronómico

Datos

Eto = 5.38mm/dia Anexo N°04

Kc maíz =1.2 Anexo N°03

PROF = 80cm Anexo N°02

UR = 50% Porcentaje que permite el descenso de la lámina de agua aprovechable, sin causar stress al cultivo,

Dw = 1g/cm3 Densidad del agua

na = 75% Eficiencia del riego por aspersión

CC = 14.39% Anexo N°01

PMP = 10.82% Anexo N°01

Da = 1.4g/cm3 Anexo N°01

Vib = 8mm/h Tabla1

- ✓ Cálculo de la evapotranspiración del cultivo

$$ETc = ETo * Kc \qquad (1)$$

$$ETc = 5.38mm/dia * 1.2$$

$$ETc = 6.456mm/dia$$

- ✓ Cálculo de la Lámina de agua aprovechable

$$LAA = \frac{10(CC-PMP)}{100} * \left(\frac{Da}{Dw}\right) * PROF \qquad (2)$$

$$LAA = \frac{10(14.39 - 10.82)}{100} * \left(\frac{\frac{1.4g}{cm^3}}{\frac{1g}{cm^3}}\right) * 80cm$$

$$LAA = 39.98mm$$

Este cálculo permite saber la cantidad de agua que un suelo a cierta profundidad es capaz de almacenar.

- ✓ **Cálculo de agua rápidamente aprovechable**

$$LARA = LAA * UR \qquad (3)$$

$$LARA = 39.98mm * 50\%$$

$$LARA = 19.99mm$$

Este cálculo indica la cantidad de agua que se debe aplicar al cultivo

- ✓ **Cálculo de Frecuencia de riego**

$$FR = \frac{LARA}{Etc_{max}} \qquad (4)$$

$$FR = \frac{19.99mm}{6.456mm/dia}$$

$$FR = 3.09\ dias = 3\ dias$$

Este cálculo indica el número de días que transcurren entre dos riegos sucesivos.

- ✓ **Cálculo de lámina bruta a reponer**

$$Lb = \frac{FR * Etc_{max}}{n_a} \qquad (6)$$

$$Lb = 3dias * \frac{6.456mm/dia}{0.75}$$

$$Lb = 25.8mm$$

En este cálculo se aplicó la eficiencia del riego por aspersión que es del 75%, este resultado garantiza la humedad requerida para el cultivo de maíz y a la vez se evita que la reserva de agua aprovechable (CC–PMP) se agote totalmente hasta llegar a PMP, produciendo dificultades en el crecimiento de la planta u ocasionándole la muerte.

- ✓ **Área mínima a regar por día**

$$A_{min/dia} = \frac{A_T}{FR} \qquad (5)$$

$$A_{min/dia} = \frac{10000m^2}{3dias}$$

$$A_{min/dia} = 3333.33m^2/dia$$

$$A_{min} = 3333.33m^2$$

Este resultado indica el área que se debe regar por día

- ✓ **Selección del aspersor**

  tipo: aspersor de 3/4 tipo 3023 dos salidas dela marca senninger Anexo N°09

  Numero de Boquilla # 8 x 6

Caudal del aspersor	4,43gpm= 1006.1L/hr
Presión del aspersor	40psi
Altura del elevador	2m
Diámetro de humedecimiento	26.86m

- ✓ **Intensidad de precipitación por aspersor**

Datos:

Elat = 11m

Easp = 12m

$$IP = \frac{Qasp}{E_{lat} * E_{asp}} \qquad (7)$$

$$IP = \frac{1006.1 l/hr}{12m * 11m}$$

$$IP = 7.62 mm/hr$$

Por medio de este resultado se comprobó que la intensidad de precipitación sea menor o igual a la velocidad de infiltración básica del suelo franco que es de 8mm/hr Tabla 1, por lo que $IP \leq Vib$, cuyo cálculo cumple para el espaciamiento lateral y entre aspersores seleccionados como datos. Mediante esta fórmula nos ayuda a no causar encharcamiento de agua en el suelo.

- ✓ **Tiempo de riego**

$$Tr = \frac{Lb}{IP} \qquad (8)$$

$$Tr = \frac{25.8mm}{7.62mm/hr}$$

$$Tr = 3.38hr = 3hr\ y\ 23min$$

Este resultado indica el tiempo de regar en cada posición del área del terreno del proyecto

- ✓ **Número de aspersores**

$$Np = \frac{A_{min}}{E_{lat} * E_{asp}} \qquad (9)$$

$$Np = \frac{3333.33m^2}{12m * 11m}$$

$$Np = 25.25 = 25\ aspersores$$

- ✓ **Caudal de diseño**

$$Q_{diseño\ agronómico} = Np * Qasp \qquad (10)$$

$$Q_{diseño\ agronómico} = 25 * 1006.1l/hr$$

$$Q_{diseño\ agronómico} = \frac{25152.5l}{hr} = 7l/s$$

Este resultado muestra el caudal necesario para regar en una área de $3333.33m^2$

6.2.2 Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión.

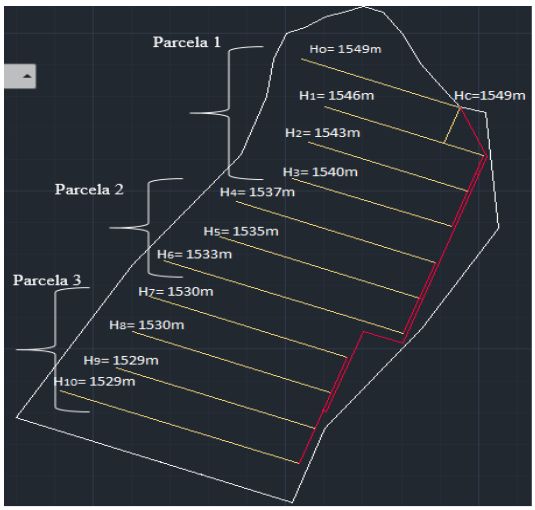


Figura 18: *Alturas geodésicas del terreno.*

Fuente: *Autor*

Para el cálculo de la red hidráulica del sistema de riego por aspersión, se tomó en cuenta las dimensiones de la red principal, secundaria, pérdidas de carga en las tuberías y accesorios. Se utilizó la fórmula de Hazen Williams, esta fórmula ayudó para el cálculo de los diámetros de tubería acorde para este sistema, así mismo se realizó por tramos los cálculos de las pérdidas de carga de la tubería principal y secundarias, para estos cálculos hidráulicos se analizó el siguiente aspecto:

Mediante el levantamiento planimétrico realizado por el Municipio de Loja (Anexo5), se lo dibujo en AutoCAD® y se realizó la distribución más adecuada de las tuberías según las dimensiones y la ubicación del canal de agua del terreno (Anexo 6), Figura 18 y 19.

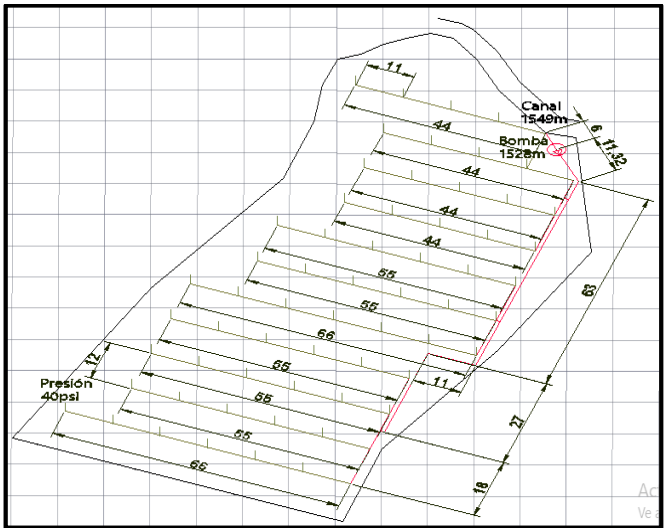


Figura 19. *Distribución de tuberías y espaciamiento de aspersores*

Fuente: *Autor*

Así mismo se tomó datos del canal de agua para saber el caudal que recorre por el mismo, en la cual se indica a continuación:

Tabla 5: *Recolección de datos de la circulación de agua del canal para el cálculo del caudal.*

METODO DEL FLOTADOR						
ANCHO	ALTURA	AREA	TIEMPO	DISTANCIA	VELOCIDAD	CAUDAL
M	M	m2	S	M	m/s	m3/s
0.705	0.25	0.176	8.65	3.19	0.37	0.065
0.705	0.25	0.176	6.87	3.19	0.46	0.082
0.705	0.25	0.176	6.75	3.19	0.47	0.083
0.705	0.25	0.176	6.77	3.19	0.47	0.083
0.705	0.25	0.176	6.82	3.19	0.47	0.082
0.705	0.246	0.173	8.6	3.19	0.37	0.064
0.705	0.246	0.173	6.42	3.19	0.50	0.086
0.705	0.246	0.173	8.6	3.19	0.37	0.064
0.705	0.246	0.173	6.62	3.19	0.48	0.084
0.705	0.246	0.173	6.9	3.19	0.46	0.080
0.705	0.252	0.178	6.66	3.19	0.48	0.085
0.705	0.252	0.178	6.91	3.19	0.46	0.082
0.705	0.252	0.178	6.67	3.19	0.48	0.085
0.705	0.252	0.178	6.75	3.19	0.47	0.084
0.705	0.252	0.178	6	3.19	0.53	0.094
0.705	0.248	0.175	6.45	3.19	0.49	0.086

0.705	0.248	0.175	7.09	3.19	0.45	0.079
0.705	0.248	0.175	8.14	3.19	0.39	0.069
0.705	0.248	0.175	7.15	3.19	0.45	0.078
0.705	0.248	0.175	8	3.19	0.40	0.070
0.705	0.254	0.179	6.56	3.19	0.49	0.087
0.705	0.254	0.179	7.2	3.19	0.44	0.079
0.705	0.254	0.179	6.79	3.19	0.47	0.084
0.705	0.254	0.179	7.42	3.19	0.43	0.077
0.705	0.254	0.179	7.17	3.19	0.44	0.080
0.705	0.237	0.167	6.37	3.19	0.50	0.084
0.705	0.237	0.167	7.24	3.19	0.44	0.074
0.705	0.237	0.167	6.83	3.19	0.47	0.078
0.705	0.237	0.167	7.46	3.19	0.43	0.071
0.705	0.237	0.167	7.2	3.19	0.44	0.074
0.705	0.24	0.169	7.27	3.19	0.44	0.074
0.705	0.24	0.169	7.3	3.19	0.44	0.074
0.705	0.24	0.169	7.89	3.19	0.40	0.068
0.705	0.24	0.169	6.82	3.19	0.47	0.079
0.705	0.24	0.169	7.08	3.19	0.45	0.076
						0.078

Fuente: *Autor*

Datos:

$Q_{diseño\ agronómico}$= 7 l/s (Ec.10)

Q_{canal}=78 l/s Tabla 5

Q_{asp}=4.43gpm =1006.1 l/hr = 0.28 l/s = $2.8x10^{-4}m^3/s$ Anexo N°09

Pr_{asp}=40 Psi = 28.1m Anexo N°09

Cálculo del primer tramo 0-1: Succión

Mediante la distribución que se realizó en el programa AutoCAD® de los aspersores según el espaciamiento de cada uno, se rediseñó el caudal necesario del terreno, el cálculo agronómico indicó que se necesitaba 25 aspersores para cada uno de los tres sectores del terreno.

Por lo tanto, la nueva distribución quedó de la siguiente manera: parcela 1 y 2 con 18 aspersores y la parcela 3 con 23 aspersores como se observa en la figura 18 y 19.

El estudio realizado para el cálculo de la bomba se lo realizó en el tercer sector por ser la parcela más crítica, debido a que está más alejada a ésta, hay más pérdidas por tubería, mayor número de accesorios y el caudal es mayor con respecto a los demás sectores, a continuación, la representación gráfica de la parcela 3 y los cálculos realizados en el primer tramo:

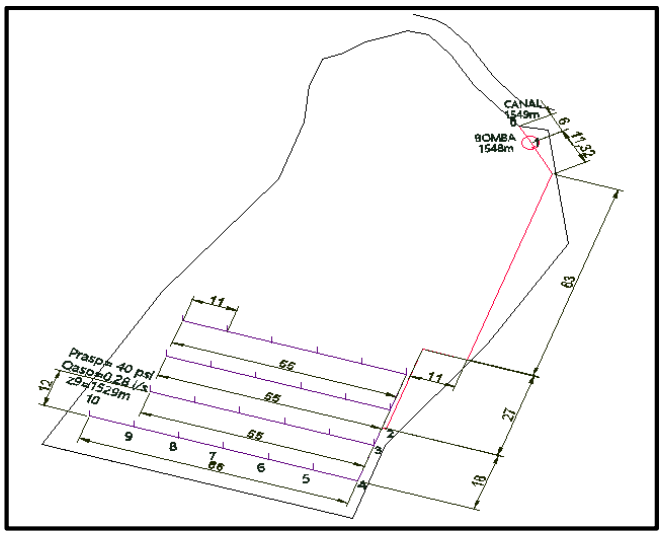


Figura 20: *Parcela 3*

Fuente: Autor

$$Q_T = (Q_{asp} * N_p) + (Q_{asp} * N_p) + (Q_{asp} * N_p) + (Q_{asp} * N_p) \qquad (14)$$

$$Q_T = (2.8x10^{-4}m^3/s * 6) + (2.8x10^{-4}m^3/s * 6) + (2.8x10^{-4}m^3/s * 5) + (2.8x10^{-4}m^3/s * 6)$$

$$Q_T = \frac{6.44x10^{-3}m^3}{s} = \frac{23.18m^3}{hr}$$

Este resultado indica el caudal necesario que debe abastecer el canal, por lo que si abastece el canal al terreno

$$Q = v * A = v_{0-1}\left(\frac{\pi(Q_{0-1})^2}{4}\right) \qquad (12)$$

$$D_{0-1} = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{0-1}}}$$

Para el cálculo del diámetro en la succión se escogió el caudal total que es $Q_T = \frac{23.18m^3}{hr}$ la velocidad permitida según el libro de Roberth Moth en la cual es:

$v_{0-1} = 2m/s$ (Anexo7).

$$D_{0-1} = \sqrt{\frac{4 * (\frac{6.44x10^{-3}m^3}{s})}{\pi * (\frac{2m}{s})}}$$

$$D_{0-1} = 0.064m = 64mm$$

Con dicho resultado se eligió del catálogo de plastigama (Anexo 10) el Ønominal= 75mm y el Ø interior= 69mm y recalculamos la velocidad.

$$Q_T = v * A \qquad (12)$$

$$v_{0-1} = \frac{Q_T}{A}$$

$$v_{0-1} = \frac{4 * (\frac{6.44x10^{-3}m^3}{s})}{\pi\,(0.069m)^2}$$

$$v_{0-1} = 1.72m/s$$

Este cálculo indica la velocidad que va a circular en ese tramo de succión.

Valores de rugosidad para la tubería de PVC es:

$\epsilon_{PVC} = 0.0007cm$ (Tabla 2)

$$Rugosidad = \frac{\epsilon_{PVC}}{D_{0-1}} \quad (17)$$

$$Rugosidad = \frac{0.0007cm}{6.9cm}$$

$$Rugosidad = 1.014x10^{-4}$$

El resultado de la rugosidad sirve para buscar en la tabla el valor de fricción según Hazen-Williams por lo tanto es de $C_{HW} = 140\ Lisa$ (Tabla3).

De acuerdo al catálogo de Plastigama del Anexo 11, nos indica las pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC, por eso se suma estas pérdidas con las de longitud de tubería de succión.

Tabla 6: *Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 0-1*

PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN ACCESORIOS TRAMO 0-1			
Accesorios	Cantidad	$L_{perd.fric.acces.}$ m	$\sum L_{perd.fric.acces.}$ m
Válvula check (75mm)	1	8.2	8.2
			8.2m

Fuente: *Autor*

✓ **Cálculo de pérdidas primarias en la succión de 0-1.**

Datos:

L_{0-1}= 6m

$\sum L_{perd.fric.acces.0-1} = 8.2m$

$Q_T = \frac{6.44x10^{-3}m^3}{s}$ (Ec. 14)

$C_{HW} = 140$ (Tabla 3)

$D_{0-1} = 0.069m$

$$H_{rp0-1} = \frac{10.674(L_{0-1}+\sum L_{perd.fric.acces.0-1})(Q_T{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{0-1}{}^{4.871})} \qquad (18)$$

$$H_{rp0-1} = \frac{10.674(6m + 8.2m)(\frac{6.44x10^{-3}m^3}{s})^{1.852}}{(140)^{1.852}((0.069m)^{4.871})}$$

$$H_{rps} = 0.64m$$

Este cálculo permite saber cuánto es de pérdida de presión mediante la fricción que ejerce el fluido sobre la tubería.

Cálculo de pérdidas secundarias en la succión de 0-1.

Datos:

$Q_T = \frac{6.44x10^{-3}m^3}{s}$ (Ec. 14)

$D_{0-1} = 0.069m$

Pérdidas de carga por accesorios Anexo N° 11

Tabla 7: *Pérdidas de carga por accesorios en la succión.*

TRAMO 0-1	VÁLVULA DE PIE # (1)	TOTAL $\sum K$
SUCCIÓN D= 69mm	2.5	2.5

Fuente: Autor

$$H_{rs0-1} = \sum K(\frac{8{Q_T}^2}{g\pi^2 Ds^4}) \qquad (20)$$

$$H_{rs0-1} = 2.5(\frac{8(\frac{6.44x10^{-3}m^3}{s})^2}{(\frac{9.81m}{s^2})(\pi^2)(0.069m)^4})$$

$$H_{rss} = 0.378m$$

Mediante este cálculo de pérdidas secundarias se sabe cuanta presión se pierde por el número de accesorios que se coloca en la tubería.

- ✓ **<u>Cálculo del segundo tramo: Descarga 1 a 2</u>**

$$Q_T = v * A = v_{desc\ 1-2}\left(\frac{\pi(D_{desc\ 1-2})^2}{4}\right) \qquad (12)$$

$$D_{desc\ 1-2} = \sqrt{\frac{4 * Q_T}{\pi * v_{desc\ 1-2}}}$$

El cálculo del diámetro en la descarga 1 a 2, se escogió mediante el caudal total $Q_T = \frac{23.18m^3}{hr}$ la velocidad permitida según el libro de Roberth Moth la cual es:

$v_{desc\ 1-2} = 2.9m/s$ (Anexo7).

$$D_{desc\ 1-2} = \sqrt{\frac{4 * (\frac{6.44x10^{-3}m^3}{s})}{\pi * (\frac{2.9m}{s})}}$$

$$D_{desc\ 1-2} = 0.053m = 53mm$$

Mediante este resultado se eligió del catálogo de plastigama (Anexo 10) el Ønominal= 63mm y el Ø interior= 59.8mm y recalculamos la velocidad.

$$Q_T = v_{desc\ 1-2} * A_{desc\ 1-2} \qquad (12)$$

$$v_{desc\ 1-2} == \frac{Q_T}{A_{desc\ 1-2}}$$

$$v_{desc\ 1-2} == \frac{4 * (\frac{6.44x10^{-3}m^3}{s})}{\pi\ (0.0598m)^2}$$

$$v_{desc\ 1-2} == 2.3m/s$$

Este cálculo indica la velocidad que va a circular en ese tramo de descarga 1 a 2.

Valores de rugosidad para la tubería de PVC es:

$\epsilon_{PVC} = 0.0007cm$ (Tabla 2)

$$Rugosidad = \frac{\epsilon_{PVC}}{D_{desc\ 1-2}} \quad (17)$$

$$Rugosidad = \frac{0.0007cm}{5.98cm}$$

$$Rugosidad = 1.17x10^{-4}$$

El resultado de la rugosidad sirve para buscar en la tabla el valor de fricción según Hazen-Williams por lo tanto es de $C_{HW} = 140\ Lisa$ (Tabla 3).

De acuerdo al catálogo de Plastigama del Anexo 11, nos indica las pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC, por eso se suma estas pérdidas con las de longitud de tubería del tramo de descarga de 1-2.

Tabla 8:*Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 1-2*

PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN ACCESORIOS TRAMO 1-2			
Accesorios	Cantidad	$L_{perd.fric.acces.}$ m	$\sum L_{perd.fric.acces.}$ m
Válvula de compuerta (63mm)	2	0.8	1.6
Tee (63mm)	3	2.3	6.9
Codo 90° (63mm)	4	3.4	13.6
Valvula check (63mm)	1	7.1	7.1
			29.2m

Fuente: *Autor*

Cálculo de pérdidas primarias en la descarga 1 a 2

Datos:

$L_{d1-2} =$ 113.32m

$\sum L_{perd.fric.acces.1-2} = 29.2m$

$Q_T = \frac{6.44x10^{-3}m^3}{s}$ (Ec.14)

$C_{HW} = 140$ (Tabla 3)

$D_{desc\,1-2} = 0.0598m$

$$H_{rpd1-2} = \frac{10.674(L_{d1-2} + \sum L_{perd.fric.acces.1-2})(Q_T{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{desc\,1-2}{}^{4.871})} \qquad (18)$$

$$H_{rpd1-2} = \frac{10.674(113.32m + 29.2m)(\frac{6.44x10^{-3}m^3}{s})^{1.852}}{(140)^{1.852}((0.0598m)^{4.871})}$$

$$H_{rpd1-2} = 12.83m$$

Por ser un tramo muy extenso esta presión se incrementó debido a su longitud y el diámetro de su tubería.

- ✓ **<u>Cálculo del segundo tramo: Descarga 2 a 3</u>**

$$Q_{2-3} = (Q_T) - (Q_{asp} * N_p) \qquad (15)$$

$$Q_{2-3} = \left(\frac{6.44x10^{-3}m^3}{s}\right) - (2.8x10^{-4}m^3/s * 11)$$

$$Q_{2-3} = \frac{3.08x10^{-3}m^3}{s} = \frac{11.06m^3}{hr}$$

El resultado indica el caudal que pasa por el tramo 2 a 3

$$Q_{2-3} = v * A = v_{desc\,2-3}\left(\frac{\pi(D_{desc\,2-3})^2}{4}\right) \qquad (12)$$

$$D_{desc\,2-3} = \sqrt{\frac{4 * Q_{2-3}}{\pi * v_{desc\,2-3}}}$$

Para el cálculo del diámetro en la descarga 2 a 3, se seleccionó el caudal total $Q_{2-3} = \frac{11.06m^3}{hr}$ la velocidad permitida según el libro de Roberth Moth es:

$v_{desc\,2-3} = 2.9m/s$ (Anexo7).

$$D_{desc\,2-3} = \sqrt{\frac{4 * (\frac{3.08x10^{-3}m^3}{s})}{\pi * (\frac{2.9m}{s})}}$$

$$D_{desc\ 2-3} = 0.037m = 37mm$$

Mediante este resultado se eligió del catálogo de plastigama (Anexo 10) el Ønominal= 50mm y el Ø interior= 46.8mm y recalculamos la velocidad.

$$Q_{2-3} = v_{desc\ 2-3} * A_{desc\ 2-3} \qquad (12)$$

$$v_{desc\ 2-3} = \frac{Q_1}{A_{desc\ 2-3}}$$

$$v_{desc\ 2-3} = \frac{4 * (\frac{3.07x10^{-3}m^3}{s})}{\pi\ (0.0468m)^2}$$

$$v_{desc\ 2-3} = 1.8m/s$$

Este cálculo indica la velocidad que va a circular en ese tramo de descarga 2 a 3.

Valores de rugosidad para la tubería de PVC es:

$\epsilon_{PVC} = 0.0007cm$ (Tabla 2)

$$Rugosidad = \frac{\epsilon_{PVC}}{D_{desc\ 2-3}} \qquad (17)$$

$$Rugosidad = \frac{0.0007cm}{4.68cm}$$

$$Rugosidad = 1.496x10^{-4}$$

Este resultado de la rugosidad sirve para buscar en la tabla el valor de fricción según Hazen-Williams por lo tanto es de $C_{HW} = 140\ Lisa$ (Tabla 3).

De acuerdo al catálogo de Plastigama del Anexo 11, nos indica las pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC, por eso se suma estas pérdidas con las de longitud de tubería del tramo de descarga de 2-3.

Tabla 9: *Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 2-3.*

PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN ACCESORIOS TRAMO 2-3			
Accesorios	Cantidad	$L_{perd.fric.acces.}$ / m	$\sum L_{perd.fric.acces.}$ / m
Tee	1	2.2	2.2
			2.2m

Fuente: *Autor.*

Cálculo de pérdidas primarias en el tramo 2-3

Datos:

$L_{d2-3} =$ 6m

$\sum L_{perd.fric.acces.2-3} = 2.2m$

$Q_{2-3} = \frac{3.08x10^{-3}m^3}{s}$ (Ec. 15)

$C_{HW} = 140$ (Tabla 3)

$D_{d\ 2-3} = 0.0468m$

$$H_{rpd2-3} = \frac{10.674(L_{d2-3} + \sum L_{perd.fric.acces.2-3})(Q_{2-3}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,2-3}{}^{4.871})} \qquad (18)$$

$$H_{rpd2-3} = \frac{10.674(6m + 2.2m)(\frac{3.07x10^{-3}m^3}{s})^{1.852}}{(140)^{1.852}((0.0468m)^{4.871})}$$

$$H_{rpd2-3} = 0.62m.$$

- ✓ **Cálculo del segundo tramo: Descarga 3 a 4**

$$Q_{3-4} = (Q_{asp} * N_p) \qquad (16)$$

$$Q_{3-4} = (2.8x10^{-4}m^3/s * 6)$$

$$Q_{3-4} = \frac{1.68x10^{-3}m^3}{s} = \frac{6.04m^3}{hr}$$

El resultado indica el caudal que pasa por el tramo 3 a 4

$$Q_{3-4} = v * A = v_{desc\ 3-4}\left(\frac{\pi D_{desc\ 3-4}{}^2}{4}\right) \qquad (12)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_{3-4}}{\pi * v_{desc\ 3-4}}}$$

Para el cálculo del diámetro en la descarga 3 a 4, se escogió mediante el caudal total $Q_{3-4} = \frac{6.04m^3}{hr}$ la velocidad permitida según el libro de Roberth Moth la cual es:

$v_{desc\ 3-4} = 1.8m/s$ (Anexo7).

$$D_{desc\ 3-4} = \sqrt{\frac{4 * (\frac{1.68x10^{-3}m^3}{s})}{\pi * (\frac{1.8m}{s})}}$$

$$D_{desc\ 3-4} = 0.034m = 34mm$$

Mediante este resultado se seleccionó del catálogo de plastigama (Anexo 10) el Ønominal= 50mm y el Ø interior= 46.8mm y recalculamos la velocidad.

$$Q_{3-4} = v_{desc\ 3-4} * A_{desc\ 3-4} \qquad (12)$$

$$v_{desc\ 3-4} = \frac{Q_{3-4}}{A_{desc\ 3-4}}$$

$$v_{desc\ 3-4} = \frac{4 * (\frac{1.68x10^{-3}m^3}{s})}{\pi\ (0.0468m)^2}$$

$$v_{desc\ 3-4} = 0.975m/s$$

Este cálculo indica la velocidad que va a circular en ese tramo de descarga 3 a 4.

Valores de rugosidad para la tubería de PVC es:

$\epsilon_{PVC} = 0.0007cm$ (Tabla 2)

$$Rugosidad = \frac{\epsilon_{PVC}}{D_{desc\ 3-4}} \qquad (17)$$

$$Rugosidad = \frac{0.0007cm}{4.68cm}$$

$$Rugosidad = 1.496x10^{-4}$$

Este resultado de la rugosidad sirve para buscar en la tabla el valor de fricción según Hazen- Williams por lo tanto es de $C_{HW} = 140\ Lisa$ (Tabla 3)

De acuerdo al catálogo de Plastigama del Anexo 11, nos indica las pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC, por eso se suma estas pérdidas con las de longitud de tubería del tramo de descarga de 3-4.

Tabla 10: *Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 3-4.*

PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN ACCESORIOS TRAMO 3-4			
Accesorios	Cantidad	$L_{perd.fric.acces.}$ m	$\sum L_{perd.fric.acces.}$ m
Codo90°	1	3.2	3.2
			3.2m

Fuente: *Autor.*

Cálculo de pérdidas primarias en la descarga del tramo 3-4

Datos:

$L_{d3-4} =$ 12m

$\sum L_{perd.fric.acces.3-4} = 3.2m$

$Q_{3-4} = \frac{1.68x10^{-3}m^3}{s}$ (Ec. 16)

$C_{HW} = 140$ (Tabla 3)

$D_{d\,3-4} = 0.0468m$

$$H_{rpd3-4} = \frac{10.674(L_{d3-4}+\sum L_{perd.fric.acces.3-4})(Q_{3-4}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,3-4}{}^{4.871})} \qquad (18)$$

$$H_{rpd3-4} = \frac{10.674(12m + 3.2)(\frac{1.68x10^{-3}m^3}{s})^{1.852}}{(140)^{1.852}((0.0468m)^{4.871})}$$

$$H_{rpd3-4} = 0.38m$$

- ✓ **Cálculo del segundo tramo: Descarga 4 a 5**

$$Q_{4-5} = Q_{3-4} \qquad (16)$$

$$Q_{4-5} = \frac{1.68x10^{-3}m^3}{s} = \frac{6.04m^3}{hr}$$

El resultado indica el caudal que pasa por el tramo 4 a 5

$$Q_{4-5} = v * A = v_{desc\,4-5}\left(\frac{\pi D_{desc\,4-5}{}^2}{4}\right) \qquad (12)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_{4-5}}{\pi * v_{desc\ 4-5}}}$$

Para el cálculo del diámetro en la descarga 4 a 5, se escogió mediante el caudal total $Q_{4-5} = \frac{6.04m^3}{hr}$ la velocidad permitida según el libro de Roberth Moth la cual es:

$v_{desc\ 4-5} = 1.8m/s$ (Anexo7).

$$D_{desc\ 4-5} = \sqrt{\frac{4 * (\frac{1.68x10^{-3}m^3}{s})}{\pi * (\frac{1.8m}{s})}}$$

$$D_{desc\ 4-5} = 0.0344m = 34.4mm$$

Mediante este resultado se seleccionó del catálogo de plastigama (Anexo 10) el Ønominal= 40mm y el Ø interior= 37.8mm y recalculamos la velocidad.

$$Q_{4-5} = v_{desc\ 4-5} * A_{desc\ 4-5} \qquad (12)$$

$$v_{desc\ 4-5} = \frac{Q_{4-5}}{A_{desc\ 4-5}}$$

$$v_{desc\ 4-5} = \frac{4 * (\frac{1.68x10^{-3}m^3}{s})}{\pi\ (0.0378m)^2}$$

$$v_{desc\ 4-5} = 1.49m/s$$

Este cálculo indica la velocidad que va a circular en ese tramo de descarga 4 a 5.

Valores de rugosidad para la tubería de PVC es:

$\epsilon_{PVC} = 0.0007cm$ (Tabla 2)

$$Rugosidad = \frac{\epsilon_{PVC}}{D_{desc\ 4-5}} \qquad (17)$$

$$Rugosidad = \frac{0.0007cm}{3.78cm}$$

$$Rugosidad = 1.85x10^{-4}$$

Este resultado de la rugosidad sirve para buscar en la tabla el valor de fricción según Hazen- Williams por lo tanto es de $C_{HW} = 140\ Lisa$ (Tabla 3)

De acuerdo al catálogo de Plastigama del Anexo 11, nos indica las pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC, por eso se suma estas pérdidas con las de longitud de tubería del tramo de descarga de 4-5.

Tabla 11:*Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 4-5*

PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN ACCESORIOS TRAMO 4-5			
Accesorios	Cantidad	$L_{perd.fric.acces.}$ m	$L_{perd.fric.acces.}$ m
Tee	1	1.5	1.5
			1.5m

Fuente: *Autor*

Cálculo de pérdidas primarias en la descarga del tramo 4-5

Datos:

$L_{d4-5} = 12\text{m}$

$\sum L_{perd.fric.acces.4-5} = 1.5m$

$Q_{4-5} = \frac{1.68x10^{-3}m^3}{s}$ (Ec. 16)

$C_{HW} = 140$ (Tabla 3)

$D_{d\ 4-5} = 0.0378m$

$$H_{rpd4-5} = \frac{10.674(L_{d4-5}+\sum L_{perd.fric.acces.4-5})(Q_{4-5}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\ 4-5}{}^{4.871})} \qquad (18)$$

$$H_{rpd4-5} = \frac{10.674(12m + 1.5m)(\frac{1.68x10^{-3}m^3}{s})^{1.852}}{(140)^{1.852}((0.0378m)^{4.871})}$$

$$H_{rpd4-5} = 0.87m$$

✓ **Cálculo del segundo tramo: Descarga 5 a 6**

$$Q_{5-6} = Q_{4-5} - Q_{asp} \qquad (16)$$

$$Q_{5-6} = \frac{1.68x10^{-3}m^3}{s} - \frac{2.8x10^{-4}m^3}{s}$$

$$Q_{5-6} = \frac{1.4x10^{-3}m^3}{s} = \frac{5.04m^3}{hr}$$

El resultado indica el caudal que pasa por el tramo 5 a 6

$$Q_{5-6} = v * A = v_{desc\ 5-6}\left(\frac{\pi {D_{desc\ 5-6}}^2}{4}\right) \qquad (12)$$

$$D_{desc\ 5-6} = \sqrt{\frac{4 * Q_{5-6}}{\pi * v_{desc\ 5-6}}}$$

Para el cálculo del diámetro en la descarga 5 a 6, se escogió mediante el caudal total $Q_{5-6} = \frac{5.04m^3}{hr}$ la velocidad permitida según el libro de Roberth Moth la cual es:

$v_{desc\ 5-6} = 1.8m/s$ (Anexo7).

$$D_{desc\ 5-6} = \sqrt{\frac{4 * (\frac{1.4x10^{-3}m^3}{s})}{\pi * (\frac{1.8m}{s})}}$$

$$D_{desc\ 5-6} = 0.0314m = 31.4mm$$

Mediante este resultado se seleccionó del catálogo de plastigama (Anexo 10) el Ønominal= 40mm y el Ø interior= 37.8mm y recalculamos la velocidad.

$$Q_{5-6} = v_{desc\ 5-6} * A_{desc\ 5-6} \qquad (12)$$

$$v_{desc\ 5-6} = \frac{Q_{5-6}}{A_{desc\ 5-6}}$$

$$v_{desc\ 5-6} = \frac{4 * (\frac{1.4x10^{-3}m^3}{s})}{\pi\ (0.0378m)^2}$$

$$v_{desc\ 5-6} = 1.25m/s$$

Este cálculo indica la velocidad que va a circular en ese tramo de descarga 5 a 6.

Valores de rugosidad para la tubería de PVC es:

$\epsilon_{PVC} = 0.0007cm$ (Tabla 2)

$$Rugosidad = \frac{\epsilon\ PVC}{D_{desc\ 5-6}} \quad (17)$$

$$Rugosidad = \frac{0.0007cm}{3.78cm}$$

$$Rugosidad = 1.85x10^{-4}$$

Este resultado de la rugosidad sirve para buscar en la tabla el valor de fricción según Hazen- Williams por lo tanto es de $C_{HW} = 140\ Lisa$ (Tabla 3)

De acuerdo al catálogo de Plastigama del Anexo 11, nos indica las pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC, por eso se suma estas pérdidas con las de longitud de tubería del tramo de descarga de 5-6.

Tabla 12:*Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 5-6*

PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN ACCESORIOS TRAMO 5-6			
Accesorios	Cantidad	$L_{perd.fric.acces.}$ m	$L_{perd.fric.acces.}$ m
Tee	1	1.5	1.5
			1.5m

Fuente: Autor

Cálculo de pérdidas primarias en la descarga del tramo 5-6

Datos:

$L_{d5-6} =$ 11m

$\sum L_{perd.fric.acces.5-6} = 1.5m$

$Q_{5-6} = \frac{1.4x10^{-3}m^3}{s}$ (Ec. 16)

$C_{HW} = 140$ (Tabla 3)

$D_{d\ 5-6} = 0.0378m$

$$H_{rpd5-6} = \frac{10.674(L_{d5-6}+\sum L_{perd.fric.acces.5-6})(Q_{5-6}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\ 5-6}{}^{4.871})} \quad (18)$$

$$H_{rpd5-6} = \frac{10.674(11m + 1.5m)(\frac{1.4x10^{-3}m^3}{s})^{1.852}}{(140)^{1.852}((0.0378m)^{4.871})}$$

$$H_{rpd5-6} = 0.62m$$

- ✓ **Cálculo del segundo tramo: Descarga 6 a 7**

$$Q_{6-7} = Q_{5-6} - Q_{asp} \qquad (16)$$

$$Q_{6-7} = \frac{1.4x10^{-3}m^3}{s} - \frac{2.8x10^{-4}m^3}{s}$$

$$Q_{6-7} = \frac{1.12x10^{-3}m^3}{s} = \frac{4.03m^3}{hr}$$

El resultado indica el caudal que pasa por el tramo 6 a 7.

$$Q_{6-7} = v * A = v_{desc\ 6-7}\left(\frac{\pi {D_{desc\ 6-7}}^2}{4}\right) \qquad (12)$$

$$D_{desc\ 6-7} = \sqrt{\frac{4 * Q_{6-7}}{\pi * v_{desc\ 6-7}}}$$

Para el cálculo del diámetro en la descarga 6 a 7, se escogió mediante el caudal total $Q_{6-7} = \frac{4.03m^3}{hr}$ la velocidad permitida según el libro de Roberth Moth la cual es:

$v_{desc\ 6-7} = 1.8m/s$ (Anexo7).

$$D_{desc\ 6-7} = \sqrt{\frac{4 * (\frac{1.12x10^{-3}m^3}{s})}{\pi * (\frac{1.8m}{s})}}$$

$$D_{desc\ 6-7} = 0.0281m = 28.1mm$$

Mediante este resultado se seleccionó del catálogo de plastigama (Anexo 10) el Ønominal= 40mm y el Ø interior= 37.8mm y recalculamos la velocidad.

$$Q_{6-7} = v_{desc\ 6-7} * A_{desc\ 6-7} \qquad (12)$$

$$v_{desc\ 6-7} = \frac{Q_{6-7}}{A_{desc\ 6-7}}$$

$$v_{desc\ 6-7} = \frac{4 * (\frac{1.12x10^{-3}m^3}{s})}{\pi\ (0.0378m)^2}$$

$$v_{desc\,6-7} = 0.998 m/s$$

Este cálculo indica la velocidad que va a circular en ese tramo de descarga 6 a 7.

Valores de rugosidad para la tubería de PVC es:

$\epsilon_{PVC} = 0.0007cm$ (Tabla 2)

$$Rugosidad = \frac{\epsilon_{PVC}}{D_{desc\,6-7}} \quad (17)$$

$$Rugosidad = \frac{0.0007cm}{3.78cm}$$

$$Rugosidad = 1.85x10^{-4}$$

Este resultado de la rugosidad sirve para buscar en la tabla el valor de fricción según Hazen- Williams por lo tanto es de $C_{HW} = 140\ Lisa$ (Tabla 3)

De acuerdo al catálogo de Plastigama del Anexo 11, nos indica las pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC, por eso se suma estas pérdidas con las de longitud de tubería del tramo de descarga de 6-7.

Tabla 13: *Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 6-7*

PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN ACCESORIOS TRAMO 6-7			
Accesorios	Cantidad	$L_{perd.fric.acces.}$ m	$L_{perd.fric.acces.}$ m
Tee	1	1.5	1.5
			1.5m

Fuente: *Autor*

Cálculo de pérdidas primarias en la descarga del tramo 6-7

Datos:

$L_{d6-7} =$ 11m

$\sum L_{perd.fric.acces.6-7} = 1.5m$

$Q_{6-7} = \frac{1.12x10^{-3}m^3}{s}$ (Ec. 16)

$C_{HW} = 140$ (Tabla 3)

$D_{d\,6-7} = 0.0378m$

$$H_{rpd6-7} = \frac{10.674(L_{d6-7}+\sum L_{perd.fric.acces.6-7})(Q_{6-7}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,6-7}{}^{4.871})} \qquad (18)$$

$$H_{rpd6-7} = \frac{10.674(11m + 1.5m)(\frac{1.12x10^{-3}m^3}{s})^{1.852}}{(140)^{1.852}((0.0378m)^{4.871})}$$

$$H_{rpd6-7} = 0.41m$$

- ✓ **<u>Cálculo del segundo tramo: Descarga 7 a 8</u>**

$$Q_{7-8} = Q_{6-7} - Q_{asp} \qquad (16)$$

$$Q_{7-8} = \frac{1.12x10^{-3}m^3}{s} - \frac{2.8x10^{-4}m^3}{s}$$

$$Q_{7-8} = \frac{8.4x10^{-4}m^3}{s} = \frac{3.024m^3}{hr}$$

El resultado indica el caudal que pasa por el tramo 7 a 8

$$Q_{7-8} = v * A = v_{desc\,7-8}\left(\frac{\pi D_{desc\,7-8}{}^2}{4}\right) \qquad (12)$$

$$D_{desc\,7-8} = \sqrt{\frac{4 * Q_{7-8}}{\pi * v_{desc\,7-8}}}$$

Para el cálculo del diámetro en la descarga 7 a 8, se escogió mediante el caudal total $Q_{7-8} = \frac{3.024m^3}{hr}$ la velocidad permitida según el libro de Roberth Moth la cual es:

$v_{desc\,7-8} = 1.8m/s$ (Anexo7).

$$D_{desc\,7-8} = \sqrt{\frac{4 * (\frac{8.4x10^{-4}m^3}{s})}{\pi * (\frac{1.8m}{s})}}$$

$$D_{desc\,7-8} = 0.0243m = 24.3mm$$

Mediante este resultado se seleccionó del catálogo de plastigama (Anexo 10) el Ønominal= 40mm y el Ø interior= 37.8mm y recalculamos la velocidad.

$$Q_{7-8} = v_{desc\,7-8} * A_{desc\,7-8} \qquad (12)$$

$$v_{desc\ 7-8} = \frac{Q_{7-8}}{A_{desc\ 7-8}}$$

$$v_{desc\ 7-8} = \frac{4 * (\frac{8.4x10^{-4}m^3}{s})}{\pi\ (0.0378m)^2}$$

$$v_{desc\ 7-8} = 0.75m/s$$

Este cálculo indica la velocidad que va a circular en ese tramo de descarga 7 a 8.

Valores de rugosidad para la tubería de PVC es:

$\epsilon_{PVC} = 0.0007cm$ (Tabla 2)

$$Rugosidad = \frac{\epsilon\ PVC}{D_{desc\ 7-8}} \quad (17)$$

$$Rugosidad = \frac{0.0007cm}{3.78cm}$$

$$Rugosidad = 1.85x10^{-4}$$

Este resultado de la rugosidad sirve para buscar en la tabla el valor de fricción según Hazen- Williams por lo tanto es de $C_{HW} = 140\ Lisa$ (Tabla 3)

De acuerdo al catálogo de Plastigama del Anexo 11, nos indica las pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC, por eso se suma estas pérdidas con las de longitud de tubería del tramo de descarga de 7-8.

Tabla 14:*Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 7-8*

PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN ACCESORIOS TRAMO 7-8			
Accesorios	Cantidad	$L_{perd.fric.acces.}$ m	$L_{perd.fric.acces.}$ m
Tee	1	1.5	1.5
			1.5m

Fuente: *Autor*

<u>Cálculo de pérdidas primarias en la descarga del tramo 7-8</u>

Datos:

$L_{d7-8} =$ 11m

$\sum L_{perd.fric.acces.7-8} = 1.5m$

$Q_{7-8} = \frac{8.4x10^{-4}m^3}{s}$ (Ec. 16)

$C_{HW} = 140$ (Tabla 3)

$D_{d\,7-8} = 0.0378m$

$$H_{rpd7-8} = \frac{10.674(L_{d7-8}+\sum L_{perd.fric.acces.7-8})(Q_{7-8}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,7-8}{}^{4.871})} \qquad (18)$$

$$H_{rpd7-8} = \frac{10.674(11m + 1.5m)(\frac{8.4x10^{-4}m^3}{s})^{1.852}}{(140)^{1.852}((0.0378m)^{4.871})}$$

$$H_{rpd7-8} = 0.24m$$

- ✓ **<u>Cálculo del segundo tramo: Descarga 8 a 9</u>**

$$Q_{8-9} = Q_{7-8} - Q_{asp} \qquad (16)$$

$$Q_{8-9} = \frac{8.4x10^{-4}m^3}{s} - \frac{2.8x10^{-4}m^3}{s}$$

$$Q_{8-9} = \frac{5.6x10^{-4}m^3}{s} = \frac{2.016m^3}{hr}$$

El resultado indica el caudal que pasa por el tramo 8 a 9

$$Q_{8-9} = v * A = v_{desc\,8-9}\left(\frac{\pi D_{desc\,8-9}{}^2}{4}\right) \qquad (12)$$

$$D_{desc\,8-9} = \sqrt{\frac{4 * Q_{8-9}}{\pi * v_{desc\,8-9}}}$$

Para el cálculo del diámetro en la descarga 8 a 9, se escogió mediante el caudal total $Q_{8-9} = \frac{2.016m^3}{hr}$ la velocidad permitida según el libro de Roberth Moth la cual es:

$v_{desc\,8-9} = 1.8m/s$ (Anexo7).

$$D_{desc\,8-9} = \sqrt{\frac{4 * (\frac{5.6x10^{-4}m^3}{s})}{\pi * (\frac{1.8m}{s})}}$$

$$D_{desc\,8-9} = 0.0199m = 19.9mm$$

Mediante este resultado se seleccionó del catálogo de plastigama (Anexo 10) el Ønominal= 40mm y el Ø interior= 37.8mm y recalculamos la velocidad.

$$Q_{8-9} = v_{desc\ 8-9} * A_{desc\ 8-9} \qquad (12)$$

$$v_{desc\ 8-9} = \frac{Q_{8-9}}{A_{desc\ 8-9}}$$

$$v_{desc\ 8-9} = \frac{4 * (\frac{5.6x10^{-4}m^3}{s})}{\pi\ (0.0378m)^2}$$

$$v_{desc\ 8-9} = 0.5m/s$$

Este cálculo indica la velocidad que va a circular en ese tramo de descarga 8 a 9.

Valores de rugosidad para la tubería de PVC es:

$\epsilon_{PVC} = 0.0007cm$ (Tabla 2)

$$Rugosidad = \frac{\epsilon_{PVC}}{D_{desc\ 8-9}} \qquad (17)$$

$$Rugosidad = \frac{0.0007cm}{3.78cm}$$

$$Rugosidad = 1.85x10^{-4}$$

Este resultado de la rugosidad sirve para buscar en la tabla el valor de fricción según Hazen- Williams por lo tanto es de $C_{HW} = 140\ Lisa$ (Tabla 3)

De acuerdo al catálogo de Plastigama del Anexo 11, nos indica las pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC, por eso se suma estas pérdidas con las de longitud de tubería del tramo de descarga de 8-9.

Tabla 15: *Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 8-9*

PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN ACCESORIOS TRAMO 8-9			
Accesorios	Cantidad	$L_{perd.fric.acces.}$ m	$L_{perd.fric.acces.}$ m
Tee	1	1.5	1.5
			1.5m

Fuente: Autor

Cálculo de pérdidas primarias en la descarga del tramo 8-9

Datos:

$L_{d8-9} = 11\text{m}$

$\sum L_{perd.fric.acces.8-9} = 1.5m$

$Q_{8-9} = \frac{5.6x10^{-4}m^3}{s}$ (Ec. 16)

$C_{HW} = 140$ (Tabla 3)

$D_{d\,8-9} = 0.0378m$

$$H_{rpd8-9} = \frac{10.674(L_{d8-9}+\sum L_{perd.fric.acces.8-9})(Q_{8-9}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,8-9}{}^{4.871})} \qquad (18)$$

$$H_{rpd8-9} = \frac{10.674(11m + 1.5m)(\frac{5.6x10^{-4}m^3}{s})^{1.852}}{(140)^{1.852}((0.0378m)^{4.871})}$$

$$H_{rpd8-9} = 0.11m$$

- ✓ **Cálculo del segundo tramo: Descarga 9-10**

$$Q_{9-10} = Q_{8-9} - Q_{asp} \qquad (16)$$

$$Q_{9-10} = \frac{5.6x10^{-4}m^3}{s} - \frac{2.8x10^{-4}m^3}{s}$$

$$Q_{9-10} = \frac{2.8x10^{-4}m^3}{s} = \frac{1.008m^3}{hr}$$

El resultado indica el caudal que pasa por el tramo 9 a 10

$$Q_{9-10} = v * A = v_{desc\,9-10}\left(\frac{\pi D_{desc\,9-10}{}^2}{4}\right) \qquad (12)$$

$$D_{desc\,9-10} = \sqrt{\frac{4 * Q_{9-10}}{\pi * v_{desc\,9-10}}}$$

Para el cálculo del diámetro en la descarga 9 a 10, se escogió mediante el caudal total $Q_{9-10} = \frac{1.008m^3}{hr}$ la velocidad permitida según el libro de Roberth Moth la cual es:

$v_{desc\,9-10} = 1.8m/s$ (Anexo7).

$$D_{desc\,9-10} = \sqrt{\frac{4 * (\frac{2.8x10^{-4}m^3}{s})}{\pi * (\frac{1.8m}{s})}}$$

$$D_{desc\,9-10} = 0.014m = 14mm$$

Mediante este resultado se seleccionó del catálogo de plastigama (Anexo 10) el Ønominal= 20mm y el Ø interior= 16.8mm y recalculamos la velocidad.

$$Q_{9-10} = v_{desc\,9-10} * A_{desc\,9-10} \qquad (12)$$

$$v_{desc\,9-10} = \frac{Q_{9-10}}{A_{desc\,9-10}}$$

$$v_{desc\,9-10} = \frac{4 * (\frac{2.8x10^{-4}m^3}{s})}{\pi\,(0.0168m)^2}$$

$$v_{desc\,9-10} = 1.26m/s$$

Este cálculo indica la velocidad que va a circular en ese tramo de descarga 9 a 10.

Valores de rugosidad para la tubería de PVC es:

$\epsilon_{PVC} = 0.0007cm$ (Tabla 2)

$$Rugosidad = \frac{\epsilon_{PVC}}{D_{desc\,9-10}} \qquad (17)$$

$$Rugosidad = \frac{0.0007cm}{1.68cm}$$

$$Rugosidad = 4.16x10^{-4}$$

Este resultado de la rugosidad sirve para buscar en la tabla el valor de fricción según Hazen- Williams por lo tanto es de $C_{HW} = 140\ Lisa$ (Tabla 3)

De acuerdo al catálogo de Plastigama del Anexo 11, nos indica las pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC, por eso se suma estas pérdidas con las de longitud de tubería del tramo de descarga de 9-10.

Tabla 16: *Pérdidas de fricción en accesorios convertidas en metro de longitud de tubería de PVC según el catálogo de Plastigama en el tramo de 9-10*

PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN ACCESORIOS TRAMO 9-10			
Accesorios	Cantidad	$L_{perd.fric.acces.}$ m	$L_{perd.fric.acces.}$ m
Codo 90°	1	1.1	1.1
			1.1m

Fuente: *Autor*

Cálculo de pérdidas primarias en la descarga del tramo 9-10

Datos:

$L_{d9-10} =$ 13m

$\sum L_{perd.fric.acces.9-10} = 1.1m$

$Q_{9-10} = \frac{2.8x10^{-4}m^3}{s}$ (Ec. 16)

$C_{HW} = 140$ (Tabla 3)

$D_{d\ 9-10} = 0.0168m$

$$H_{rpd9-10} = \frac{10.674(L_{d9-10}+\sum L_{perd.fric.acces.9-10})(Q_{9-10}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\ 9-10}{}^{4.871})} \qquad (18)$$

$$H_{rpd9-10} = \frac{10.674(13m + 1.1m)(\frac{2.8x10^{-4}m^3}{s})^{1.852}}{(140)^{1.852}((0.0168m)^{4.871})}$$

$$H_{rpd9-10} = 1.85m$$

Cálculo de pérdidas secundarias en el Tramo de 9-10.

Datos:

$Q_{9-10} = \frac{2.8x10^{-4}m^3}{s}$ (Ec. 14)

$D_{9-10} = 0.0168m$

Pérdidas de carga por accesorios Anexo N° 11

Tabla 17:*Pérdidas de carga por accesorios en el tramo 9-10.*

TRAMO 9-10	SALIDA ATMOSFERA # (1)	TOTAL $\sum K$
D= 16.8mm	1	1

Fuente: Autor

$$H_{rs9-10} = \sum K = 1(\frac{8{Q_{9-10}}^2}{g\pi^2 {D_{9-10}}^4}) \quad (20)$$

$$H_{rs9-10} = 1(\frac{8(\frac{2.8x10^{-4}m^3}{s})^2}{(\frac{9.81m}{s^2})(\pi^2)(0.0168m)^4})$$

$$H_{rs9-10} = 0.0005m$$

Ecuación de Bernoulli

Una vez culminado el cálculo de las pérdidas primarias y secundaria se prosigue a la ecuación de Bernoulli para el cálculo de la altura manométrica de la instalación.

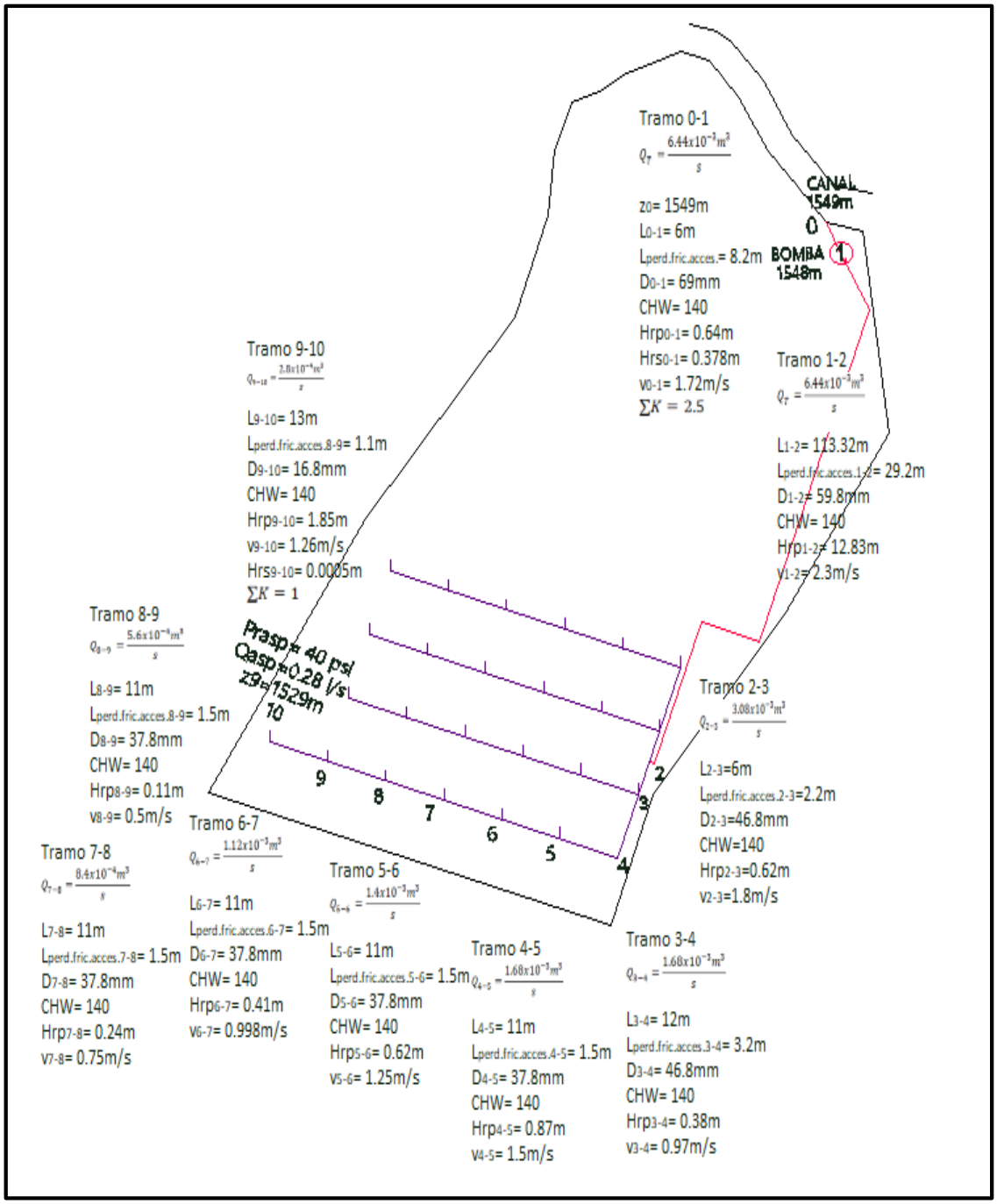


Figura 21: *Diagrama Hidráulico.*

Fuente: *Autor.*

Datos:

$$p_{asp} = 40psi = 28.1m$$

$$\left.\begin{aligned} z_1 &= 1549m \\ z_B &= 1548m \\ z_2 &= 1529m \end{aligned}\right\} \quad \text{Altura sobre el nivel del mar}$$

$Q_T = \frac{6.44x10^{-3}m^3}{s}$

$Q_{2-3} = \frac{3.08x10^{-3}m^3}{s}$

$Q_{3-4} = Q_{4-5} = \frac{1.67x10^{-3}m^3}{s}$

$Q_{5-6} = \frac{1.4x10^{-3}m^3}{s}$

$Q_{6-7} = \frac{1.12x10^{-3}m^3}{s}$

$Q_{7-8} = \frac{8.4x10^{-4}m^3}{s}$

$Q_{8-9} = \frac{5.6x10^{-4}m^3}{s}$

$Q_{9-10} = \frac{2.8x10^{-4}m^3}{s}$

Caudales.

$L_{0-1} = 6m$

$L_{d1-2} = 113.32m$

$L_{d2-3} = 6m$

$L_{d3-4} = 12m$

$L_{d4-5} = L_{d5-6} = L_{d6-7} = L_{d7-8} = L_{d8-9} = 11m$

$L_{d9-10} = 13m$

Longitudes de tramos.

$D_{s\,0-1} = 0.069m$

$D_{d\,1-2} = 0.0598m$

$D_{d\,2-3}\ y\ D_{d\,3-4} = 46.8mm$

$D_{d\,4-5} = D_{d\,5-6} = D_{d\,6-7} = D_{d\,7-8} = D_{d\,8-9} = 37.8mm$

$D_{d\,9-10} = 16.8mm$

Diámetros internos de tubería por tramo

$\sum L_{perd.fric.acces.0-1} = 8.2m$

$\sum L_{perd.fric.acces.2-3} = 29.2\text{m}$

$\sum L_{perd.fric.acces.2-3} = 2.2\text{m}$

$\sum L_{perd.fric.acces.3-4} = 3.2\text{m}$

$\sum L_{perd.fric.acces.4-5} = \sum L_{perd.fric.acces.5-6} = \sum L_{perd.fric.acces.6-7} = \sum L_{perd.fric.acces.7-8} = \sum L_{perd.fric.acces.8-9} = 1.5\text{m}$

$\sum L_{perd.fric.acces.9-10} = 1.1m$

Pérdida de carga de accesorio, convertida metro de longitud de tubería PVC

$H_{rp0-1} = 0.64m$

$H_{rpd1-2} = 12.83$

$H_{rpd2-3} = 0.32m$

$H_{rpd3-4} = 0.38m$

$H_{rpd3-4} = 0.87m$

$H_{rpd3-4} = 0.62m$

$H_{rpd3-4} = 0.41m$

$H_{rpd3-4} = 0.24m$

$H_{rpd3-4} = 0.11m$

$H_{rpd3-4} = 0.85m$

} Pérdidas primarias

$H_{rsd1-2} = 0.378m$

$H_{rsd2-3} = 0.0005m$

} Pérdidas Secundarias

$\sum K_{0-1} = 2.5$

$\sum £_{d9-10} = 1$

} Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria como: codos, válvulas, entre otros

$C_{HW} = 140$ Tabla N°3

$g = 9.81m/s^2$

Cálculo de la altura manométrica de la instalación

$$z_s + \frac{v^2{}_s}{2g} + \frac{p_s}{\gamma} + Hmi = z_4 + \frac{v^2{}_4}{2g} + \frac{p_{asp}}{\gamma} + H_{rPT} + H_{rsT} \qquad (11)$$

$$Hmi = (z_4 - z_s) + \frac{p_{asp}}{\gamma} + H_{rPT} + H_{rsT}$$

$$Hmi = (1529m - 1549m) + 28.1m + (0.64m + 12.83m + 0.62m + 0.38m + 0.87m + 0.62m + 0.41m + 0.24m + 0.11m + 1.85m) + (0.378m + 0.0005m)$$

$$Hmi = 27.06m$$

Ecuación de la curva característica de la instalación en función del caudal

La curva característica de la instalación (cci) representa la resistencia que ofrecen las tuberías de la instalación a la circulación del fluido por la misma. Es lo que se

denomina pérdidas de cargas en la instalación. Mediante esta curva podemos seleccionar adecuadamente una bomba centrífuga, mediante la intersección de las curvas características de la bomba y de la instalación podemos encontrar el punto de funcionamiento tanto para el caudal como la altura manométrica que va a trabajar la bomba.

$$z_0 + \frac{v^2{}_0}{2g} + \frac{p_0}{\gamma} + Hmi = z_{10} + \frac{v^2{}_{10}}{2g} + \frac{p_{asp}}{\gamma} + H_{rPT} + H_{rsT} \qquad (11)$$

$$Hmi = (z_{10} - z_0) + \frac{p_4}{\gamma} + \left(\frac{10.674(L_{0-1}+\sum L_{s0-1})(Q_T{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{s\,0-1}{}^{4.871})} + \frac{10.674(L_{d1-2}+\sum L_{1-2})(Q_{1-2}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,1-2}{}^{4.871})} + \right.$$

$$\frac{10.674(L_{d2-3}+\sum L_{2-3})(Q_{2-3}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,2-3}{}^{4.871})} + \frac{10.674(L_{d3-4}+\sum L_{3-4})(Q_{3-4}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,3-4}{}^{4.871})} +$$

$$\frac{10.674(L_{d4-5}+\sum L_{4-5})(Q_{4-5}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,4-5}{}^{4.871})} + \frac{10.674(L_{5-6}+\sum L_{5-6})(Q_{5-6}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,5-6}{}^{4.871})} +$$

$$\frac{10.674(L_{6-7}+\sum L_{6-7})(Q_{6-7}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,6-7}{}^{4.871})} + \frac{10.674(L_{d7-8}+\sum L_{7-8})(Q_{7-8}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,7-8}{}^{4.871})} +$$

$$\left.\frac{10.674(L_{d8-9}+\sum £_{s8-9})(Q_{8-9}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,8-9}{}^{4.871})} + \frac{10.674(L_{d9-10}+\sum £_{s9-10})(Q_{9-10}{}^{1.852})}{(C_{HW}{}^{1.852})(D_{d\,9-10}{}^{4.871})}\right) +$$

$$\left(\sum K_{s0-1}\left(\frac{8Q_T{}^2}{g\pi^2 D_{0-1}^4}\right) + \sum K_{d9-10}\left(\frac{8Q_{9-10}{}^2}{g\pi^2 D_{desc\,9-10}{}^4}\right)\right)$$

$$Hmi = 8.11m + \left(7277Q_T{}^{1.852} + 146643.37Q_{1-2}{}^{1.852} + 27844.82Q_{2-3}{}^{1.852} + \right.$$

$$51614.78Q_{3-4}{}^{1.852} + 120128.36Q_{4-5}{}^{1.852} + 120128.36Q_{5-6}{}^{1.852} +$$

$$120128.36Q_{6-7}{}^{1.852} + 120128.36Q_{7-8}{}^{1.852} + 120128.36Q_{8-9}{}^{1.852} +$$

$$\left.7037779.85Q_{9-10}{}^{1.852}\right) + \left(9113.03Q_T{}^2 + 6461.22Q_{9-10}{}^2\right)$$

$$\boldsymbol{Q_T = Q_{1-2}}$$

$$\boldsymbol{Hmi = 8.11m + \left(153920.37Q_T{}^{1.852} + 27844.82Q_{2-3}{}^{1.852} + \right.}$$

$$\boldsymbol{51614.78Q_{3-4}{}^{1.852} + 120128.36Q_{4-5}{}^{1.852} + 120128.36Q_{5-6}{}^{1.852} +}$$

$$\boldsymbol{120128.36Q_{6-7}{}^{1.852} + 120128.36Q_{7-8}{}^{1.852} + 120128.36Q_{8-9}{}^{1.852} +}$$

$$7037779.85Q_{9-10}{}^{1.852}) + (9113.03Q_T{}^{2} + 6461.22Q_{9-10}{}^{2}) \qquad [m,\ m^3/s]$$

(Ec. 25)

$$Hmi = 8.11m + (0.4278Q_T{}^{1.852} + 0.0774Q_{2-3}{}^{1.852}0.1434Q_{3-4}{}^{1.852} + 0.334Q_{4-5}{}^{1.852} + 0.334Q_{5-6}{}^{1.852} + 0.334Q_{6-7}{}^{1.852} + 0.334Q_{7-8}{}^{1.852} + 0.334Q_{8-9}{}^{1.852} + 0.0064Q_{9-10}{}^{1.852}) + (0.00911Q_T{}^{2} + 0.00646Q_{9-10}{}^{2}) \quad [m, l/s]$$

(Ec. 26)

La ecuación 25 y 26 permite obtener la curva característica de la instalación (cci), para ello se graficará en un sistema de coordenadas para lo cual primero se va a obtener diferentes puntos dando valores al caudal y obteniendo valores del Hmi, cuyos resultados se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18: *Diferentes valores de caudal para el cálculo del Hmi de la Ec 26.*

CURVA CARACTERISTICA DE LA INSTALACION		
Q(l/s)	Q(l/min)	Hmi (m)
0	0.00	8.10
0.5	30.00	8.27
1	60.00	8.70
1.5	90.00	9.37
2	120.00	10.27
2.5	150.00	11.38
3	180.00	12.69
3.5	210.00	14.21
4	240.00	15.93
4.5	270.00	17.85
5	300.00	19.95
5.5	330.00	22.24
6	360.00	24.72
6.5	390.00	27.38
7	420.00	30.22
7.5	450.00	33.24
8	480.00	36.43

Fuente: *Autor.*

De la Tabla 18 se obtiene la gráfica respectiva indicada en la Figura 22.

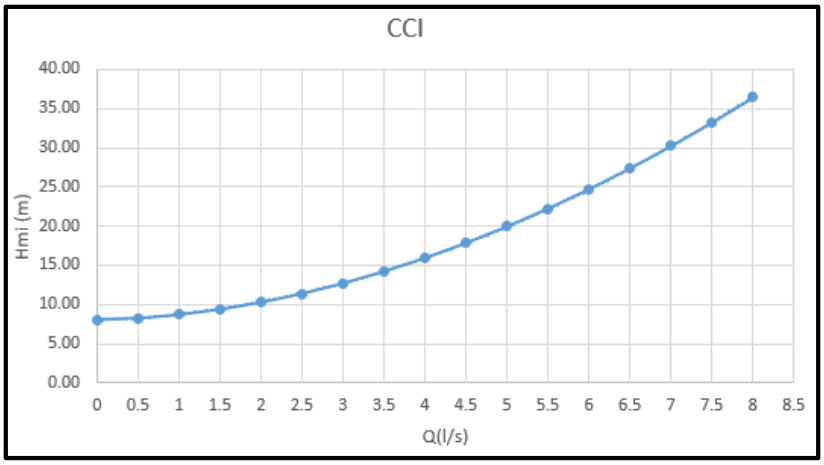


Figura 22: *Curva Característica de la Instalación (cci).*

Fuente: *Autor.*

De acuerdo al caudal calculado de $\frac{6.44x10^{-3}m^3}{s}$ y la altura de 27.06m se escoge la bomba en la marca Pedrollo. Se la elige esta marca porque esta presenta algunos datos característicos como: Curva de funcionamiento H(Q), curva de Rendimiento, curva de Potencia, curva de NPSHr.

Entonces la bomba que satisface esas dos condiciones es la siguiente:

Datos de la curva característica de la bomba (Anexo 8)

Modelo Trifásico F32/160A a 2900rpm

Frecuencia de 50Hz

$n = 61.5\%$

$NPSHr = 3m$

De acuerdo al Anexo N°8 para la bomba F32/160A se obtiene diferentes puntos de funcionamiento para lo que es caudal y altura a continuación la Tabla 19.

Tabla 19: *Puntos de coordenadas de caudal y altura de la bomba A de Gould Pum Anexo N° 8.*

CURVA CARACTERISTICA DE LA BOMBA		
Q(l/min)	Q(l/s)	Hmi (m)
0	0.000	38
100	1.667	37
150	2.5	36
200	3.333	35

250	4.167	33.5
300	5	31.5
350	5.833	30
400	6.667	27.5
450	7.5	24

Fuente: *Autor.*

A continuación, se realiza la gráfica de la Tabla 19 presentado en la Figura 23.

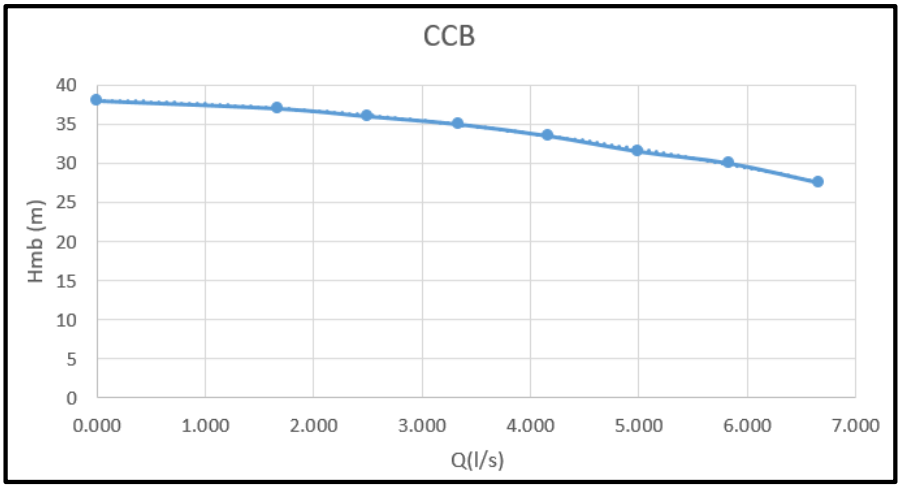


Figura 23: *Curva Característica de la Bomba.*

Fuente: *Autor.*

Graficando en un solo sistema de coordenadas ccb y cci se podrá deducir que el punto real de funcionamiento que va a existir en el proyecto, se encuentra en la figura 24.

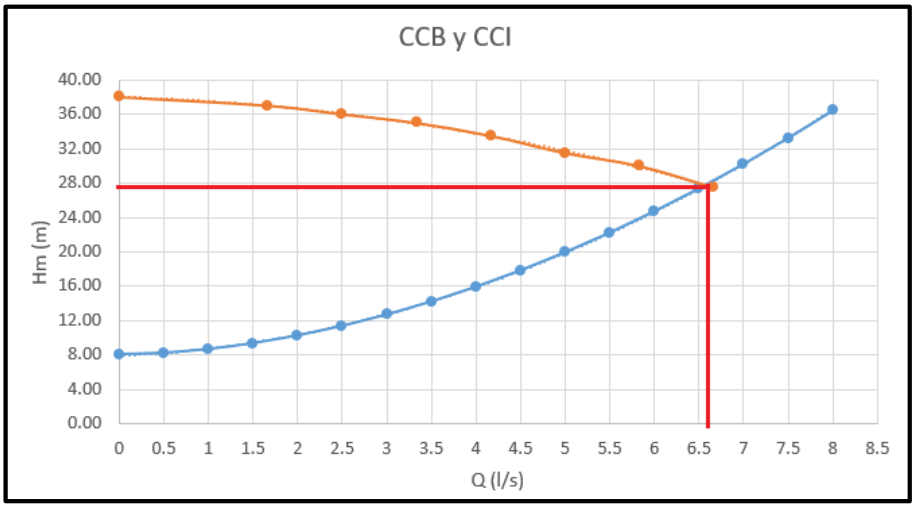


Figura 24: *Punto de Funcionamiento real de la bomba.*

Fuente: Autor.

$$Hmi = Hmb = PF$$

$$Hmi = Hmb = 27.5m$$

$$Q_{Ti} = Q_{Tb} = 400(l/min) = 6.667\ l/s$$

Por lo que estos resultados de la gráfica indican que esta bomba cumple con los datos antes calculados y puede abastecer con la presión y con el caudal necesario que se necesita en el proyecto de investigación. Así mismo a continuación comprobaremos si la bomba cavita o no.

Datos:

$n = 61.5\%$

$NPSHr = 3m$ Anexo N°8

$Pb - Pv = 8.353m$ Mediante interpolación Tabla N°4

$\Delta H = 1m$ Figura 21

Para el cálculo de $Pb - Pv$ Temperatura del agua a 20°C

H(m)	Mca
1500	8.4
1548	X
2000	7.9

$$\frac{1548m - 1500m}{2000m - 1500m} = \frac{x - 8.4m}{7.9m - 8.4m}$$

$$x = 8.352$$

Cálculo de las pérdidas totales en la succión

$$h_{fa} = H_{rps} + H_{rss}$$

$$h_{fa} = 0.64m + 0.378m$$

$$h_{fa} = 1.018m$$

Cálculo de la aspiración positiva neta disponible (NPSHa)

$$NPSHa = \frac{Patm-Pvap}{\gamma} \pm \Delta H - h_{fa} \qquad (21)$$

$$NPSHa = 8.352 + 1m - 1.018m$$

$$NPSHa = 8.352 + 1m - 1.018m$$

$$NPSHa = 8.334m$$

Por lo tanto:

$$NPSHa \geq NPSHr \qquad (22)$$

$$8.41m \geq 3m$$

Para que la bomba no cavita, la bibliografía indica que él $NPSHa$ tiene que ser mayor o igual al $NPSHr$ en este caso se observa que él $NPSHa$ es mayor al $NPSHr$ por tanto se concluye que la bomba no tiene problemas de cavitación.

Cálculo de la potencia de la bomba

$$Pot = H_{mb}\gamma Q/n \qquad (20)$$

$$Pot = \frac{27.5m\left(\frac{9810N}{m^3}\right)6.667l}{1000m^3 * 0.615}$$

$$Pot = 2.9244kw = 3.92hp$$

Evaluando los cálculos obtenidos en la tercera parcela que es el más crítica, mediante el programa Epanet® se obtiene las siguientes caudales y presiones que va a tener el recurso hídrico en todos los tramos de tubería como también de los aspersores.

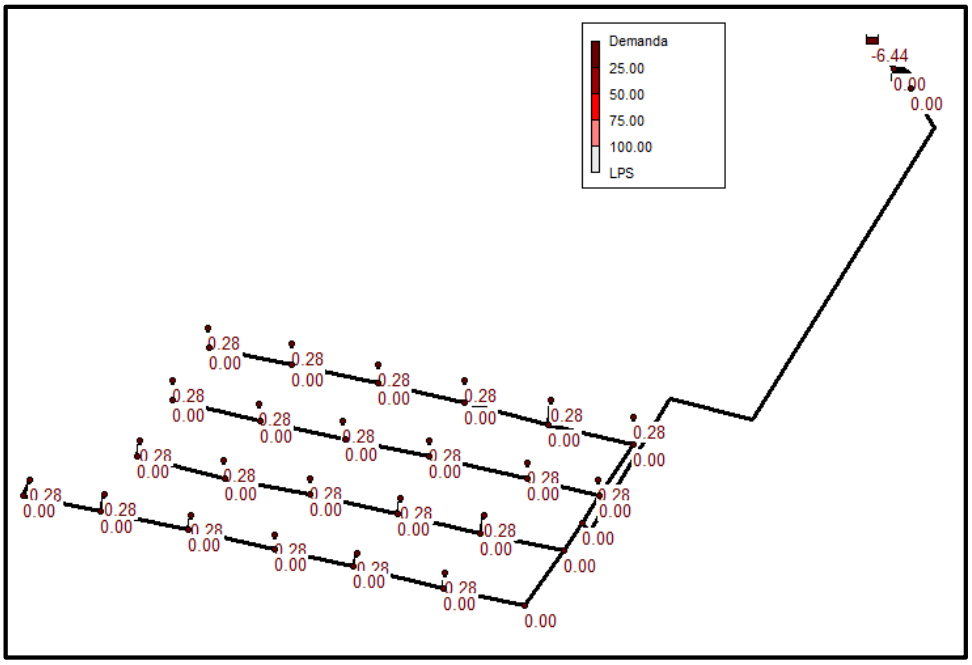


Figura 25: *Demanda de agua de cada aspersor.*

Fuente: *Autor.*

La figura 25 indica la capacidad que debe de tener el canal de agua que pasa por el terreno en estudio. Mediante el programa Epanet® el reservorio es de 6.44l/s y el de cada una de las demandas de los aspersores es de 0.28l/s.

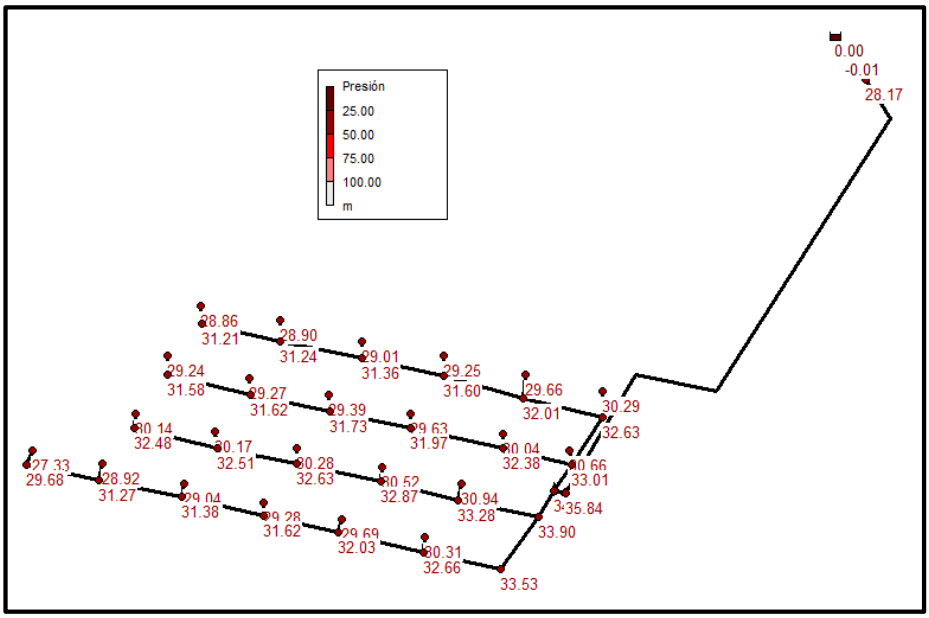


Figura 26: *Presiones de cada aspersor.*

Fuente: Autor.

En la figura 26 se evidencia el ingreso del agua mediante el punto 35, siendo el punto más alejado es el nodo 29, en este nodo se observa que la presión es de 27.33m por tanto tiene una presión positiva, por lo cual el agua tiene la capacidad de llegar a este punto. Si la presión fuera cero o en peor de los casos negativo esto significaría que el agua no tiene la suficiente presión para mover el aspersor.

La presión de salida del aspersor del catalogo de Senninger de Anexo N°9 es de 27 a 30 mca por lo que esta bomba cumple con lo requerido para el funcionamiento de los aspersores.

Con los resultados obtenidos en el diseño hidráulico y justificados en la simulación del programa Epanet® para la parcela 3, se comprueba el funcionamiento para las parcelas 1 y 2 mediante la simulación realizada en el software antes mencionado, el cual indica las presiones de salida que tienen los aspersores que se muestran en el Anexo N° 16 y 17, comprobando el funcionamiento correcto de la bomba seleccionada del Anexo N°8.

Selección de accesorios hidráulicos y eléctricos.

De acuerdo a los planos obtenidos en Epanet® en la figura 19 y los cálculos realizados en el epígrafe 6.2.2 se selecciona los diferentes accesorios hidráulicos que se necesitan las cuales se indican en la tabla 20.

Tabla 20: *Requerimiento del sistema de riego por aspersión.*

NOMBRE	*DIÁMETRO*	*CANTIDAD*
BOMBA DE 4HP		1
CONTACTOR		1
RELE		1
GUARDA MOTOR		1
PULSADORES		2
LUZ PILOTO		2
PROTECCIÓN DE LA CAJA		1
MANÓMETRO		2
TUBO PVC	75mm	1
VÁLVULA DE PIE		1
ADAPTADOR		1
TUBO PVC	63mm	20
VÁLVULA CHECK		1

UNIÓN		14
ADAPTADOR		1
TEE		2
VÁLVULA DE COMPUERTA		3
CODO 90°		4
TUBO PVC	50mm	14
CODO 90°		6
TEE		4
UNIÓN		6
TUBO PVC	20mm	95
COLLARIN		59
ASPERSORES		59
TAPA		11

Fuente: *Autor*.

6.2.3 Propuesta de la arquitectura de automatización en PLC logo para el terreno de estudio.

Para cumplir esta actividad se establece los materiales, equipos y software necesarios para la elaboración del esquema arquitectónico y para la programación. En el cual el software utilizado es el Logo Soft® y la programación se indica en la figura 27.

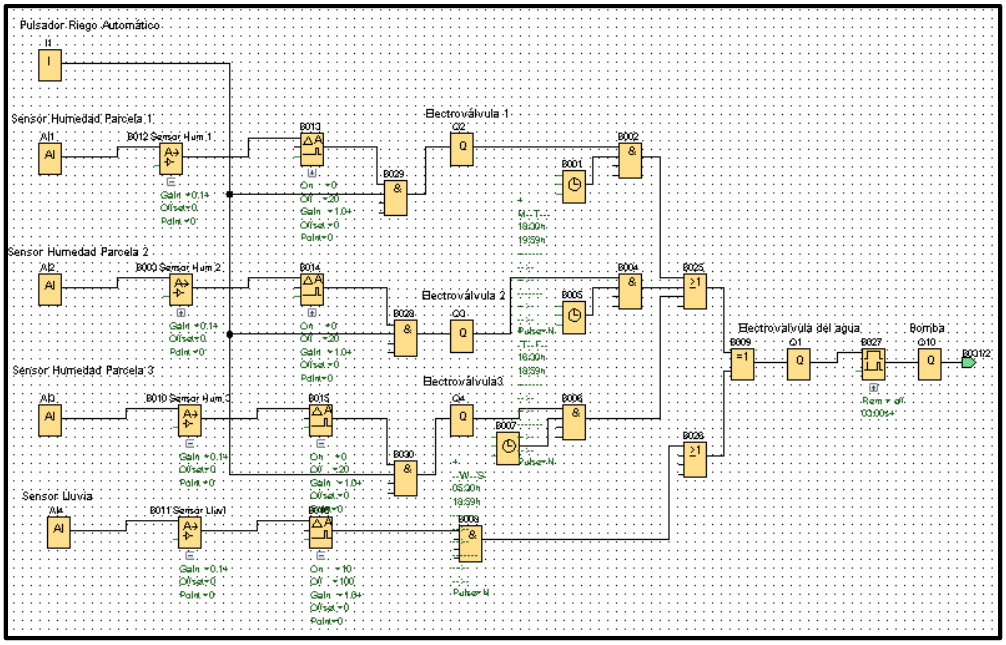


Figura 27: *Diseño del riego automatizado por Logo Soft*.

Fuente: *Autor*.

El funcionamiento de esta programación indica que al pulsar el riego automatizado por medio de la compuerta AND da la señal de funcionamiento, caso contrario al no pulsar este botón solo estará marcando los sensores los niveles de humedad que tienen en cada parcela.

Los sensores de humedad tienen un rango de 0% a 20% de humedad en las 3 parcelas.

Para lograr la configuración de las tres parcelas, cada una de ellas tienen su temporizador semanal en las cuales las parcelas están distribuidas de la siguiente manera:

- Parcela 1, se riega los días lunes y jueves
- Parcela 2, se riega los días martes y viernes
- Parcela 3, se riega los días miércoles y sábado

La hora de riego y por la conveniencia de los cultivos se lo realiza desde las 5am hasta las 8 de la mañana

Tiene también un sensor de lluvia, el cual si detecta humedad del 10% se activa automáticamente y por medio de la compuerta XOR anula la señal y deja que el terreno aproveche la lluvia.

También tiene un retardo a la conexión en la cual es de 1min para el encendido de la bomba en este caso.

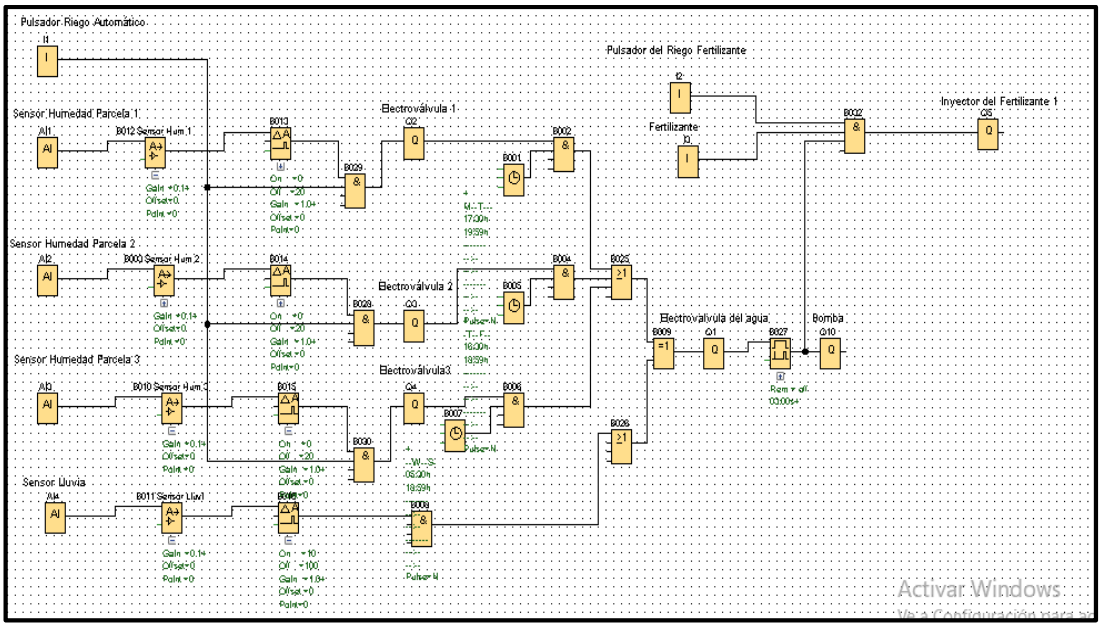


Figura 28: *Programación del riego automatizado con fertilizantes.*

Fuente: *Autor.*

La figura 28 muestra el circuito de la programación para los fertilizantes, al pulsar el riego por fertilizantes y el pulsador por ejemplo del fósforo deben de activarse para que

la compuerta AND mande la señal caso contrario permanece cerrada. Después que los pulsadores han sido seleccionados y para que el inyector realice su trabajo es necesario que la bomba esté en funcionamiento por ende hay otra compuerta AND para que realice la activación del inyector y realice su trabajo en el circuito hidráulico.

Los sensores de suelo humedad a utilizar son de la marca SHT10, en la cual se hizo la prueba en un arduino para conocer hasta que distancia de funcionamiento tiene este sensor, por ello se realizó la siguiente tabla:

Tabla 21: *Distancia de funcionamiento del sensor SHT10*

Sensor SHT10			
Distancia (m)	Voltaje (V)	Intensidad (mA)	Funciona
0.5	5	2.46	Si
25	5	2.47	Si
50	5	2.47	Si
75	5	2.48	Si
80	5	2.46	No

Fuente: Autor

El resultado de la tabla 21 nos indica que hasta 75m el sensor funciona correctamente dándonos las lecturas de humedad, pero si sobrepasamos la distancia el sensor no funciona.

El mantenimiento a realizar para este sistema de aspersión automatizado sería lo siguiente:

Tabla 22: *Mantenimiento de sistema de aspersión automatizado.*

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ASPERSION AUTOMATIZADO	
Inspección de los manómetros de entrada y salida de la bomba.	diaria
Inspección de la tubería principal y secundaria.	semanal
Limpieza del canal.	semanal
Limpieza del filtro de agua.	semanal
Revisión del tablero de control.	mensual
Revisión de electroválvulas.	trimestral
Cambio de boquillas de aspersor.	2 años
Revisión de resortes de aspersor.	semanal
Limpieza y revisión del sistema electrónico e eléctrico.	6 meses
Revison de sensores y electroválvulas.	6 meses

Fuente: *Autor*

6.3 Viabilidad económica y energética para la aplicación de la propuesta

Para el análisis de viabilidad energético se calculó el costo de electricidad de acuerdo a la Empresa Eléctrica del Sur S.A.(EERSSA), el costo por KWh es de 0.0933 centavos de dólar que se establece en la planilla eléctrica.

Para el t de consumo que va a estar encendido el riego, se toma el dato calculado del diseño agronómico de la Ec 8 por lo tanto el tiempo de riego es de:

$Tr = 3.38hr = 3hr\ y\ 23min$

$$valor\ de\ planilla = Pot * Tr * costo \qquad \text{Ec. 27}$$

$$valor\ de\ planilla = (5hp * \frac{0.746KW}{hp}) * \frac{3.38h}{dia} * \frac{0.0933USD}{KWh}$$

$$valor\ de\ planilla = \frac{1.18USD}{dia} * \frac{30dias}{mes}$$

$$valor\ de\ planilla = \frac{35.3USD}{mes}$$

Para el análisis de viabilidad económico para implementar la propuesta se investigó en Austro riego el valor de todos los elementos que se utiliza para el riego sin tecnificar, las implementaciones del proyecto nos dieron los precios detallados en la siguiente Tabla 23.

Tabla 23: *Materiales para el riego por aspersión.*

COSTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN SIN AUTOMATIZAR				
NOMBRE	DIÁMETRO	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
BOMBA DE 5HP		1	1125	1125
CONTACTOR		1	55	55
RELE		1	55	55
GUARDA MOTOR		1	50	50
PULSADORES		2	6	12
LUZ PILOTO		2	2	4
TUBO PVC	75mm	1	13.31	13.31
VÁLVULA DE PIE		1	32.53	32.53
ADAPTADOR		1	2.45	2.45
TUBO PVC	63mm	20	11.55	231
VÁLVULA CHECK		1	17	17
UNIÓN		14	1.45	20.3
ADAPTADOR		1	1.37	1.37

TEE		2	2.91	5.82
VÁLVULA DE COMPUERTA		3	20.48	61.44
CODO 90°		4	2.52	10.08
CODO 45°		1	1.97	1.97
TUBO PVC	50mm	14	6.33	88.62
CODO 90°		6	1.36	8.16
TEE		4	1.72	6.88
UNIÓN		6	0.79	4.74
TUBO PVC	20mm	95	3.46	328.7
COLLARIN		59	1.5	88.5
ASPERSORES		59	5.8	342.2
TAPA		11	0.32	3.52
CABLE CONCÉNTRICO 4X14		1	150	150
OBRAS CIVILES				800
INSTALACIÓN				600
				4119.59

Fuente: *Autor.*

Y el costo de automatización esta detallado a continuación en la Tabla 24.

Tabla 24: *Costo de materiales para la automatización.*

COSTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN AUTOMATIZADO				
NOMBRE	DIÁMETRO	CANTIDAD	V. UNITARIO	V.TOTAL
PROGRAMACIÓN		1	500	500
PLC LOGO 8 SIEMENS		1	205	205
MÓDULOS EXPANSIÓN PLC 8		3	97	291
PROTECCIÓN DE LA CAJA		1	100	100
VÁLVULAS SELENOIDES	2''	5	298.35	1491.75
SENSORES		3	90	270
INSTALACIÓN DEL MODULO DE CONTROL				150
				3057.75

Fuente: *Autor.*

Sumados estos dos valores totales de las tablas, el costo de instalación del riego tecnificado en la zona de estudio es de 7177,35 dólares americanos.

Para el precio y producción por hectárea del maíz se utilizaron los precios publicados en los periódicos EL UNIVERSO y EL TELEGRAFO del Anexo 12 y 13 respectivamente. Este dato nos ayudó a calcular los ingresos y egresos de la Tabla 24.

En el valor de planilla o consumo de luz se utilizó el resultado de la ecuación 27, este resultado solo hace referencia para un mes, por ende, se multiplica por 6 meses dándonos 211.8 dólares en la cual está representada en la siguiente tabla antes mencionada.

Tabla 25: *Ingresos y Egresos de la producción de maíz por hectárea mediante un riego tecnificado.*

PERIODO (MESES)	PRODUCCIÓN POR HECTAREA DE MAÍZ QQ/HA	PRECIO DEL QUINTAL DE MAÍZ EN DOLARES ($)	INGRESOS	EGRESOS	
				INVERSIÓN $	COSTO(CONSUMO DE LUZ $)
0			0	7177.35	0
6	100	14.6	1460		211.8
12	100	14.6	1460		211.8
18	100	14.6	1460		211.8
24	100	14.6	1460		211.8
30	100	14.6	1460		211.8
36	100	14.6	1460		211.8
42	100	14.6	1460		211.8
48	100	14.6	1460		211.8

Fuente: *Autor.*

El tiempo de recuperación de la inversión para la aplicación de este sistema de riego automatizado se lo cálculo de acuerdo a los siguientes métodos: valor presente neto (vpn), tasa interna de retorno (tir), periodo de recuperación (payback), relación beneficio costo (b/c) esta detallado en la Tabla 26.

La tasa de interés del Banco Central del Ecuador para los agricultores es de 8,53% anual.

Tabla 26: *Cálculos económicos para la viabilidad de un riego automatizado.*

Periodo (Anual)	Ingresos	Tasa de oportunidad	8.53%	EA
		Egresos	Neta	Acumulación de tasa de oportunidad(PB)
0	0	$ 7,177.35	$ -7,127.35	$7,177.35
1	$ 2,920.00	$ 423.60	$ 2,496.40	$4,680.95
2	$ 2,920.00	$ 423.60	$ 2,496.40	$2,184.55
3	$ 2,920.00	$ 423.60	$ 2,496.40	$311.85
4	$ 2,920.00	$ 423.60	$ 2,496.40	$2,808.25
5	$ 2,920.00	$ 423.60	$ 2,496.40	$5,304.65
		∑ I	$ 11,497.65	
		∑ C	$ 1,667.95	
		∑ C + Inv	$ 8,745.30	
		VNP	$ 2,652.36	

TIR	22%
PB	2.88
B/C	1.30

Fuente: *Autor*.

Mediante los cálculos realizados en la tabla de Excel y evaluado en un periodo de 5 años, este proyecto es viable, porque se recupera la inversión que se invertiría en este sistema de riego automatizado, ya que el valor actual neto es de 1667.95 dólares y la tasa interna de retorno tiene un beneficio del 22%, en cuanto al periodo de recuperación o payback es de 2 años y 10 meses es decir las ganancias que tendría el agricultor serian a partir de la sexta siembra, mientras que la relación beneficio costo existe un beneficios de 1.30 es decir que los ingresos son superiores a los egresos teniendo un retorno de capital invertido y una ganancia de 30% para los 5 años estimado para este proyecto.

6.4 Construcción de un prototipo de riego automatizado a escala.

En el siguiente flujograma de la figura 29, indica como es el funcionamiento del prototipo de riego automatizado y de donde parte la guía de programación de este prototipo.

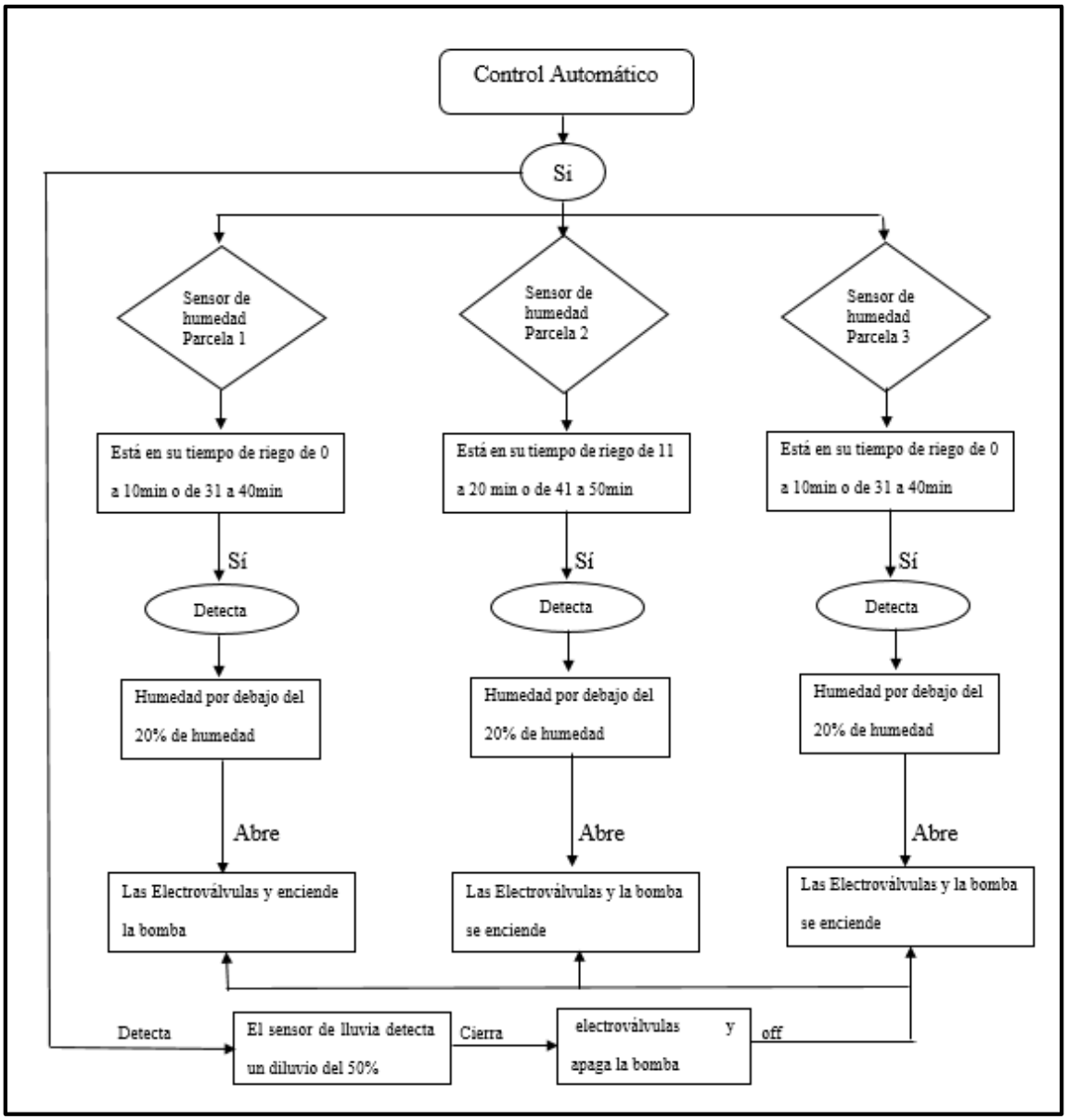


Figura 29: *Flujograma para la programación del prototipo del sistema de riego automatizado.*

Fuente: *Autor.*

6.4.1 Propuesta arquitectónico del prototipo a escala.

Para la realización del diseño arquitectónico del circuito electrónico por medio del software Proteus se describe a continuación:

- ✓ **Fuente de alimentación. –** en el siguiente esquema de conexión para la fuente de alimentación de 12v a 5A se utiliza un integrado regulador LM 7805, este elemento nos ayuda a garantizar que no sobrepase los 5v, debido a que toda tensión excedente será absorbida por el integrado y será expulsada en forma de calor, mediante esa regulación nos garantiza que el Arduino le llegue los 5v y funcione correctamente. Otro integrado regulador es el LM7809, tiene el mismo funcionamiento que el integrado LM7805 con la diferencia que su voltaje de salida es de 9v. Cada uno de estos dos integrados tiene su respectivo condensador que nos ayuda a tener una señal sin ruido.

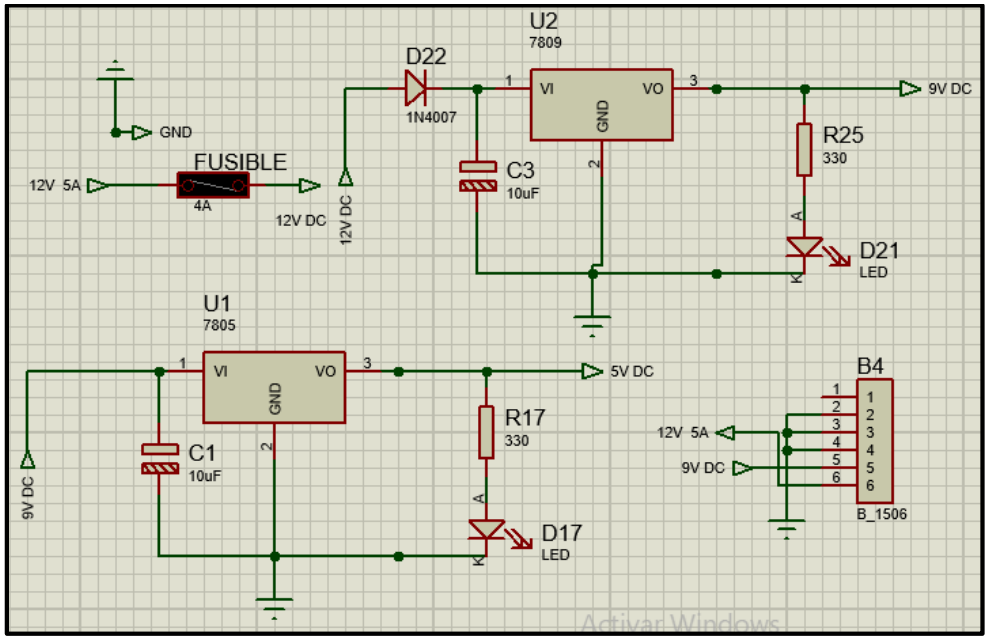


Figura 30: *Esquema de conexión de la fuente de alimentación.*

Fuente: *Autor.*

- ✓ **Sensores de humedad del suelo y de lluvia. –** en el siguiente diagrama se puede observar las conexiones de los sensores tanto de humedad del suelo como el de lluvia en el hardware Arduito Mega, en la cual se los conecta en los pines análogos de entrada como están en la figura.

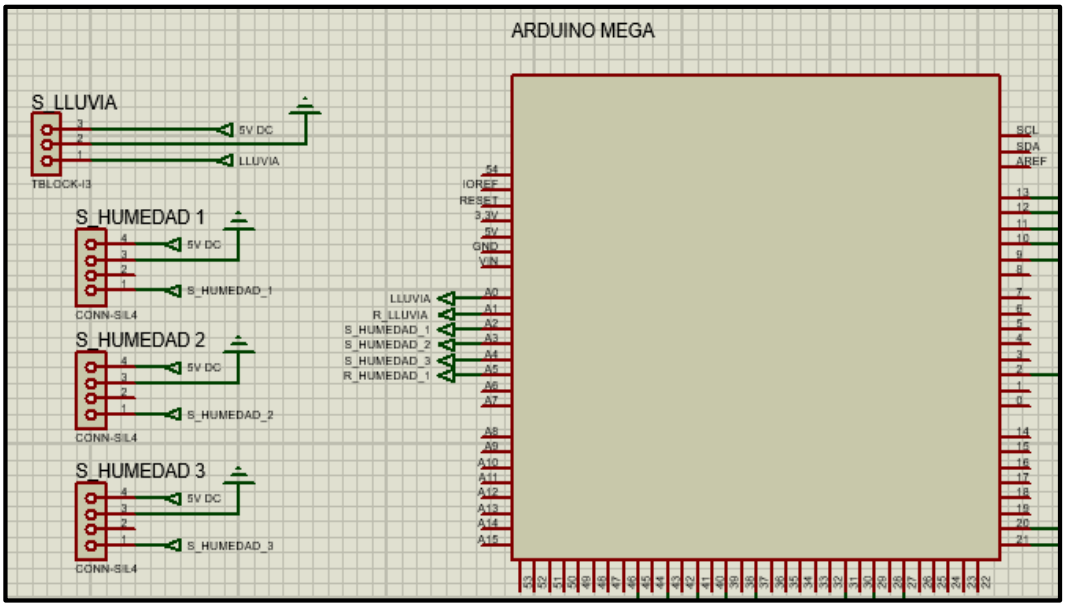


Figura 31: *Conexión de los sensores de humedad del suelo y el de lluvia.*

Fuente: *Autor.*

- ✓ **Caudalímetro. -** La conexión de este sensor es diferente a los sensores anteriores, ya que el caudalímetro se lo conecta en el pin digital del Arduino Uno, para luego por medio de la programación hacer comunicación serial Arduino uno y Arduino mega.

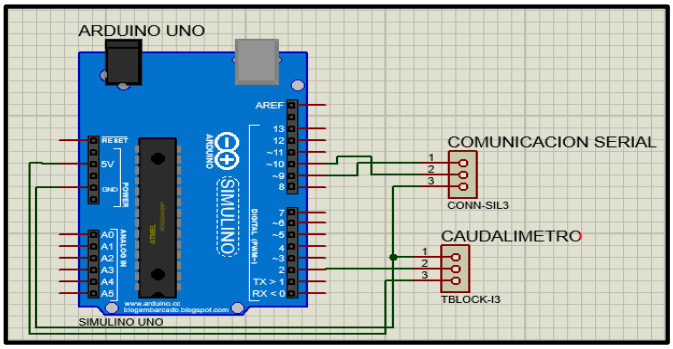


Figura 32: *Conexión del Caudalimetro al Arduino uno.*

Fuente: *Autor.*

- ✓ **Módulos de relés de 8. –** Para este módulo de relé se conecta directo a los pines digitales del Arduino mega.

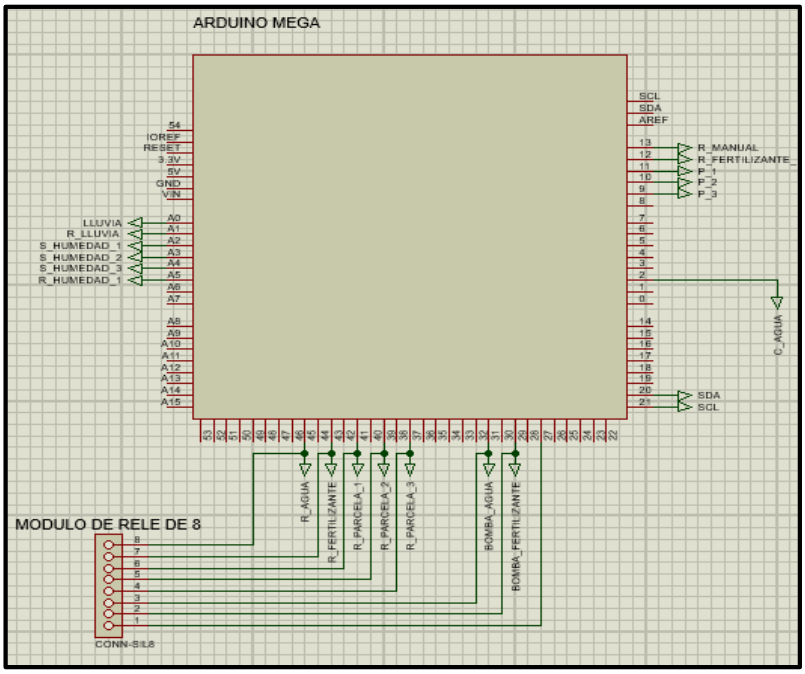


Figura 33: *Conexión de módulo de relé de 8.*

Fuente: *Autor.*

- ✓ **Pulsadores para el riego manual. –** esta parte del circuito permite controlar manualmente el sistema de riego cuando a una parcela le falte agua y así ayudar a que el cultivo no sufra escasez del recurso hídrico.

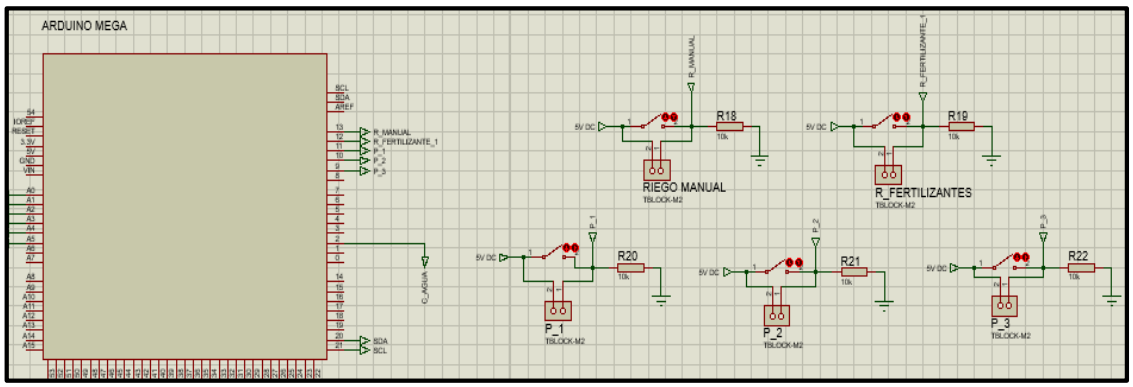


Figura 34: *Diseño para el riego manual.*

Fuente: *Autor.*

- ✓ **Elemento de visualización. –** para poder visualizar y tener mejor control del sistema de riego y saber la humedad del suelo en cada una de las parcelas y así poder monitorear más fácilmente se coloca este dispositivo LCD de 24X4. En el siguiente diagrama se indica la conexión de la LCD y el módulo I2C

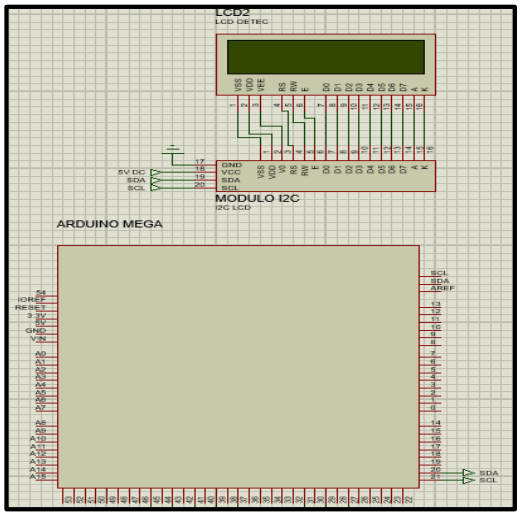


Figura 35: *Conexión de la LCD y el módulo I2C.*

Fuente: *Autor.*

Para el diseño arquitectónico de la pista o placa electrónica de control se utilizó la herramienta ARES del programa Proteus tanto para la placa del Arduino mega como para el Arduino uno en la cual quedo de la siguiente manera:

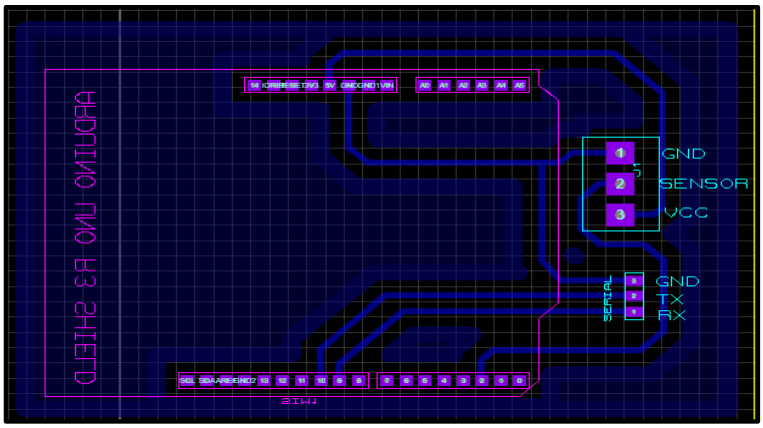


Figura 36: *Placa electrónica para el Arduino uno para la comunicación serial.*

Fuente: *Autor.*

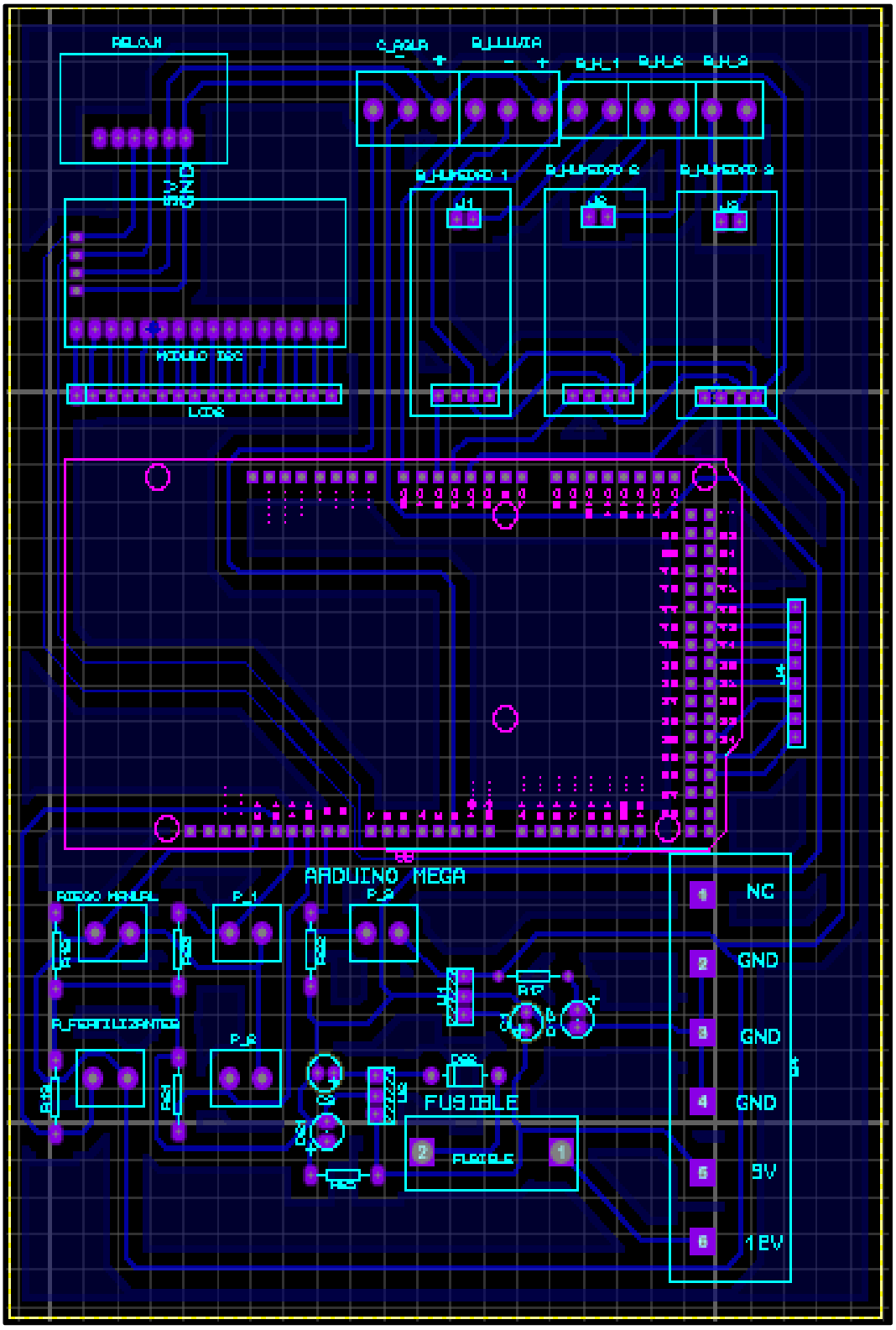


Figura 37: *Placa Electrónica para el control del Arduino mega.*

Fuente: *Autor.*

6.4.2 Programación del Arduino mega y Arduino uno para el sistema de riego automatizado.

Para realizar la respectiva programación del Arduino uno y el mega se utilizó el software Arduino®, en las cuales las librerías utilizados para este programa fueron las siguientes:

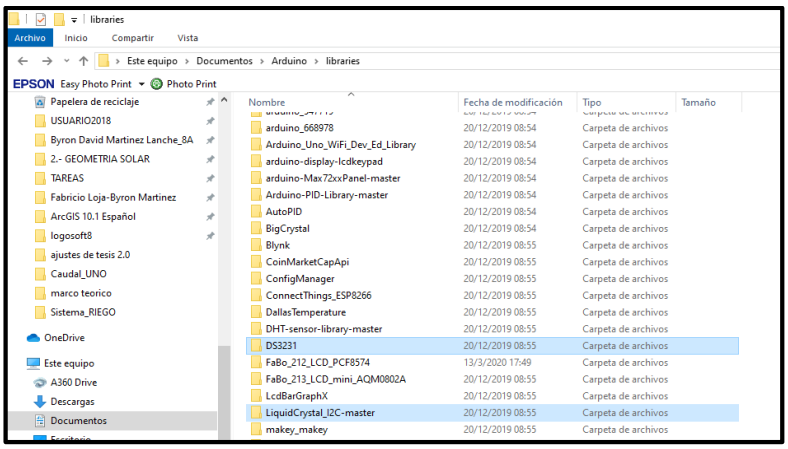


Figura 38: *Librerías del programa Arduino®.*

Fuente: *Autor.*

Estas librerías seleccionadas son las ocupadas para el programa que se realizó, ya que el DS3231es la librería para el modulo del reloj y el LiquidCrystal_I2C es para el módulo I2C que se ocupó para la pantalla LCD.

Para la realización de este sistema de riego automatizado se inició por la programación del caudalimetro en el Arduino uno para que por medio de comunicación serial se comunique este al Arduino mega de la siguiente manera:

1) Se coloca todas las librerías y variables declaradas a utilizar en el programa como se muestra en la siguiente Figura 39:

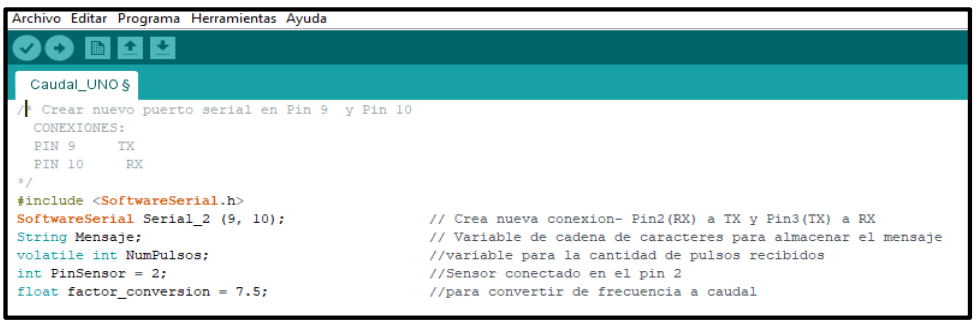


Figura 39:*Variables a utilizar, factor de conversión del caudalimetro en el Arduino.*

Fuente: *Autor.*

2) Declarar función que se ejecuta en interrupción y función para obtener frecuencia de los pulsos.

```
//-------------------------Función que se ejecuta en interrupción-----------------------------------------
void ContarPulsos () {
  NumPulsos++;                                  //incrementamos la variable de pulsos
}

//-----------------------------Función para obtener frecuencia de los pulsos-----------------------------------
int ObtenerFrecuencia() {
  int frecuencia;
  NumPulsos = 0;                                 //Ponemos a 0 el número de pulsos
  interrupts();                                  //Habilitamos las interrupciones
  delay(1000);                                   //Muestra de 1 segundo
  noInterrupts();                                //Desabilitamos las interrupciones
  frecuencia = NumPulsos;                        //Frercuencia Hz(pulsos por segundo)
  return frecuencia;
}
```

Figura 40:*Funciones que se ejecuta en interrupción y frecuencia de pulsos para el caudalimetro*.

Fuente: *Autor*.

3) Código para el funcionamiento del caudalimetro y para la comunicación serial entre el Arduino uno y el mega.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial_2.begin(9600);                          // Iniciamos el puerto nuevo Serial_2 a 9600 Baudios
  pinMode(PinSensor, INPUT);
  attachInterrupt(0, ContarPulsos, RISING);      //(Interrupcion 0(Pin2),funcion,Flanco de subida)
}

void loop () {
  float frecuencia = ObtenerFrecuencia();        //obtenemos la Frecuencia de los pulsos en Hz
  float caudal_L_m = frecuencia / factor_conversion; //calculamos el caudal en L/m
  float caudal_L_h = caudal_L_m * 60;            //calculamos el caudal en L/h
  if (Serial_2.available()) {
    int inByte = Serial_2.read();
    Serial.println(inByte);
    if (inByte == 65) {
      //-----------------------------------Enviamos por el puerto serie----------------------------------------
      Serial_2.println (caudal_L_m, 3);
    }
  }
}
```

Figura 41: *Código del caudalimetro y comunicación serial*.

Fuente: *Autor*.

El desarrollo de toda la programación se lo hizo en Arduino mega, que controla los sensores de humedad, lluvia, los relés para el funcionamiento de las electroválvulas y bomba, la pantalla LCD, reloj, entre otros. Toda esta programación para generar el código del sistema de riego se realizó de la siguiente:

1) Se coloca todas las librerías y variables declaradas en la sección a utilizar como son sensores de suelo, de clima, caudalimentro, LCD, reloj, electroválvulas y bombas que son controladas por el módulo de relé, como se muestra en la siguientes Figuras 42, 43 y 44.

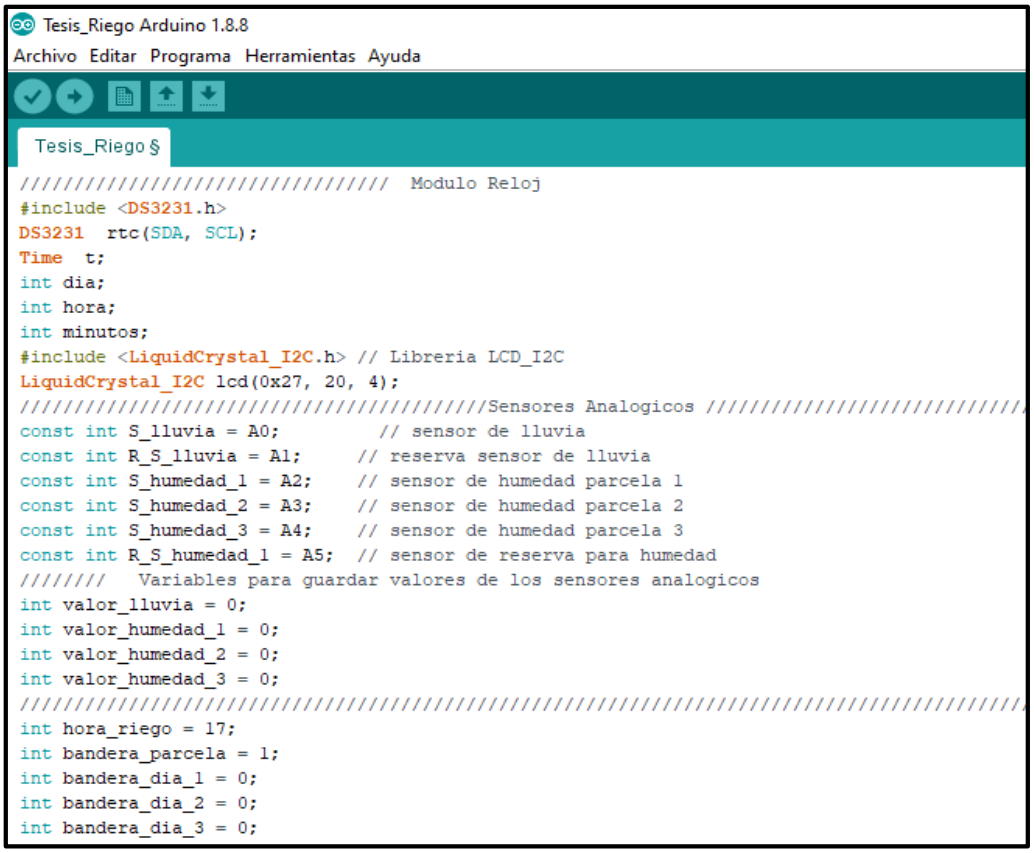


Figura 42: *Librería de la LCD y las variables de los sensores analógicos.*

Fuente: *Autor.*

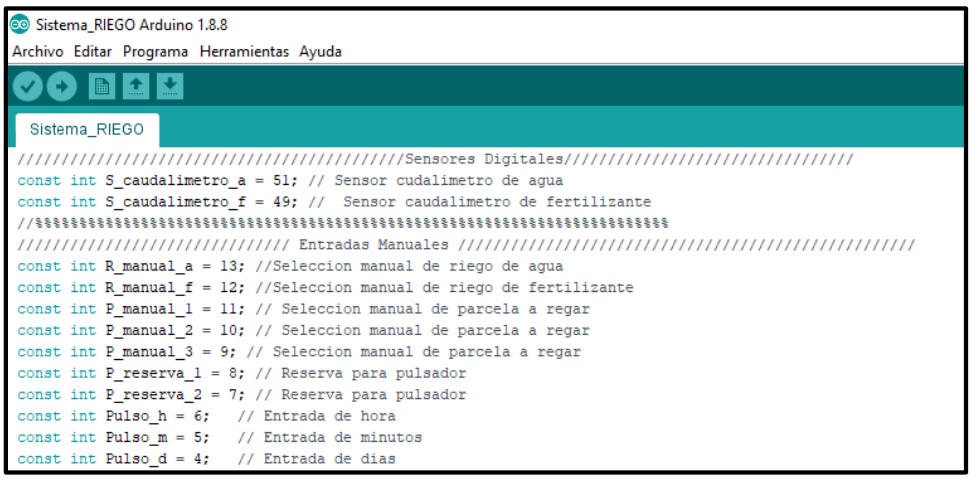


Figura 43: *Variables del sensor digital y entradas para el riego manual.*

Fuente: *Autor.*

Figura 44: *Variable del estado de los pulsadores, variables de bandera, salidas digitales con su respectivo pin y variable para la comunicación serial.*

Fuente: *Autor.*

2) En esta parte de la programación **void setup** es usada para establecer las configuraciones del Arduino, en otras palabras, es cuando deseamos que los puertos sean de entrada o salida.

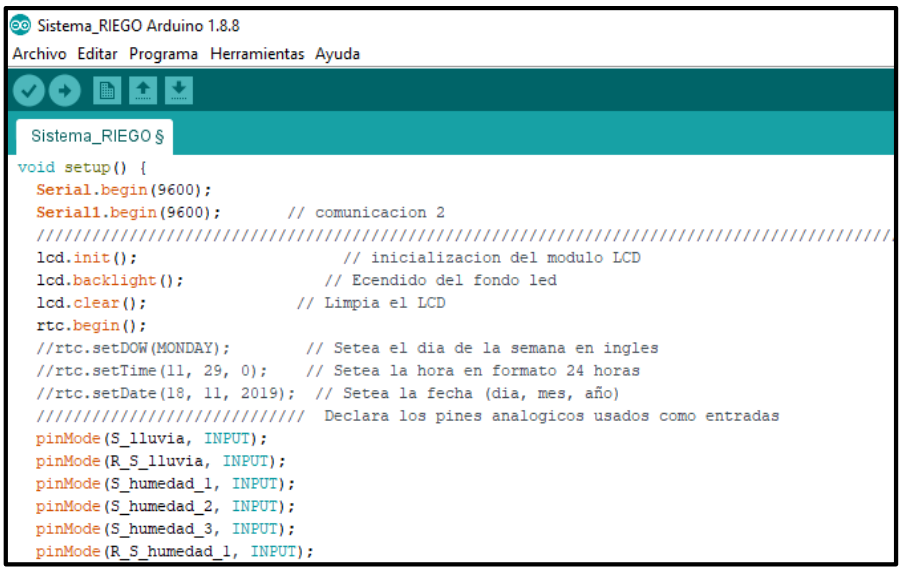


Figura 45: *Declarar los pines de entrada analógicos.*

Fuente: *Autor.*

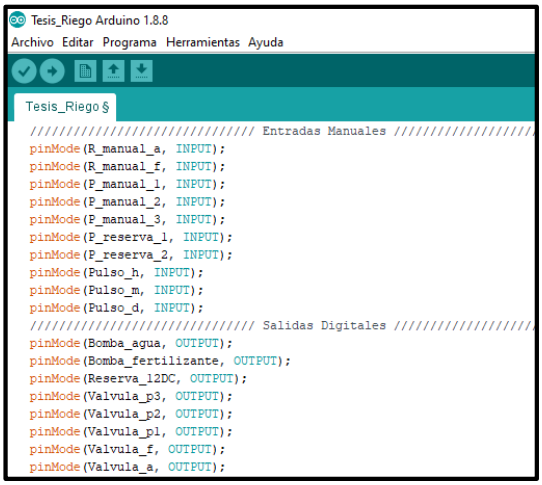


Figura 46: *Entradas manuales para el riego controlado con pulsadores y salidas digitales para el riego automático.*

Fuente: *Autor.*

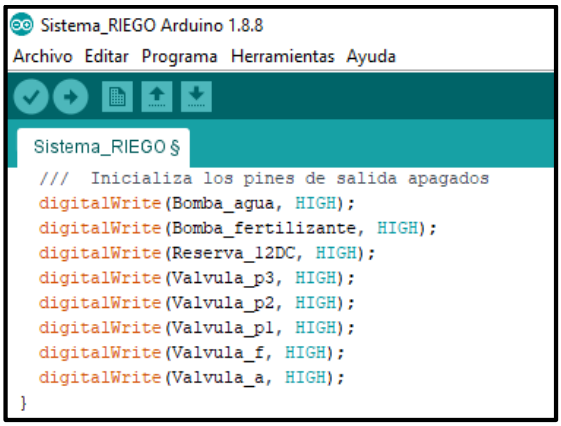


Figura 47: *Configuración de los pines de salida.*

Fuente: *Autor.*

Figura 48: *Configuración de los mensajes de la LCD para la visualización.*

Fuente: *Autor.*

Figura 49: *Configuración del caudalimetro y lectura de la LCD.*

Fuente: *Autor.*

Figura 50: *Lectura y verificación del riego manual.*

Fuente: *Autor.*

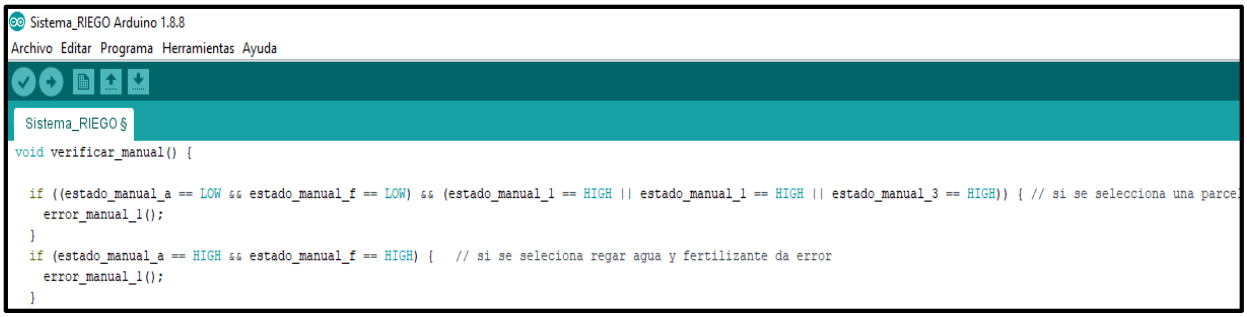


Figura 51: *Código para que el riego manual de un error si se selecciona una parcela sin seleccionar la bomba o cuando se seleccione las dos bombas.*

Fuente: *Autor.*

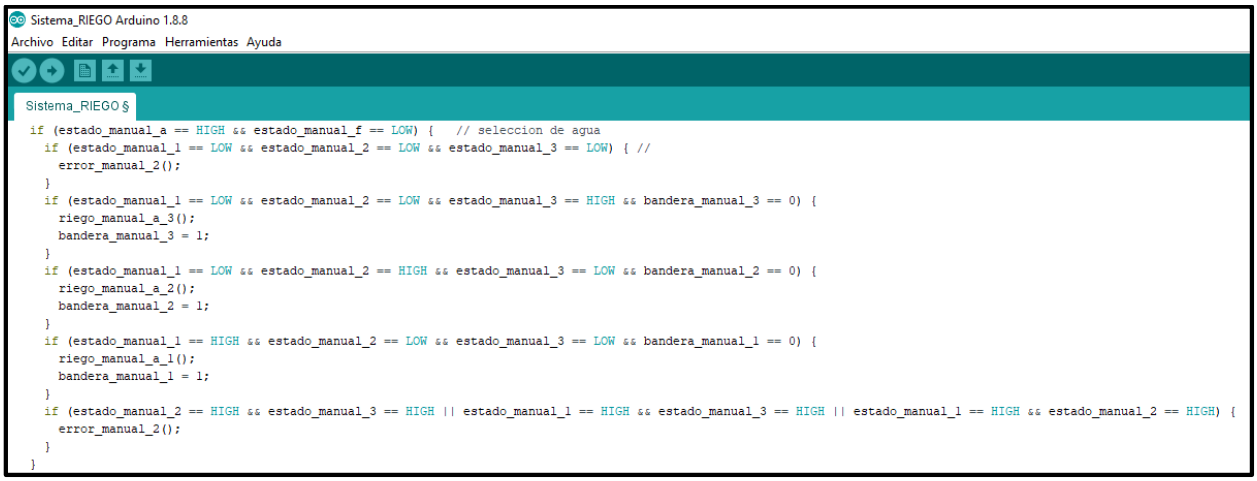


Figura 52: *Configuración del riego manual con agua.*

Fuente: *Autor.*

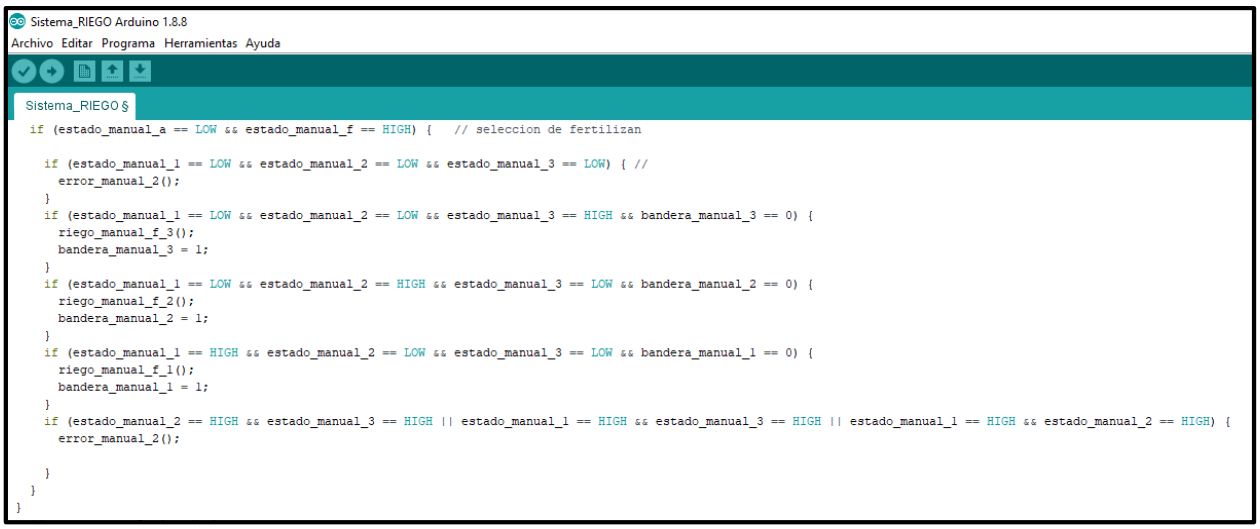


Figura 53: *Configuración del riego manual con fertilizantes.*

Fuente: Autor.

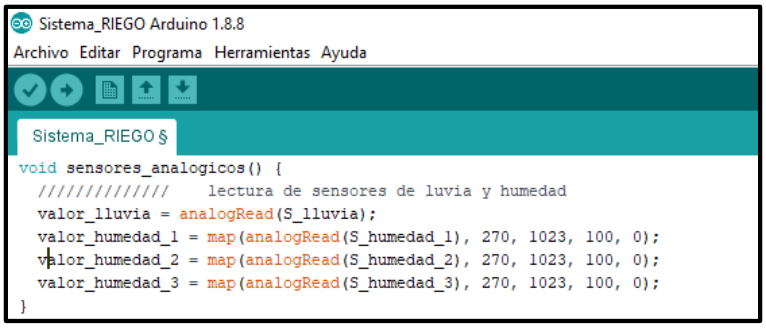


Figura 54: *Lectura de los sensores de humedad de suelo y lluvia, código del riego manual en apagado.*

Fuente: *Autor.*

Figura 55: *Riego manual en apagado y visualización en la LCD.*

Fuente: *Autor.*

Figura 56: *Visualización de la LCD cuando da un error en el riego manual por seleccionar agua y fertilizante al mismo tiempo, ocasionando el apagado de todas sus salidas tanto de las bombas como de las válvulas.*

Fuente: *Autor.*

Figura 57: *Visualización de la LCD cuando da un error en el riego manual por seleccionar dos o más parcelas al mismo tiempo, ocasionando el apagado de todas sus salidas tanto de las bombas como de las válvulas.*

Fuente: *Autor.*

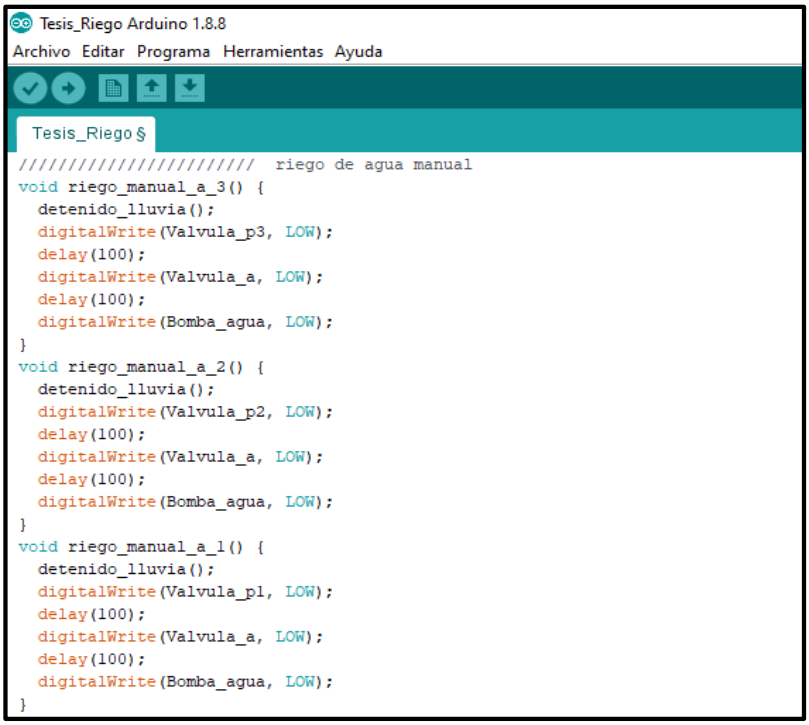


Figura 58: *Código para la selección de riego de agua manual.*

Fuente: *Autor.*

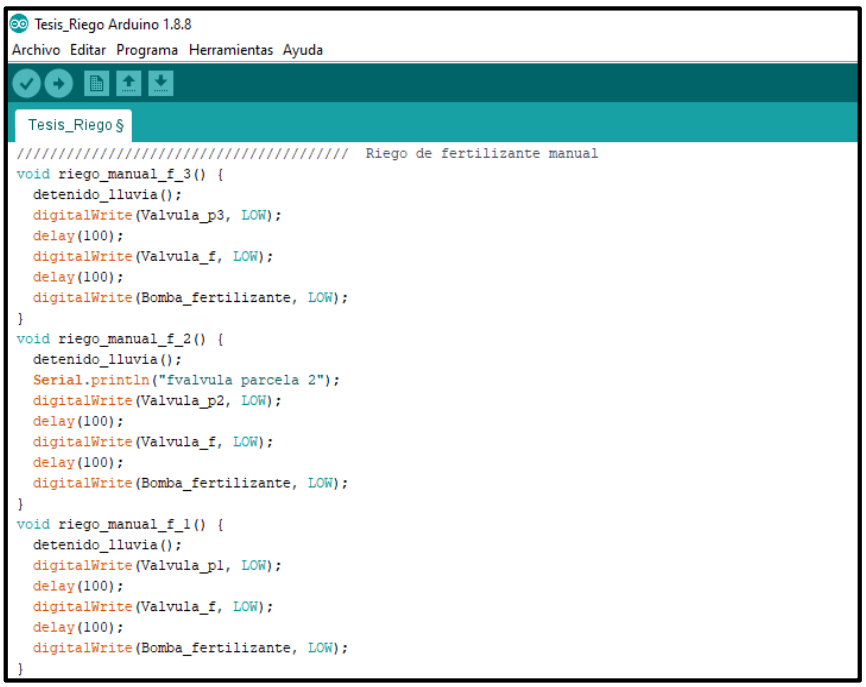


Figura 59: *Código para la selección de riego de fertilizante manual.*

Fuente: *Autor.*

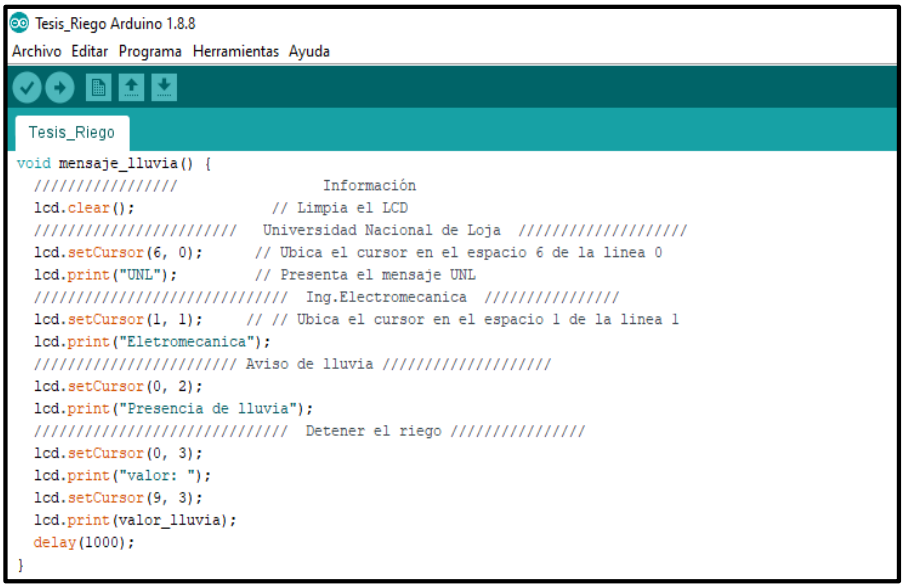


Figura 60: *Mensaje de visualización de la LCD para la lluvia.*

Fuente: *Autor.*

Figura 61: *Mensaje de visualización de la LCD para los sensores de humedad.*

Fuente: *Autor.*

Figura 62: *Programación de la activación de las válvulas y bombas para el riego automático por medio de los sensores de humedad para las parcelas 1 y 2.*

Fuente: *Autor.*

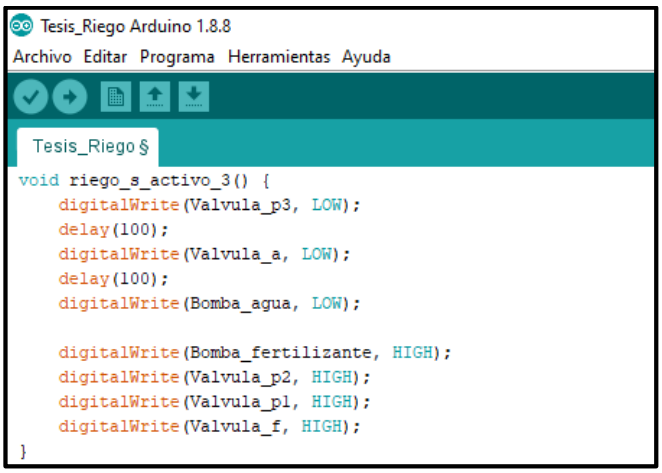


Figura 63: *Programación de la activación de la válvula y bomba para el riego automático por medio del sensor de humedad para la parcela 3.*

Fuente: *Autor.*

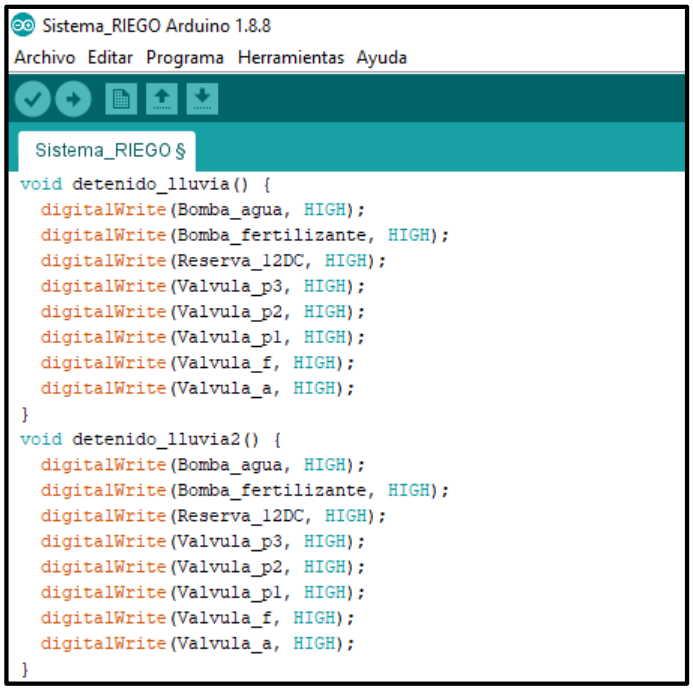


Figura 64: *Desactivación del riego cuando presenta lluvia.*

Fuente: *Autor.*

3) En esta parte de la programación **void loop** es usada para la ejecución de forma cíclica del programa.

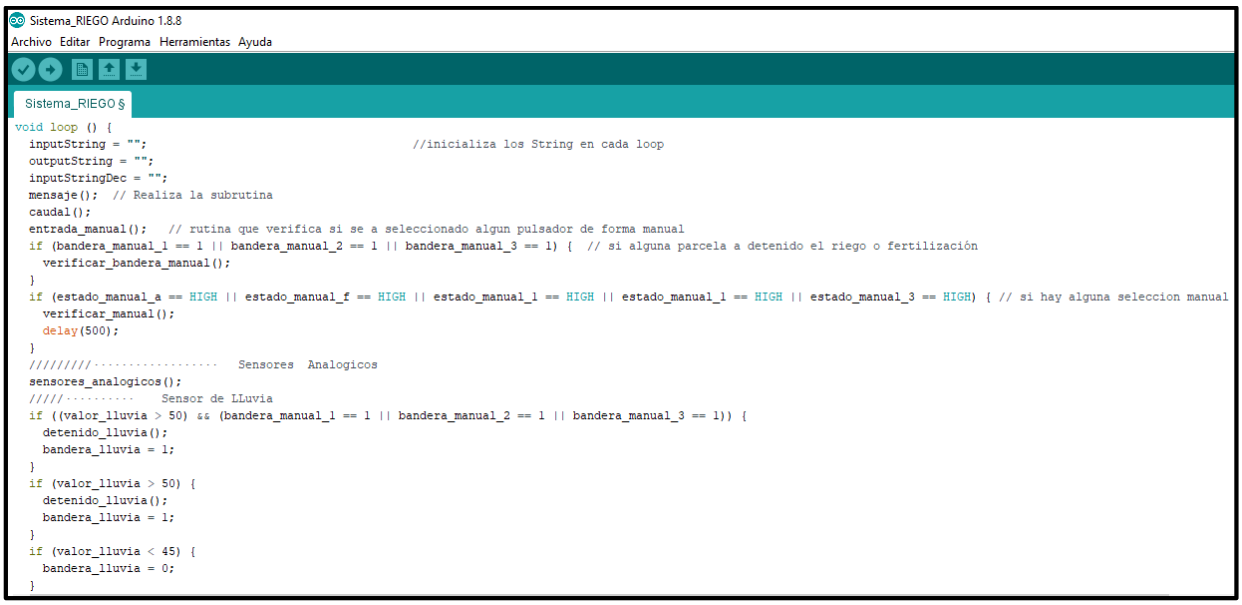


Figura 65: *Verificación de la subrutina del riego manual.*

Fuente: *Autor.*

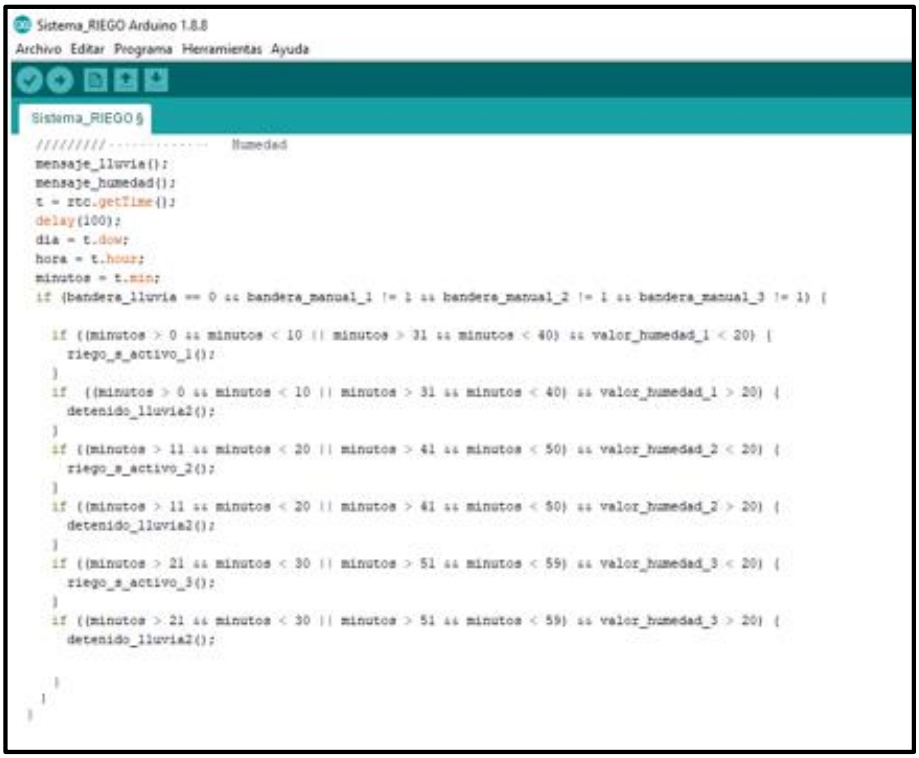


Figura 66: *Código del tiempo de riego de cada parcela.*

Fuente: *Autor.*

6.4.3 Construcción del prototipo

Para la construcción de este prototipo se cumplieron las siguientes actividades:

- ✓ Comprar todos los materiales para realizar la respectiva mesa como fue la plancha de hierro negro de 2mm de espesor, tubos cuadrados y niveladores.
- ✓ Construcción de la mesa.

La construcción de la mesa se la realizó en el taller llamado MIM del Ing. Francisco Morocho, que me colaboró con la herramienta necesaria para realizar la construcción de la mesa, como se observa en las figuras 67, 68, 69, 70 y 71.

Figura 67: *Cortadora de disco.*

Fuente: *Autor.*

Figura 68: *Limpieza de la alimaña.*

Fuente: *Autor.*

Figura 69: *Corte con plasma.*

Fuente: *Autor.*

Figura 70: Soldadura con MIG.

Fuente: Autor.

Figura 71: *Acabado de la mesa del prototipo.*

Fuente: *Autor.*

- ✓ Impresión de la placa electrónica como se muestra en la Figura 72.

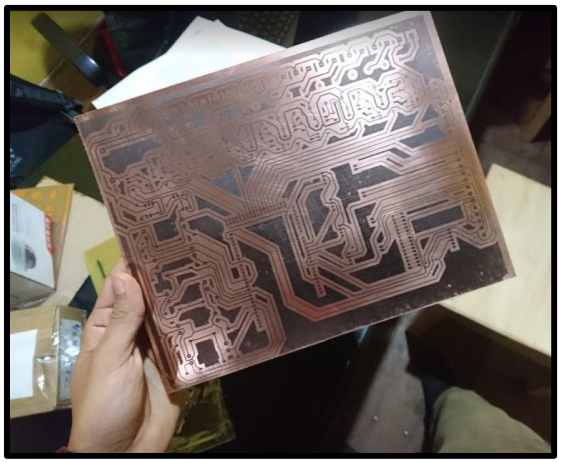


Figura 72: *Placa electrónica.*

Fuente: *Autor.*

- ✓ Compra de todos los elementos electrónicos

Se adquirieron todos los materiales como son: Arduino mega, Arduino uno, módulos de relé, resistencias, transistores, sensores de humedad y de clima, reloj, sensor de flujo, condensadores, porta fusibles, fuente de alimentación e iodos.

- ✓ Realizar las respectivas soldaduras y conexiones de todos los equipos electrónicos que van en la placa.

Para la realización de esta actividad se necesitó instrumentos como cautín, estaño y los componentes electrónicos que van soldado en la placa como se muestra en las figuras 73 y 74.

Figura 73: *Soldadura de relé.*

Fuente: *Autor.*

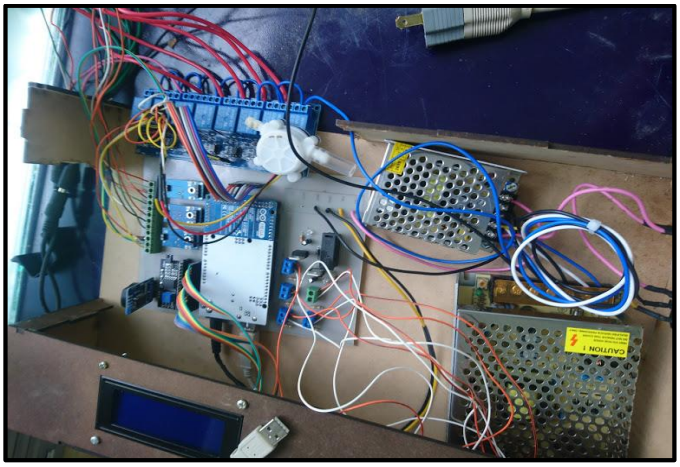


Figura 74: *Circuito electrónico.*

Fuente: *Autor.*

- ✓ Pruebas de funcionamiento del sistema de riego tanto automático como manual.

Para las pruebas de funcionamiento se verifico la lectura de las bombas, electroválvulas, sensores de humedad, sensor de caudal, el sensor de lluvia y la pantalla LCD. Como se muestra en las figuras 75, 76, 77, y 78.

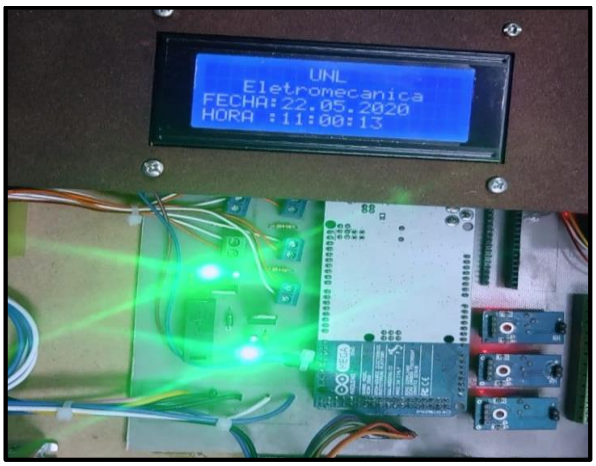


Figura 75: *Presentación de la pantalla LCD.*

Fuente: *Autor*.

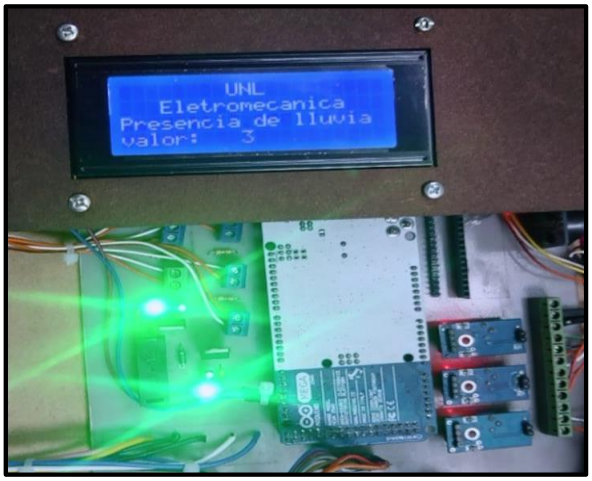


Figura 76: *Presentación de los valores del sensor de lluvia*.

Fuente: *Autor*.

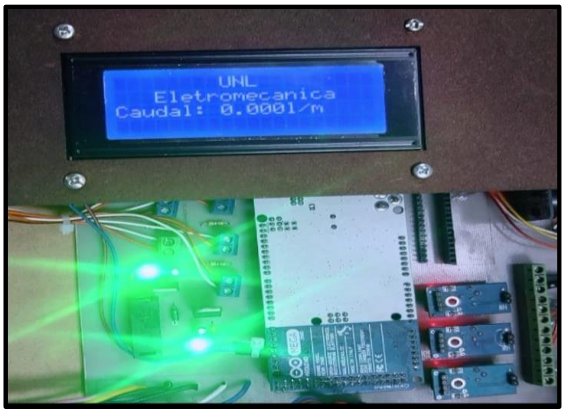


Figura 77: *Presentación de los valores de caudal.*

Fuente: *Autor.*

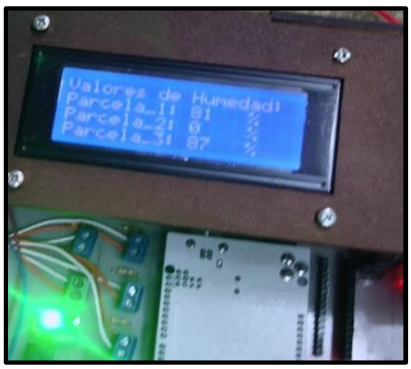


Figura 78: *Presentación de los valores de humedad de los sensores.*

Fuente: *Autor.*

Funcionamiento de las electroválvulas según la lectura del sensor de humedad para el riego de las parcelas según el tiempo programado en el software Arduino®, Por ejemplo, como se muestra en las siguientes figuras 79, 80, 81, 82 y 83 en la cual se riega la segunda parcela.

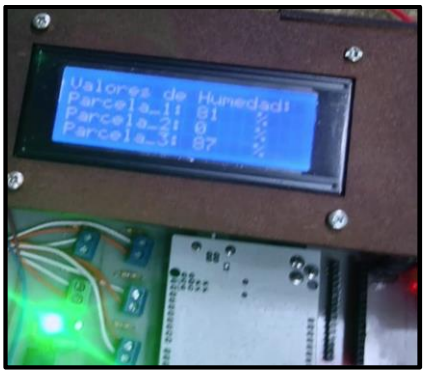


Figura 79: *Parcela 2 requiere agua.*

Fuente: *Autor.*

Figura 80: *Lectura del caudal que circula por la tubería.*

Fuente: *Autor.*

Figura 81: *Salida del recurso hídrico.*

Fuente: *Autor.*

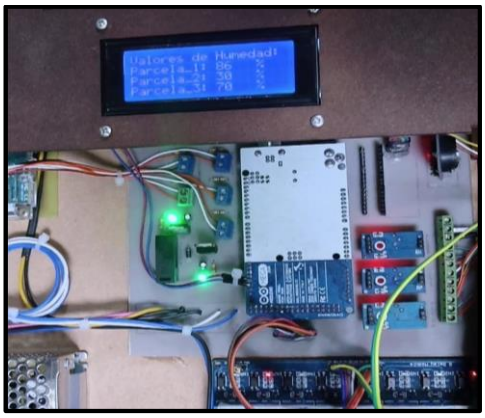


Figura 82: *Humedad del suelo 30%, se apaga la bomba y funciona los sensores con sus respectivas lecturas.*

Fuente: *Autor.*

Figura 83: *Apagado de la bomba.*

Fuente: *Autor.*

Funcionamiento del sensor de lluvia en caso de diluvio, este sensor permite aprovechar el agua de la lluvia, está configurado con el 10% para que se active y apague la bomba. Permitiendo beneficiarse de este recurso para el riego.

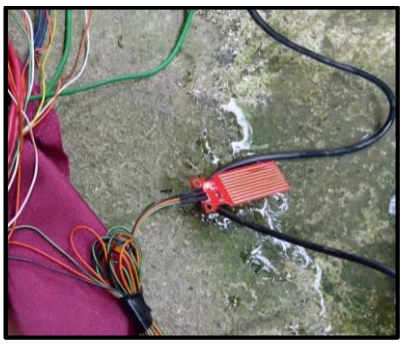


Figura 84: *Sensor de lluvia.*

Fuente: *Autor.*

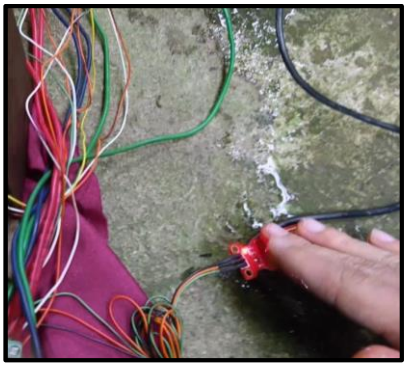


Figura 85: *Se proporciona agua al sensor de lluvia.*

Fuente: *Autor.*

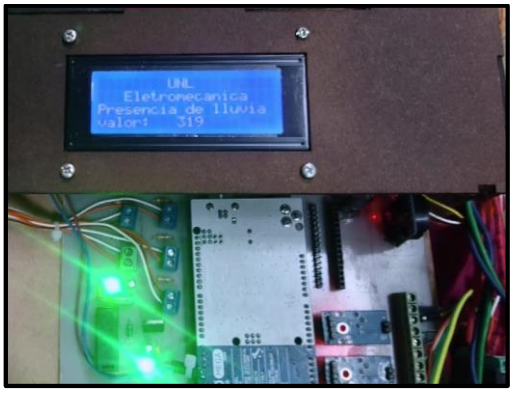


Figura 86: *Lectura del sensor de lluvia mayor al 20%, apagando el sistema de riego.*

Fuente: *Autor.*

Figura 87: *Sistema de riego sin circulación del agua.*

Fuente: *Autor.*

Funcionamiento en la parte manual tiene 5 pulsadores, el primero es la bomba de agua y el segundo es el fertilizante, los 3 restantes son las electroválvulas de las parcelas. Para regar no se debe pulsar las dos bombas porque marca un error, así mismo en las parcelas cuando se selecciona más de una el sistema no riega. Para que funcione este sistema manual debe ser pulsado por ejemplo la bomba de fertilizante y la parcela 1 para que comienza a regar, todo esto se repite en todas las parcelas y también con la bomba de agua.

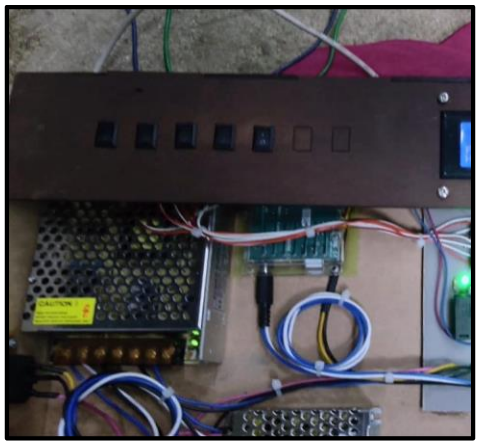


Figura 88: *Pulsadores del sistema de riego Manual.*

Fuente: *Autor.*

7. DISCUSIÓN.

En el presente proyecto de tesis se realizó la propuesta de un sistema de riego automatizado eficiente de acuerdo al análisis realizado tanto en Epanet® como el diseño realizado en AutoCAD® se llega a abarcar del recurso hídrico casi en un 90% del terreno de estudio, ya que actualmente el terreno tiene un riego por gravedad y solo abastece una parte del mismo.

Inicialmente se evaluó la disponibilidad de agua en el canal que atraviesa por el terreno de estudio por el método área-velocidad o flotadores para conocer el caudal que circula, dándonos como resultado 78 l/s. En lo que se refiere a la información recopilada de tesis y libros para el diseño agronómico como para el diseño hidráulico fue abundante, mientras que, para el diseño del prototipo de riego automatizado la información encontrada fue variada y considerable.

Todos los cálculos realizados para el diseño agronómico e hidráulico se los realizó con la metodología anteriormente utilizada de la tesis de la Universidad Nacional de Loja realizada por (Gallegos, 2016), validando así los cálculos de este sistema de riego.

En la fase de diseño arquitectónico y programación del prototipo concuerdo con (Cárdenas & Ramón, 2010), porque indica lo imprescindible de hacer uso eficiente del agua mediante riegos tecnificados no solamente para disminuir los costos de producción y aumentar ganancias, sino también para los intereses generales que esto implica, este autor implementó un sistema de riego por aspersión para el cultivo de palma aceitera, teniendo como limitante que no podría controlarlo automáticamente, con la implementación de un sistema automatizado que se desarrolló con una placa Arduino, el agricultor puede controlar el tiempo de riego y también monitoria la humedad del suelo que requiera el cultivo, obteniendo una mayor eficacia en el regadío.

La implementación de este sistema de riego es factible debido a que se obtendrá un VNP positivo, el TIR del 22%, la recuperación del capital invertido es en 2 años y 10 meses es decir en la sexta cosecha y su ganancia es del 1.31 teniendo un retorno del capital invertido para los 5 años estimados en este proyecto. Sin embargo, si el agricultor solo aprovecha la temporada de invierno, como lo ha venido realizando este sistema de riego ya no sería viable desde ningún punto de vista, debido que la cosecha anual solo se lo realizaría una vez.

La construcción de este sistema de riego automatizado es viable ya que sus materiales de construcción se encuentran en la localidad y además con la tecnología del medio.

8. CONCLUCIONES.

- Se logró identificar las necesidades agrícolas que tiene el propietario del terreno, con la finalidad de mejorar la producción con el empleo de esta técnica de riego que evita el desperdicio del agua que es muy importante para los cultivos. Así mismo se evaluó el canal de agua que pasa por el terreno que es de 78 l/s, cantidad suficiente de recurso hídrico requerido que es de 6.44 l/s, alcanzando los resultados deseables para realizar el diseño más apropiado.
- Se consiguió el diseño de riego tecnificado aceptable para la zona de estudio, comparando los resultados calculados con el programa Epanet® y simulando para conocer el comportamiento de presión y caudal de los aspersores en el programa.
- Respecto al análisis económico sobre el uso e implementación del sistema de riego automatizado, se pudo determinar que en el período de recuperación del capital invertido es de 3 años y 4 meses es decir en la cosecha de la 7ma siembra, permitiendo recuperar la inversión en el tiempo estimado ya que se tiene un VPN de 1498.36, un TIR de 15% y un B/C de 1.15%, notando que los ingresos son superiores a los egresos asiendo así un proyecto viable.
- Se deduce que el prototipo de riego automatizado ayuda a mejor la eficiencia de sistemas de riegos convencionales, ahorrando el consumo del recurso hídrico y así mismo permite evaluar el comportamiento del suelo por medio de los sensores de humedad.

9. RECOMENDACIONES.

- Averiguar mediante bibliografías las fórmulas para el diseño agronómico e hidráulico.
- Para diseñar el sistema hidráulico tener en cuenta si el terreno es con pendiente debido a que las tuberías secundarias donde van los aspersores sean horizontales ya que las presiones del primero hasta el ultimo la variación es poco y es más fácil de controlar. Mientras si se los hace de forma vertical siempre el punto crítico es en el último aspersor teniendo una presión sumamente elevada a los demás aspersores de esa hilera.
- Tener conocimiento del programa Proteos para el diseño del circuito electrónico, y así mismo del programa Arduino para generar los códigos adecuados a los elementos a programar y sus respectivas librerías.

10. BIBLIOGRAFÍA

Agricola, E. (3 de noviembre de 2016). Tipos de riego y sus ventajas: ¿cuál es el adecuado? ERP Agricola [Mensaje en un blog]. Recuperado de http://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-riego-en-la-agricultura-y-ventajas/

Aguero, J. (2002). *Mécanica de Fluidos Incomprensibles y Turbomáquinas Hidráulicas.* Madrid, España: Ciencia 3, S.L.

Almandoz, J., y Ruben, J. (s.f.). *Cuadros y Abacos.*

Apaza, D., y La Torre, I. (2017). *Diseño e implementacion de un sistema automatizado para riego tecnificado basado en el balance de humedad de suelo con tecnología arduino en el laboratorio de control y automatizacion epime 2016*(tesis de pregado). Universidad Ncional del Altiplano, Puno, Perú.

Camacho, J., y Ramírez, L. (2016). Evaluación de textura del suelo con espectroscopía. *Colombia Forestal*.

Cañar, V., y Villamarin, R. (2009). *Estudio de factibilidad de un sistema de riego por aspersión para el cultivo de pasto en la hacienda de la Brigada de Fuerzas Especiales N.-9 Patria* (tesis de pregado). Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador.

Cárdenas, C., y Ramón, V. (2010). Diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión para 50Ha. de cultivo de Palma Aceitera(Elaeis guineensis) en la provincia del Guayas.

Cárdenas, S. (2015). *Aplicación del Software Autocad sobre el aprendizaje de la expresión gráfica en dibujo técnico de los estudiantes del primer ciclo de Ingeniería Industrial de la Universidad Ricardo Palma-2014* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lima, Perú.

Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego.* Honduras: Comunica.

Conza, C., y Soto, D. (2012). *Diseño y construcción de un prototipo de una picocentral hidráulica con turbinas tipo turco*(tesis de pregado). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

Curimilma, J. (2012). *Prácticas de simulación y programación del mini plc logo con fines didácticos* (tesis de pregado). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

Escobar, C., y Farfan, K. (2018). *Diseño de un sistema de riego para la implementación de cultivos automatizados en el recinto playa seca del cantón El Triunfo*(tesis de pregado). Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Gallegos, C. (2016). *Diseño e implementacion de un sistema de riego presurizado para pasto en la fica Landapo de la parroquia Lauro Guerrero cantón Paltas, Provincia de Loja*(tesis de pregado). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

GAD Municipal de Loja. (2014*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Loja 2014 -2019.*

GAD Municipal de Puyango. (2019*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Puyango 2019 -2023.*

GAD Municipal de Paltas. (2019*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Paltas 2019 -2023.*

GAD Municipal de Zapotillo. (2019*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Zapotillo 2019 -2023.*

GAD Municipal de Pindal. (2019*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Pindal 2019 -2023.*

GAD Municipal de Chaguarpamba. (2015*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Chaguarpamba 2015.*

GAD Municipal de Calvas. (2011*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Calvas 2011.*

GAD Municipal de Catamayo. (2014*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Catamayo 2014 -2019.*

GAD Municipal de Célica. (2015*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Célica 2015.*

GAD Municipal de Espíndola. (2014*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Espíndola 2014 -2019.*

GAD Municipal de Gonzanamá. (2014*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Gonzanamá 2014 -2019.*

GAD Municipal de Macará. (2014*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Macará 2014 -2019.*

GAD Municipal de Olmedo. (2014*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Olmedo 2014 -2019.*

GAD Municipal de Quilanga. (2014*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Quilanga 2014 -2019.*

GAD Municipal de Saraguro. (2014*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Saraguro 2014 -2019.*

GAD Municipal de Sozoranga. (2014*). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del municipio de Sozoranga 2014 -2019.*

Gurovich, L. (1985). *Fundamentos y Diseños de Sistemas de Riego.* San Jose: IICA.

Laverde, J. (2016). *Sistema automatizado de riego por aspersión para el jardín ubicado en la parte lateral del bloque de aulas# 2 de unidades Quevedo* (tesis de pregrado). Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ecuador.

Mataix, C. (1986). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas(segunda edicion).* Madrid: Ediciones del Castillo S.A.

Molina, G. (2011). *Modelización con epanet de las redes de transporte de agua potable de la ciudad de Cartagena* (tesis de maestría). Universidad Politécnica de Cartagena, España.

Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos.* México: Pearson Educación.

Rivas, E. (2015). *Análisis de factibilidad de un sistema de generación fotovoltaica para el sector residencial de la ciudad de Loja* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

Salazar, R. (2014). *Diseño y construccion de prototipo de un sistema de simulacion de presencia para un hogar mediante telefonia movil* (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Salcedo, A. (2014). *Diseño de un sistema automatizado para riego por goteo para Paltas Hass* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Sánchez, C., y Vinueza, M. (2007). *Optimización del recurso hídrico mediante el cambio de método de riego en la Comuna de Monjas Alto, Cantón Cayambe* (tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

Santos, L., Picornell, M., y Velero, J. (2004). *El Riego y sus Tecnologías.* Lisboa: Europa-America.

Silva, P., y Silva, H. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos.* Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/130642

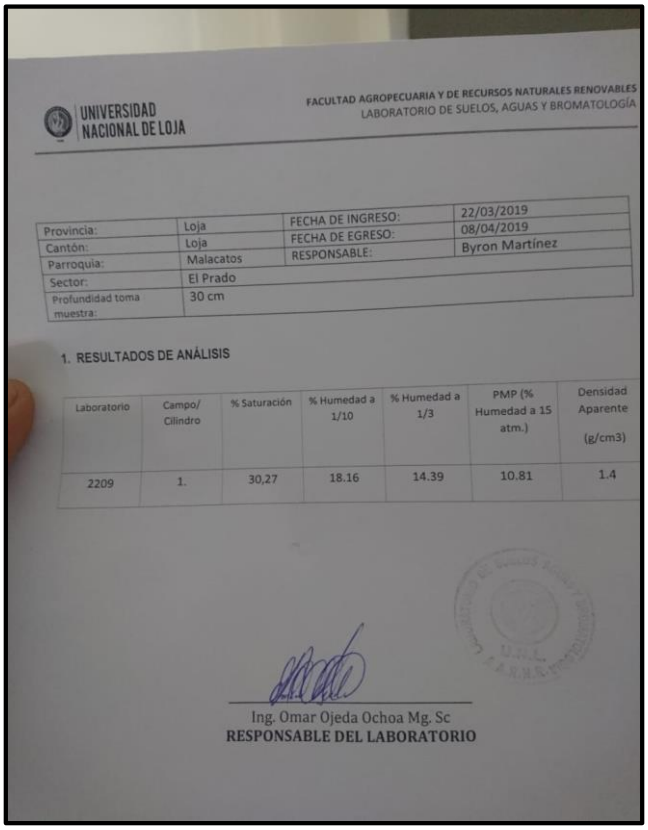
Simon, G. (2018). *Implementacion, control y monitoreo de un sistema de riego por goteo subterráneo con microcontroladores* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Valero, D. (2005). *Estudio de factibilidad técnico económico financiero para la instalación de una fábrica de bolsas plásticas* (tesis de maestría). Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

Yanez, C., y Zambrano, J. (2013). Guiá de producción de maíz para pequeños agricultores y agricultoras . *INIAP*.

11. ANEXOS.

Anexo N°01. Análisis del suelo de estudio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

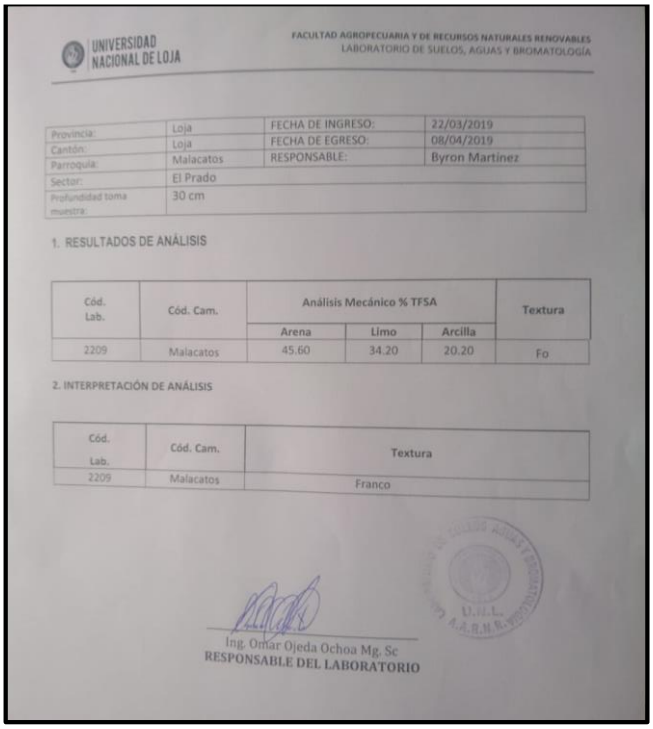
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
LABORATORIO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGÍA

Provincia:	Loja	FECHA DE INGRESO:	22/03/2019
Cantón:	Loja	FECHA DE EGRESO:	08/04/2019
Parroquia:	Malacatos	RESPONSABLE:	Byron Martínez
Sector:	El Prado		
Profundidad toma muestra:	30 cm		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Laboratorio	Campo/ Cilindro	% Saturación	% Humedad a 1/10	% Humedad a 1/3	PMP (% Humedad a 15 atm.)	Densidad Aparente (g/cm3)
2209	1.	30,27	18.16	14.39	10.81	1.4

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
LABORATORIO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGÍA

Provincia:	Loja	FECHA DE INGRESO:	22/03/2019
Cantón:	Loja	FECHA DE EGRESO:	08/04/2019
Parroquia:	Malacatos	RESPONSABLE:	Byron Martínez
Sector:	El Prado		
Profundidad toma muestra:	30 cm		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Cam.	Análisis Mecánico % TFSA			Textura
		Arena	Limo	Arcilla	
2209	Malacatos	45.60	34.20	20.20	Fo

2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Cam.	Textura
2209	Malacatos	Franco

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo N°02. Profundidad radicular de los cultivos según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (**FAO**).

Cultivo	Profundidad radicular maxima[1] (m)	Fracción de agotamiento[2] (para ET$_c$ 5 mm día^{-1}) p
e. Leguminosas (Leguminosae)		
Frijoles o judías verdes	0,5-0,7	0,45
Frijoles o judías, secos y legumbres	0,6-0,9	0,45
Frijoles o judías , lima del Perú, vainas largas	0,8-1,2	0,45
Garbanzo (Chick pea)	0,6-1,0	0,50
Habas – Frescas	0,5-0,7	0,45
– Secas/Semilla	0,5-0,7	0,45
Garbanzo hindú	0,6-1,0	0,45
Caupís (cowpeas)	0,6-1,0	0,45
Maní o cacahuete	0,5-1,0	0,50
Lentejas	0,6-0,8	0,50
Guisantes o arveja – Frescos	0,6-1,0	0,35
– Secos/Semilla	0,6-1,0	0,40
Soya o soja	0,6-1,3	0,50
f. Hortalizas perennes (con letargo invernal y suelo inicialmente desnudo o con mantillo)		
Alcachofa	0,6-0,9	0,45
Espárragos	1,2-1,8	0,45
Menta	0,4-0,8	0,40
Fresas	0,2-0,3	0,20
g. Cultivos Textiles		
Algodón	1,0-1,7	0,65
Lino	1,0-1,5	0,50
Sisal	0,5-1,0	0,80
h. Cultivos Oleaginosos		
Ricino	1,0-2,0	0,50
Canola (colza)	1,0-1,5	0,60
Cártamo	1,0-2,0	0,60
Sésamo	1,0-1,5	0,60
Girasol	0,8-1,5	0,45
i. Cereales		
Cebada	1,0-1,5	0,55
Avena	1,0-1,5	0,55
Trigo de Primavera	1,0-1,5	0,55
Trigo de Invierno	1,5-1,8	0,55
Maíz, (grano)	1,0-1,7	0,55
Maíz, (dulce)	0,8-1,2	0,50
Mijo	1,0-2,0	0,55
Sorgo – grano	1,0-2,0	0,55
– dulce	1,0-2,0	0,50
Arroz	0,5-1,0	0,20[4]

Anexo N°03. Coeficiente Kc de los cultivos según la FAO.

CUADRO 12 (continuación)

Cultivo	$K_{c\ ini}$[1]	$K_{c\ med}$	$K_{c\ fin}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
e. Leguminosas (Leguminosae)	**0,4**	**1,15**	**0,55**	
Frijoles o judías, verdes	0,5	1,05[2]	0,90	0,4
Frijoles o judías, secos y frescos	0,4	1,15[2]	0,35	0,4
Garbanzo (chick pea)		1,00	0,35	0,4
Habas – Fresco	0,5	1,15[2]	1,10	0,8
– Seco/Semilla	0,5	1,15[2]	0,30	0,8
Garbanzo hindú	0,4	1,15	0,35	0,8
Caupis (cowpeas)		1,05	0,60-0,35[6]	0,4
Maní		1,15	0,60	0,4
Lentejas		1,10	0,30	0,5
Guisantes o arveja – Frescos	0,5	1,15[2]	1,10	0,5
– Secos/Semilla		1,15	0,30	0,5
Soya		1,15	0,50	0,5-1,0
f. Hortalizas perennes (con letargo invernal y suelo inicialmente desnudo o con mantillo)	**0,5**	**1,00**	**0,80**	
Alcachofa	0,5	1,00	0,95	0,7
Espárragos	0,5	0,95[7]	0,30	0,2-0,8
Menta	0,60	1,15	1,10	0,6-0,8
Fresas	0,40	0,85	0,75	0,2
g. Cultivos Textiles	**0,35**			
Algodón		1,15-1,20	0,70-0,50	1,2-1,5
Lino		1,10	0,25	1,2
Sisal[8]		0,4-0,7	0,4-0,7	1,5
h. Cultivos Oleaginosos	**0,35**	**1,15**	**0,35**	
Ricino		1,15	0,55	0,3
Canola (colza)		1,0-1,15[9]	0,35	0,6
Cártamo		1,0-1,15[9]	0,25	0,8
Sésamo (ajonjolí)		1,10	0,25	1,0
Girasol		1,0-1,15[9]	0,35	2,0
i. Cereales	**0,3**	**1,15**	**0,4**	
Cebada		1,15	0,25	1
Avena		1,15	0,25	1
Trigo de Primavera		1,15	0,25-0,4[10]	1
Trigo de Invierno – con suelos congelados	0,4	1,15	0,25-0,4[10]	1
– con suelos no-congelados	0,7	1,15	0,25-0,4[10]	
Maíz, (grano)		1,20	0,60,0,35[11]	2
Maíz, (dulce)		1,15	1,05[12]	1,5
Mijo		1,00	0,30	1,5
Sorgo – grano		1,00-1,10	0,55	1-2
– dulce		1,20	1,05	2-4
Arroz	1,05	1,20	0,90-0,60	1

Anexo N°04. Cálculo de la evapotranspiración (ETo) en el programa Cropwat con los datos proporcionados por el INAMHI como son: temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y velocidad del viento de la parroquia Malacatos.

TempMaxDiarMalacatos15: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Temperatura Máxima Diaria (°C) 03/19/19

S E R I E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: MALACATOS CODIGO: M0143
PERIODO: 2014 - 2015 LATITUD: 4G 12' 58" S LONGITUD: 79G 16' 24" W ELEVACION: 1453.00

VALORES DIARIOS

ANO	DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	SUMA
2014	1	27.2	32.1	29.1	27.6	29.1	23.1		26.0	28.0	28.1	30.2	29.1	27.1	25.2	28.1	26.1	25.1	26.2	28.1	30.1	31.0	32.1	32.1	27.2	28.2	27.1	30.1	31.0	31.2	27.1	25.2	847.9
2014	2	25.0	30.1	31.2	29.1	24.2	30.1	26.1	27.2	30.1	27.1	25.1	28.1	30.1	29.2	26.2	29.2	28.1	26.1	25.1	26.0	24.1		26.1	27.2	25.1	27.1	29.1	26.1				738.2
2014	3	25.1	24.1	24.1	25.3	26.2	25.2	29.1	26.0	26.2	27.1	29.1	27.2	25.1	28.1	30.1	27.1	25.6	25.2	24.1	28.2	25.6	27.2	27.1	26.1	26.6	29.1	26.2	31.0	28.2	27.1	30.1	832.5
2014	4	31.2	26.1	27.1	26.2	26.2	27.1	26.0	28.1	29.0	30.1	27.0	28.1	26.1	25.1	27.1	29.1	28.1	30.1	28.1	29.1	28.1	30.1	31.6	26.1	28.2	29.1	30.2	28.1	27.2	31.0		844.7
2014	5	29.1	29.2	24.0	28.1	30.1	30.1	29.2	26.2	29.1	28.2	29.1	29.1	26.6	27.1	29.0	27.1	30.2	27.1	26.1	28.1	30.2	31.0	29.2	27.1	26.2	26.1	27.0	26.2	27.0	29.1	27.2	869.1
2014	6	25.1	26.1	27.1	29.1	30.1	26.2	30.2	30.6	27.1	25.1	26.1	28.1	28.1		25.2	26.0	26.1	27.9	27.1	26.2	26.6	27.9	25.0	25.1	28.1	28.2	28.1	28.2	27.1	29.2		791.0
2014	7	25.2	28.2	27.3	28.2	26.2	30.2	26.1	26.1	26.1	28.1	25.2	25.0	25.2	24.2	24.3	26.1	25.2	26.2	28.0	26.2	27.2	29.2	29.2	30.0	26.0	28.0	30.2	27.2	26.1	28.1	28.2	848.7
2014	8	27.2	29.2	29.0	27.1	24.1	25.1	28.2	25.1	24.2	26.1	29.0	25.3	24.1	28.1	28.2	27.0	26.1	25.2	25.0	26.0	28.0	30.0	29.0	26.0	27.1	29.0	29.1	26.2	26.2	25.2	30.2	835.3
2014	9	27.1	31.0	27.1	28.0	27.1	30.2	29.1	30.2	26.1	29.0	25.1	28.0	28.2	26.2	26.1	29.0	31.2	26.1	30.1	29.2	26.1	30.6		29.1	29.2	31.6			28.0	29.1		767.8
2014	10	27.1	29.1	28.2	29.6	26.2	29.0	28.1	26.1	25.1	29.1	27.0	25.1	29.1	27.1	27.1	29.1	29.1	33.0	31.0	30.1	30.1	29.1	30.1	31.1	29.0	31.2	29.1	30.0	32.1	32.0	30.2	899.3
2014	11	31.0	30.0	28.1	32.1	31.0	25.2	29.1	31.0	32.0	29.1	28.2	25.1	24.1	26.0	31.0	30.1	29.1	31.0	30.0	32.1	31.6	31.0	30.1	29.1	29.1	29.1	32.0	30.1	28.1	29.0		884.5
2014	12	29.2	27.2	28.1	26.0	25.1	32.0	31.0	26.6	34.3	29.1	31.0	24.3	31.2	31.0	31.2	29.1	29.1	31.0	33.1	30.0	31.0	28.2	28.2	24.1	26.0	30.1	28.6	27.1	30.1	31.0	29.1	903.1
2015	1	30.1	27.2	29.2	26.1	25.1	27.1	28.1	27.1	27.0	27.2	29.1	28.1	29.1	32.1	28.1	32.6	32.1	25.2	29.1	30.1	29.2	26.1	29.1	30.6	27.1	30.1	27.1	28.2	27.1	26.6	26.2	877.2
2015	2	27.0	28.1	28.2	27.1	28.0	30.1	26.2	26.1	27.1	29.1	28.0	27.0	27.2	28.2	30.1	30.0	31.0	31.0	29.2	30.1	28.2	29.2	30.1	29.1	28.0	29.1	28.1	27.2				797.0
2015	3	28.2	32.1	29.1	28.2	30.1	28.1	27.2	27.0	28.1	26.1	28.1	29.0	30.0	28.2	27.1	29.0	28.1	26.0	24.1	25.0	24.0	28.2	28.2	29.0	28.0	27.0	27.2	28.2	25.0	27.3	28.1	859.0
2015	4	28.2	26.1	27.2	28.0	25.2	27.2	28.1	29.1	28.2	29.0	27.2	28.2	29.2	31.0	27.1	29.1	31.0	31.0	30.0	28.2	25.1	24.2	25.1	27.1	25.2	26.1	25.1	27.1	28.1			801.4
2015	5	27.1	30.1	31.2	29.2	28.2	25.1	28.2	28.1	27.2	28.0	26.1	25.1	28.1	27.2	29.2	29.0	28.1	29.2	28.1	28.1	26.1	28.2	28.2	29.1	29.2	29.0	28.1	29.1	27.1	30.2	29.1	874.0
2015	6	29.0	25.1	28.1	24.1	25.1	27.2	25.1	25.2	25.6	27.2	27.1	28.1	29.1	31.0	28.1	27.0	28.2	25.1	26.2	27.1	25.2	27.2	27.0	24.9	26.1	24.2	27.2	25.2	25.1	29.5		800.3
2015	7	29.2	28.2	27.2	27.2	28.1	29.1	29.1	28.1	28.6	27.0	26.2	29.2	29.1	31.1	29.2	27.4	28.2	27.2	30.2	30.1	28.1	25.1	25.1	27.1	27.2	27.2	26.1	26.4	25.3	25.1	26.1	858.5
2015	8	26.1	27.2	26.1	27.2	28.1	27.1	29.1	28.1	31.0	30.0	29.2	28.1	27.1	26.1	26.2	27.1	27.2	31.2	28.2	27.0	29.0	30.2	31.0	28.6	31.0	31.0	29.0	27.0	26.2	26.2	26.2	872.8
2015	9	25.1	27.1	28.1	27.2	27.2	26.2	27.2	28.0	30.0	32.0	29.0	29.2	30.2	31.2	31.1	30.1	32.1	29.2	29.0	28.1	29.2	27.1	31.0	29.1	30.0	29.0	31.0	30.1	32.1	32.0		877.9
2015	10	32.1	32.0	28.2	26.2	27.1	28.1	31.1	32.0	29.3	30.1	29.1	30.1	28.1	32.0	28.1	31.1	31.1	27.1	27.1	30.1	31.1	29.2	31.0	29.2	29.1	30.1	29.1	30.1	31.0		29.1	889.1
2015	11	28.6	30.6	31.2	31.2	32.2	31.2	29.2	30.1	29.1	30.1	29.3	29.2	29.2	29.2	29.1	30.1	31.0	29.1	29.1	30.2	30.0	29.2	30.2	30.1	31.0	30.0	30.0	31.0	31.0	30.1		901.5
2015	12	29.1	25.1	31.2	30.6	30.2	31.0	29.1	29.5	32.1	29.2	29.2	30.2	30.1	31.0	27.1	29.2	30.2	31.0	29.2	30.2	29.2	31.2	30.0	27.1	30.0	31.2	30.0	29.2	28.1	29.2	31.0	920.9

TempMinimMalacatos15: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Temperatura Mínima Diaria (°C) 03/19/19

S E R I E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: MALACATOS CODIGO: M0143
PERIODO: 2014 - 2015 LATITUD: 4G 12' 58" S LONGITUD: 79G 16' 24" W ELEVACION: 1453.00

VALORES DIARIOS

ANO	DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	SUMA
2014	1	6.0	7.2	9.2	7.2	7.4	6.0		6.0	7.2	6.6	6.0	6.2	6.0	7.0	7.6	8.2	7.0	7.0	7.2	7.0	7.2	8.1	8.0	8.2	7.2	7.0	6.2	7.2	6.4	8.2	8.1	213.8
2014	2	8.2	7.4	7.0	8.2	7.4	7.0	8.2	8.6	7.1	6.0	8.2	8.0	6.0	9.2	8.4	7.2	9.1	8.3	8.1	7.2	7.1	7.0	8.2	9.1	7.0	8.2	8.1	7.0				216.5
2014	3	7.0	7.3	7.2	7.0	8.2	8.0	7.2	8.1	6.0	6.1	7.1	7.4	7.6	7.3	8.1	7.2	8.2	7.2	8.2	7.6	7.0	7.2	7.6	7.2	8.1	9.2	7.6	7.2	6.2	7.4	7.6	230.3
2014	4	8.2	6.0	7.2	7.0		7.4	8.1	7.2	7.0	7.2	6.2	6.0	6.0	7.1	7.0	6.0	7.0	8.1	9.0	6.2	8.1	6.6	7.2	9.1	7.2	7.4	7.6	6.0	8.2	7.1		208.4
2014	5	8.2	8.6	7.2	7.4	6.0	8.2	8.2	9.0	7.2	8.1	8.6	6.0	6.0	7.2	7.1	8.1	6.1	7.2	7.1	7.4	6.6	8.2	9.2	9.6	8.2	7.6	7.2	8.2	7.0	6.0	9.1	235.8
2014	6	8.1	8.1	7.2	6.0	7.2	7.0	7.0	7.2	8.2	9.0	7.2	6.0	7.0	7.4	8.0	6.1	8.2	7.2	7.4	7.4	8.0	7.2	7.2	7.0	7.4	8.2	7.0	6.0	7.0	7.2		219.1
2014	7	6.2	6.0	7.4	8.2	7.2	8.0	6.4	7.4	7.5	8.2	8.2	8.0	8.2	7.2	8.4	9.1	9.0	8.2	9.0	8.4	7.2	6.6	6.1	8.4	9.2	9.0	8.2	6.0	8.2	7.0	6.0	238.1
2014	8	7.2	8.2	8.2	7.2	9.2	7.4	6.0	8.2	7.0	7.4	6.4	8.2	8.2	7.4	8.1	8.2	8.4	7.4	8.2	9.0	8.2	7.0	6.4	7.0	8.2	7.4		7.2	9.1	8.2	8.4	232.6
2014	9	6.2	6.0	8.2	7.2	7.0	6.6	8.0	6.0	7.1	7.0	7.2	8.4	7.6	8.0	8.2	7.0	6.1	8.2	8.1	7.2	8.0	6.2	8.2	7.4	7.1	7.0		7.2	9.2			205.6
2014	10	8.2	7.4	6.0	7.1	7.2	6.0	8.2	9.1	7.1	8.2	6.6	7.0	6.0	8.4	9.0	9.1	8.0	7.0	7.2	6.0	7.1	7.2	8.2	6.2	8.1	7.2	7.4	6.0	8.1	9.2	7.4	230.9
2014	11	6.0	7.0	7.4	6.2	8.1	7.2	6.2	6.0	7.0	7.1	7.4	7.2	6.4	7.2	7.0	8.1	7.2	8.2	8.2	6.0	6.0	7.9	7.2	6.1	7.4	8.2	9.6	9.0	10.1	9.2		221.8
2014	12	6.1	8.1	7.2	9.6	9.2	7.0	8.0	6.1	7.0	6.0	7.2	9.0	7.2	8.0	6.1	8.2	7.0	8.4	9.1	8.6	7.4	7.2	8.2	7.2	8.2	7.2	8.6	7.6	7.2	7.2	8.2	237.3
2015	1	7.0	8.2	8.4	8.2	7.1	6.0	7.2	8.2	7.0	7.2	7.4	6.2	7.2	6.0	7.2	8.1	8.2	7.0	7.0	6.4	7.2	7.6	7.0	7.6	8.6	6.6	9.2	8.4	8.0	8.2	7.2	230.8
2015	2	8.0	6.0	7.2	7.0	8.2	6.0	7.2	8.0	6.0	7.2	7.2	8.2	7.1	7.2	8.0	7.2	8.2	9.0	9.1	7.4	6.0	7.2	6.0	7.2	7.0	8.0	7.4	8.0				206.2
2015	3	8.1	7.1	7.2	7.0	6.0	7.4	7.4	8.2	7.2	8.0	7.2	7.0	6.0	8.1	8.2	7.2	7.0	7.2	7.0	7.2	7.0	7.2	7.0	6.2	8.2	7.0	7.0	8.0	7.2	7.4	6.2	224.1
2015	4		7.3	8.1	6.1	8.0	6.0	7.2	6.0	6.2	7.2	7.2	8.0	6.0	6.2	8.2	9.1	9.0	7.2	8.2	7.0	8.2	7.2	7.0	7.3	7.0	9.0	7.2	7.0	7.2	8.2		213.5
2015	5	6.0	7.0	9.0	8.2	8.2	8.2	6.0	7.2	9.1	9.2	7.2	7.0	7.2	7.0	7.3	7.0	9.0	7.6	6.0	6.2	7.2	7.0	7.2	8.2	7.0	7.2	6.0	6.6	7.4	8.0	8.2	220.6
2015	6	6.0	7.2	6.0	7.4	7.0	7.2	9.0	7.1	7.0	6.0	6.0	7.2	7.0	6.6	6.1	7.2	7.0	7.2	8.4	7.2	7.0	7.4	7.2	7.6	7.2	8.0	9.0	8.2	7.0	7.0		215.4
2015	7	7.2	7.6	7.2	8.0	8.2	7.2	6.2	8.1	8.0	8.4	9.0	9.2	6.0	6.0	7.2	6.4	6.0	7.2	8.2	8.0	7.2	6.6	6.0	6.4	7.2	8.2	7.1	7.4	8.4	6.2	7.4	227.4
2015	8	6.0	7.2	8.2	7.1	8.2	8.0	6.0	7.4	7.2	6.1	8.1	6.1	7.4	6.0	7.2	9.0	8.1	8.2	7.0	8.0	8.0	7.0	7.1	7.2	6.2	6.2	6.0	7.0	7.0	8.0	7.0	223.2
2015	9	6.2	6.2	7.4	7.2	8.0	8.2	7.2	8.0	6.1	7.4	7.0	7.2	7.0	6.1	6.0	6.0	8.2	7.2	8.1	8.0	6.1	8.2	6.2	7.1	7.0	8.0	8.2	6.0	7.2	7.0		213.7
2015	10	8.2	7.0	7.2	8.2	7.2	7.4	6.2	6.0	8.2	7.2	6.4	7.2	6.2	6.6	7.2	9.9	7.2	8.2	7.2	6.0	7.2	8.4	6.2	7.4	8.0	7.2	7.2	8.1	7.0	6.0	8.0	224.4
2015	11	8.1	8.6	7.4	7.2	6.4	7.2	6.2	7.0	8.2	7.2	7.1	6.2	7.4	7.2	8.6	7.0	8.1	8.4	7.0	7.4	8.0	8.2	7.0	7.2	7.2	8.2	7.0	8.2	8.2	7.2		224.3
2015	12	8.4	9.1	6.0	7.2	8.0	8.2	6.0	8.2	7.6	8.6	8.2	7.0	8.4	7.2	8.1	7.2	6.0	7.2	7.4	8.2	7.6	6.4	8.2	7.0	8.2	8.6	8.0	8.2	7.0	7.4	7.4	236.2

HumedadRelatMalacatos15: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Humedad Relativa Media Diaria (%) 03/19/19

S E R I E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: MALACATOS CODIGO: M0143
PERIODO: 2014 - 2015 LATITUD: 4G 12' 58" S LONGITUD: 79G 16' 24" W ELEVACION: 1453.00

VALORES DIARIOS

ANO	DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	SUMA
2014	1	71.0	81.0	77.0	79.0	86.0	83.0		84.0	75.0	79.0	72.0	80.0	81.0	73.0	81.0	75.0	83.0	85.0	84.0	83.0	83.0	78.0	76.0	76.0	79.0	84.0	77.0	87.0	86.0	79.0	74.0	2391.0
2014	2	76.0	83.0	87.0	67.0	74.0	82.0	77.0	76.0	80.0	81.0		76.0	84.0	75.0	77.0	78.0	85.0	76.0	83.0	84.0	85.0	86.0	81.0	75.0	79.0	81.0	78.0	87.0				2153.0
2014	3	85.0	82.0	82.0	85.0	87.0	85.0	80.0	81.0	86.0	84.0	82.0	80.0	82.0	83.0	84.0	83.0	80.0	85.0	81.0	86.0	83.0	83.0	82.0	90.0	82.0	75.0	83.0	76.0	89.0	86.0		2492.0
2014	4	85.0	84.0	81.0	86.0	86.0	83.0	83.0	84.0	87.0	86.0	80.0	86.0	86.0	83.0	82.0	83.0	80.0	79.0	82.0	82.0	83.0	79.0	88.0	80.0	83.0	83.0	82.0	82.0	84.0	84.0		2496.0
2014	5	75.0	78.0	81.0	80.0	80.0	73.0	76.0	78.0	83.0	75.0	82.0	81.0	80.0	77.0	75.0	75.0	78.0	81.0	74.0	84.0	80.0	77.0	75.0	79.0	82.0	82.0	85.0	85.0	81.0	80.0	75.0	2447.0
2014	6	82.0	72.0	78.0	83.0	82.0	78.0	83.0	79.0	80.0	77.0	76.0	78.0	81.0	74.0	79.0	77.0	73.0	78.0		76.0	78.0	82.0	79.0	83.0	72.0	72.0	79.0	78.0	80.0	77.0		2266.0
2014	7	77.0	80.0	77.0	78.0	82.0	79.0	73.0	77.0	76.0	78.0	74.0	77.0	71.0	78.0	73.0	75.0	75.0	76.0	78.0	72.0	79.0	77.0	76.0	72.0	73.0	78.0	83.0	82.0	75.0	79.0	81.0	2381.0
2014	8	86.0	76.0	78.0	81.0	76.0	78.0	79.0	74.0	72.0	74.0	78.0	77.0	76.0	76.0	70.0	75.0	75.0	74.0	80.0	77.0	80.0	76.0	79.0	80.0	73.0	78.0		73.0	78.0	79.0	77.0	2305.0
2014	9	76.0	77.0	72.0	73.0	70.0	78.0	80.0	75.0	78.0	81.0	77.0	73.0	83.0	82.0	80.0	71.0	77.0	73.0	76.0	77.0	77.0	82.0	81.0	78.0	83.0	79.0			79.0	76.0		2164.0
2014	10	74.0	77.0	75.0	80.0	84.0	85.0	79.0	71.0	85.0	83.0	86.0	79.0	80.0	74.0	73.0	80.0		81.0	79.0	79.0	83.0	72.0	75.0	80.0	73.0	75.0	78.0	80.0	85.0	76.0	74.0	2355.0
2014	11	86.0	77.0	76.0	81.0	83.0	84.0	74.0	82.0	80.0	80.0	85.0	86.0	78.0	85.0	80.0	79.0	85.0	81.0	81.0	81.0	82.0	84.0	85.0	84.0	81.0	84.0	74.0	80.0	77.0	83.0		2438.0
2014	12	81.0	80.0	76.0	76.0	77.0	89.0		76.0	81.0	82.0	79.0	75.0	81.0	79.0	76.0	76.0	76.0	81.0	79.0	78.0		89.0	77.0	84.0	91.0	80.0	83.0	79.0		79.0	76.0	2164.0
2015	1	84.0	80.0	80.0	81.0	81.0	81.0	78.0	76.0	85.0	82.0	80.0	79.0	75.0	79.0	80.0	78.0	83.0	76.0	78.0	82.0	87.0	81.0	87.0	82.0	84.0	83.0	83.0	83.0	79.0	87.0	85.0	2539.0
2015	2	82.0	79.0	88.0	83.0	75.0	80.0	83.0	79.0	81.0	84.0	79.0	73.0	78.0	79.0	79.0	82.0	74.0	74.0	76.0	85.0	82.0	76.0	81.0	81.0	81.0		85.0	78.0				2157.0
2015	3	78.0	85.0		78.0	81.0	83.0	78.0	77.0	84.0	87.0	84.0	80.0	82.0	73.0	78.0	83.0	90.0	80.0	81.0	83.0	81.0	84.0	85.0	83.0	80.0	87.0	75.0	80.0	79.0	82.0	78.0	2429.0
2015	4		84.0	85.0	78.0	81.0	75.0	85.0	82.0	77.0	82.0	86.0	81.0	85.0	85.0	78.0	80.0	80.0	85.0	75.0	87.0	83.0	83.0	78.0	74.0	82.0	84.0	86.0	85.0	81.0	75.0		2362.0
2015	5	80.0	81.0	80.0	74.0	77.0	73.0	83.0	82.0	76.0	79.0	86.0	81.0	86.0	84.0	80.0	84.0	78.0	81.0	81.0	86.0	79.0	84.0	72.0	77.0	87.0	86.0	80.0	82.0	81.0	76.0	82.0	2498.0
2015	6	76.0	74.0	77.0		79.0	83.0	82.0	85.0	79.0	78.0	82.0	82.0	87.0	82.0	85.0	89.0	84.0	79.0	76.0	79.0	80.0	83.0	80.0	76.0	82.0	80.0	83.0	78.0	87.0	82.0		2349.0
2015	7	79.0	81.0	79.0	78.0	78.0	84.0	82.0	77.0	78.0	75.0	79.0	82.0	82.0	87.0	81.0	89.0	79.0	82.0	80.0		86.0	81.0	81.0	78.0	78.0	82.0	78.0	80.0		83.0		2259.0
2015	8	78.0	82.0	76.0	82.0	72.0	78.0	83.0	80.0	81.0	78.0	76.0	81.0		78.0	84.0	78.0	78.0	80.0	82.0	79.0	78.0	80.0	72.0	77.0	78.0	77.0	76.0	79.0	81.0	79.0	81.0	2364.0
2015	9	76.0	82.0	82.0	85.0	78.0	82.0	78.0	80.0	84.0	83.0	81.0	79.0	82.0	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0	80.0		81.0	81.0	72.0	79.0	83.0	80.0	81.0	83.0		2249.0
2015	10	75.0	81.0	77.0	77.0	84.0	78.0	84.0	81.0	80.0	81.0	86.0	77.0	82.0	85.0	84.0	75.0	81.0	79.0	81.0	83.0	81.0	79.0	80.0	84.0	83.0	83.0	78.0	81.0	87.0	82.0	77.0	2506.0
2015	11	83.0	80.0	82.0		83.0	81.0	83.0	86.0	83.0	89.0	87.0	78.0	81.0	82.0	83.0	84.0	79.0		92.0	83.0	78.0	82.0	87.0	82.0	78.0	80.0	77.0	82.0				2227.0
2015	12	79.0	81.0	78.0	80.0	81.0	85.0	84.0	79.0		73.0	78.0	80.0	76.0	85.0	76.0	84.0	81.0	80.0	77.0	77.0	77.0	81.0	81.0	80.0	73.0	81.0	82.0	78.0	86.0	82.0	85.0	2400.0

VientoMalacatos15: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Viento-Dirección Predominante -Velocidad 13H(m/s)

S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S M E T E O R O L O G I C O S

NOMBRE: MALACATOS CODIGO: M0143

PERIODO: 2014 - 2015 LATITUD: 4G 12' 58" S LONGITUD: 79G 16' 24" W ELEVACION: 1453.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2014	3.3 S	3.7 N	2.5 N	3.4 N	3.0 N	4.4 E	5.3 N	4.5 N	3.6 N	4.4 S	2.7 N	2.7 S	43.5	3.6
2015	2.8 S	2.9 N	3.0 N	3.4 N	2.7 S	4.7 N	4.6 N	4.5 N	3.5 N	4.0 N	3.4 N	3.3 N	42.8	3.5
media	3.0	3.3	2.7	3.4	2.8	4.5	4.9	4.5	3.5	4.2	3.0	3.0	43.1	3.5
minima	2.8	2.9	2.5	3.4	2.7	4.4	4.6	4.5	3.5	4.0	2.7	2.7		2.5
maxima	3.3	3.7	3.0	3.4	3.0	4.7	5.3	4.5	3.6	4.4	3.4	3.3		5.3

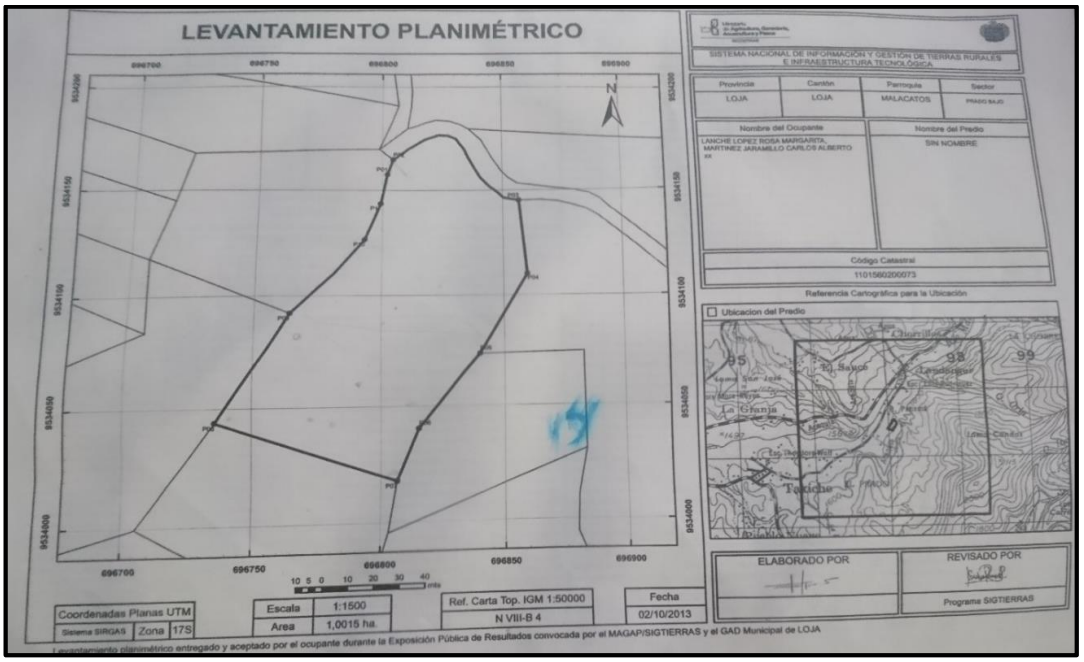
ETo Penman-Monteith Mensual - C:\Users\USUARIO2018\Desktop\INAMHI\calculo del ETo.PEM

País Ecuador Estación Malacatos

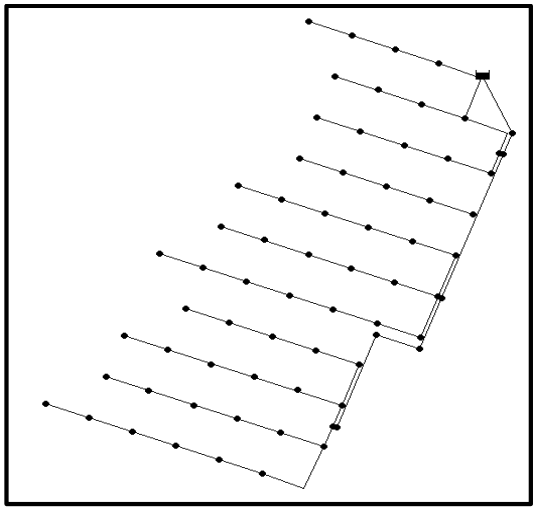
Altitud 1453 m. Latitud 4.20 °S Longitud 79.27 °W

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	7.4	28.3	81	242	12.9	29.4	5.45
Febrero	7.4	28.5	79	251	12.9	29.9	5.65
Marzo	7.2	27.7	80	259	12.5	29.2	5.39
Abril	7.4	27.6	81	294	12.3	27.5	5.10
Mayo	7.4	28.2	80	233	12.4	25.8	4.81
Junio	7.2	26.7	81	406	11.8	23.9	4.56
Julio	7.3	27.7	80	397	12.2	24.9	4.88
Agosto	7.2	28.1	78	389	12.5	26.9	5.34
Septiembre	7.1	29.3	80	302	13.1	29.4	5.70
Octubre	7.3	29.6	80	346	13.3	30.3	5.97
Noviembre	7.5	30.1	82	294	13.6	30.4	5.91
Diciembre	7.6	29.7	80	285	13.4	29.8	5.81
Promedio	**7.3**	**28.5**	**80**	**308**	**12.7**	**28.1**	**5.38**

Anexo N°05. Levantamiento Planimétrico del terreno según el Municipio de Loja.



Anexo N°06. Diseño del sistema de riego por aspersión.



Anexo N°07. Velocidades permitidas según el flujo volumétrico según el libro de Roberth Mott página 162.

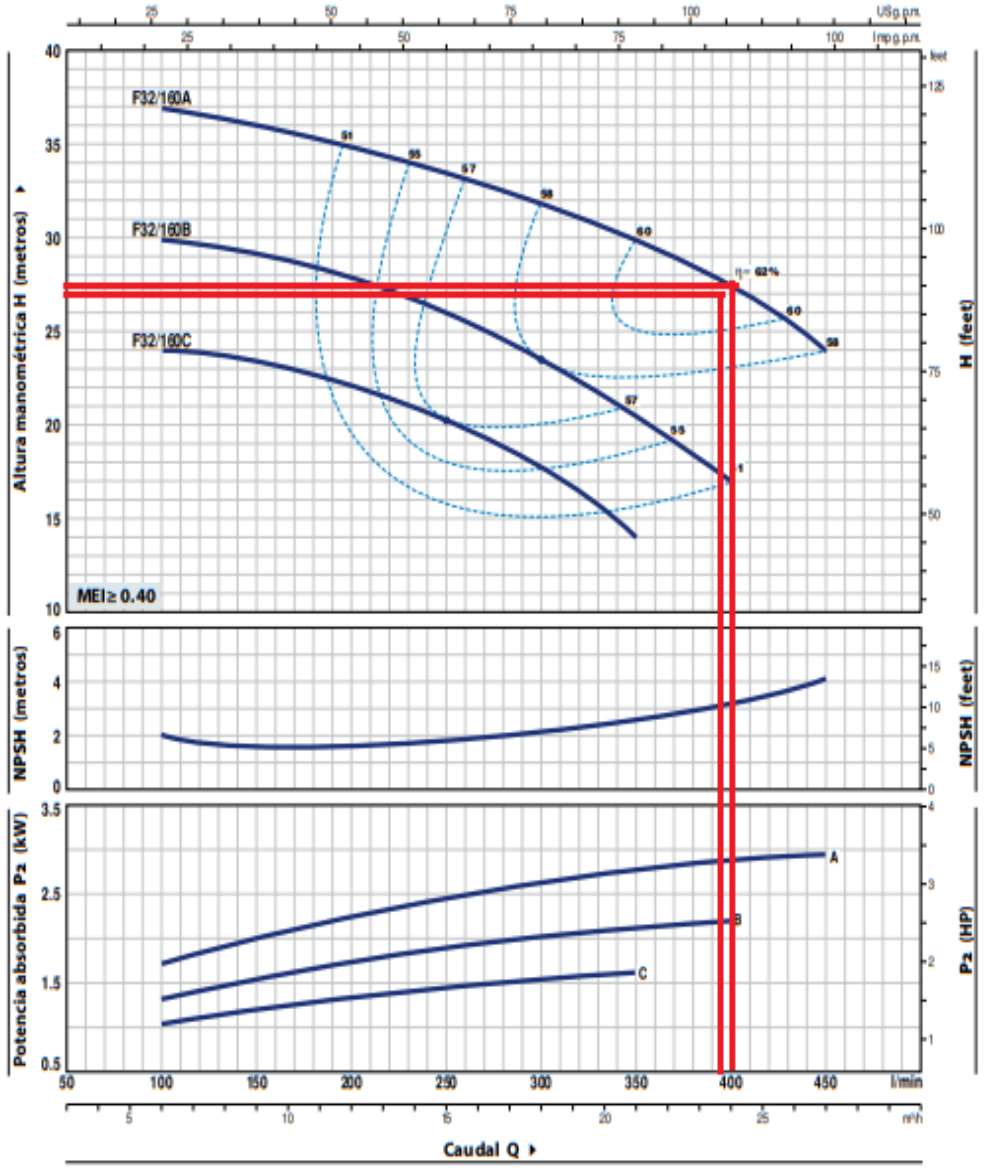
Flujo volumétrico		Línea de succión			Línea de descarga		
		Tamaño de	Velocidad		Tamaño de	Velocidad	
gal/min	m^3/h	tub. (pulg)	pie/s	m/s	tub. (pulg)	pie/s	m/s
10	2.3	1	3.7	1.1	¾	6.0	1.8
100	22.7	2½	6.7	2.0	2	9.6	2.9
500	114	5	8.0	2.4	3½	16.2	4.9
2000	454	8	12.8	3.9	6	22.2	6.8

Anexo N°08. Curva característica de la bomba (ccb).

F32/160

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

50 Hz n= 2900 min⁻¹ HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P2)		Q m³/h	0	6	9	12	15	18	21	24	27
Monofásica	Trifásica	kW	HP	Q l/min	0	100	150	200	250	300	350	400	450
Fm 32/160C	F 32/160C	1.5	2		25	24	23.5	22	20.5	18	14		
Fm 32/160B	F 32/160B	2.2	3	H metros	31	30	29	28	26	23.5	20.5	17	
–	F 32/160A	3	4		38	37	36	35	33.5	31.5	30	27.5	24

Q =Caudal H =Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

Anexo N°09. Selección de los aspersores del Catálogo de Senninger.

ASPERSORES	PRESIÓN EN LA BOQUILLA (PSI)							
	30	35	40	45	50	55	60	65
3023 - 2 - 3/4" M								
Boq # 8 x 6 ($^{1}/_{8}$x3/32")								
Caudal (gpm)	3.84	4.14	4.43	4.70	4.95			
Diámetro a 0.50 m	25.33	25.94	26.25	26.55	26.86			
Diámetro a 2.00 m	26.25	26.55	26.86	27.16	27.47			
4023 - 2 - 3/4" M								
Boq # 12 x 6 ($^{3}/_{16}$x 3/32")								
Caudal (gpm)	6.89	7.54	8.07	8.55	9.02	9.46	9.88	
Diámetro a 0.50 m	28.08	29.00	29.60	30.21	30.82	31.13	31.43	
Diámetro a 2.00 m	29.60	30.21	30.82	31.43	32.04	32.65	32.96	
5023 - 2 - 3/4" M								
Boq # 16 x 8 ($^{1}/_{4}$x1/8")								
Caudal (gpm)	11.50	12.40	13.30	14.10	14.80	15.50	16.20	16.90
Diámetro a 0.50 m	29.91	31.13	32.04	32.96	33.26	33.57	33.97	34.18
Diámetro a 2.00 m	31.43	32.65	33.87	34.79	35.40	36.01	36.62	37.23

Senninger Irrigation Inc.

Anexo N° 10. Selección de los diametros de tubería del Catálogo plastigama.

SOLUCIONES PARA RIEGO PLASTIGAMA

ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC (U)

Especificaciones paras Tuberías con Unión por sellado elastomerico (UZ) y Unión por cementado solvente (EC) para riego.

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior	Espesor Nominal	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C	mm	mm	MPa	PSI (lb/pulg^2)	Kgf/cm^2
	20	17.8	1.1	1.25	181	12.75
		16.8	1.6	2.00	290	20.40
	25	22.8	1.1	1.00	145	10.20
		21.8	1.6	1.60	232	16.32
	32	29.8	1.1	0.80	116	8.16
		28.8	1.6	1.25	181	12.75
	40	37.8	1.1	0.63	91	6.43
		36.8	1.6	1.00	145	10.20
		36.0	2.0	1.25	181	12.75
50		47.4	1.3	0.63	91	6.43
		46.8	1.6	0.80	116	8.16
		46.0	2.0	1.00	145	10.20
		45.0	2.5	1.25	181	12.75
63		59.8	1.6	0.63	91	6.43
		58.8	2.1	0.80	116	8.16
		58.0	2.5	1.00	145	10.20
		56.8	3.1	1.25	181	12.75
75		72.0	1.5	0.50	73	5.10
		71.2	1.9	0.63	91	6.43
		70.2	2.4	0.80	116	8.16
		69.0	3.0	1.00	145	10.20
		67.6	3.7	1.25	181	12.75
90		86.4	1.8	0.50	73	5.10
		85.4	2.3	0.63	91	6.43
		84.2	2.9	0.80	116	8.16
		82.8	3.6	1.00	145	10.20
		81.2	4.4	1.25	181	12.75
110		105.6	2.2	0.50	73	5.10
		104.6	2.7	0.63	91	6.43
		103.2	3.4	0.80	116	8.16
		101.6	4.2	1.00	145	10.20
		99.6	5.2	1.25	181	12.75

Anexo N° 11. Pérdidas de carga en los accsesorios del catálogo plastigama.

SOLUCIONES PARA RIEGO PLASTIGAMA

PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS

Pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC.

DIÁMETRO NOMINAL		20	25	32	40	50	63	75	90	110	160	200
PÉRDIDAS DE CARGA							(m)					
TEE		0.70	0.80	0.90	1.50	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	3.60	5.00
CODO 90º		1.10	1.20	1.50	2.00	3.20	3.40	3.70	3.90	4.30	5.40	5.50
CODO 45º		0.40	0.50	0.70	1.00	1.30	1.50	1.70	1.80	1.90	2.60	3.50
CODO 90º L/R		0.40	0.50	0.60	0.70	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	2.10	2.60
CODO 45º L/R		0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.20	1.40
VÁLVULA CHECK		2.50	2.70	3.80	4.90	6.80	7.10	8.20	9.30	10.40	13.90	17.60
VÁLVULA DE BOLA		11.10	11.40	15.00	22.00	35.80	37.90	38.00	40.00	42.30	56.70	72.10
VÁLVULA DE COMPUERTA		0.10	0.20	0.30	0.40	0.70	0.80	0.90	0.90	1.00	1.20	1.40

Anexo N° 12. Precio del saco de maíz del ecuador según el periódico EL UNIVERSO emitido el 10 de enero del 2020.

Anexo N° 13. Producción por hectarea de maíz en el Ecuador según el periódico EL TELEGRAFO emitido el 17 de noviembre del 2018.

Domingo, 17 de mayo de 2020 · Síguenos: · el telégrafo · Ediciones

Este 2018 los maiceros cosecharán 5,86 toneladas por hectárea del grano

Redacción Tierra y Mar - 17 de noviembre de 2018 - 00:00

El Ministerio de Agricultura y Ganadería señala que en la actualidad se trabaja para alcanzar, en el corto plazo, la autosuficiencia en maíz, lo que implicaría incrementar rendimientos y reducir costos de producción.

Foto: Miguel Castro / El Telégrafo

El Ministerio de Agricultura estima que este año se sembraron 2,29% de extensión de terreno menos que en 2017, pero el aumento de la producción compensa. El precio que se maneja en el sector es de $ 13,50 por quintal.

En aproximadamente 15 o 20 días, Kléber Rendón iniciará la cosecha de sus **6 hectáreas de maíz amarillo duro** que tiene en el **cantón Balzar**, en la **provincia del Guayas**.

El productor mencionó que en esta **temporada de verano** obtendrá entre **140 y 150 sacos de maíz por hectárea**, cuando en invierno pasado logró entre 100 y 120 sacos/ha. Antes, en dicha época, cosechaba entre 150 y 160 qq/ha. Dicha reducción se debe a la presencia de **plagas y a la sequía** en su zona.

"En este verano vemos que la **cosecha** estará buena, ya que uno maneja el cultivo con riego controlado", señaló.

Sin embargo, una de sus preocupaciones **es el precio porque está bajo**. Rendón añadió que lo pagan a $ 10, en las condiciones que sale del campo; es decir, con 25% de humedad. Resaltó que los rumores es que se debe a las **importaciones**.

Lectura estimada: 5 minutos
Contiene: 966 palabras

Visitas: 7743

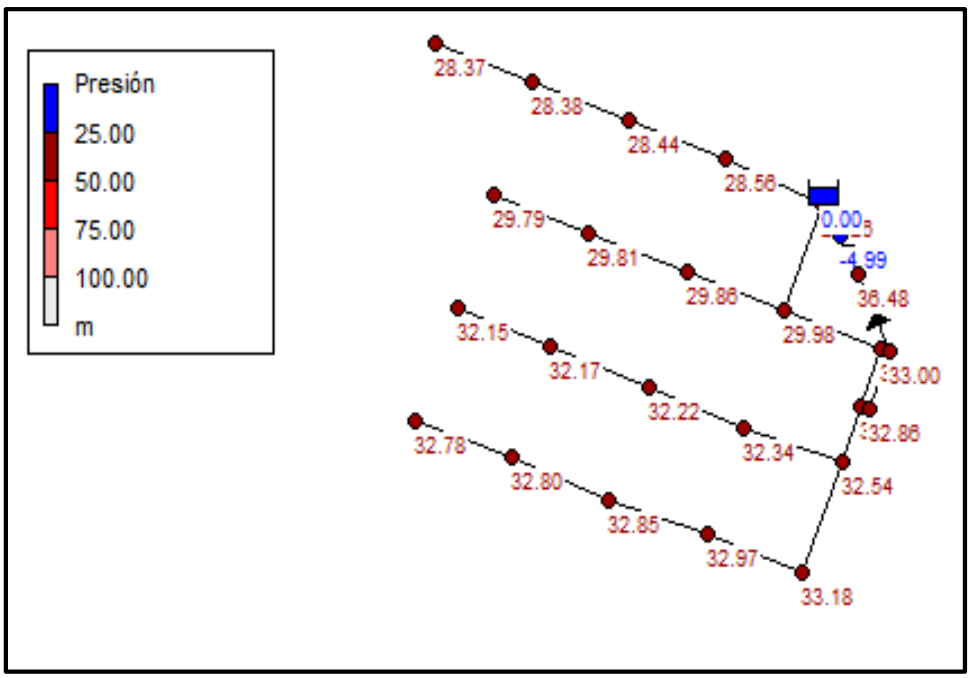
Tags: maiceros cosecha toneladas de grano mag Ministerio de Agricultura

Enlace corto: http://tiny.ec/v69

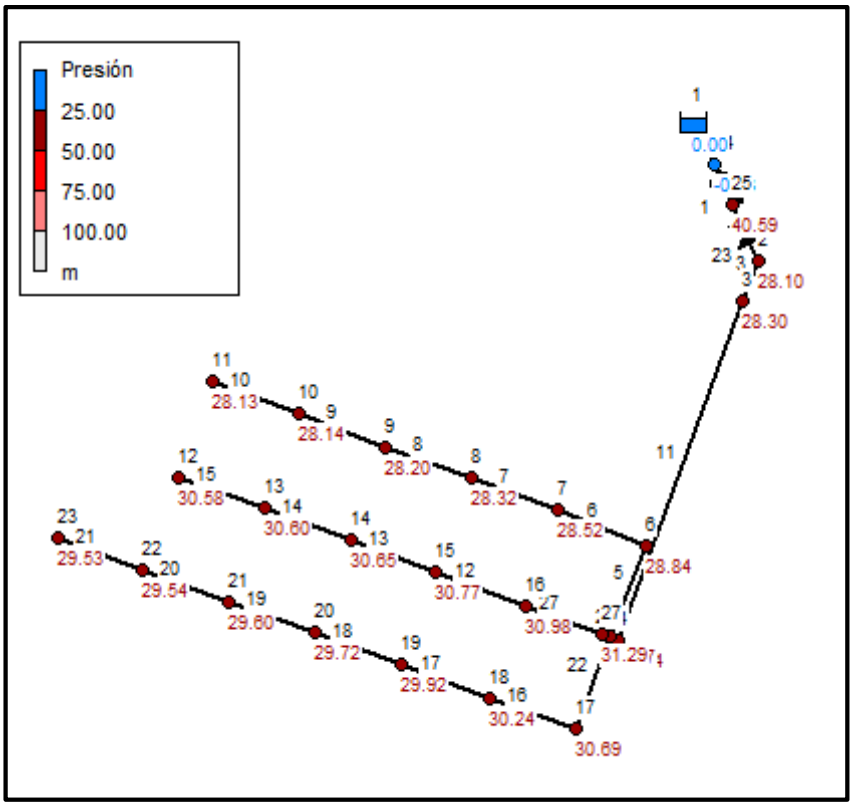
Anexo N° 14. Medición del canal de agua por medio del metodo flotador.

Anexo N° 15. Medición de la Altura por medio del instrumento llamado altimetro.

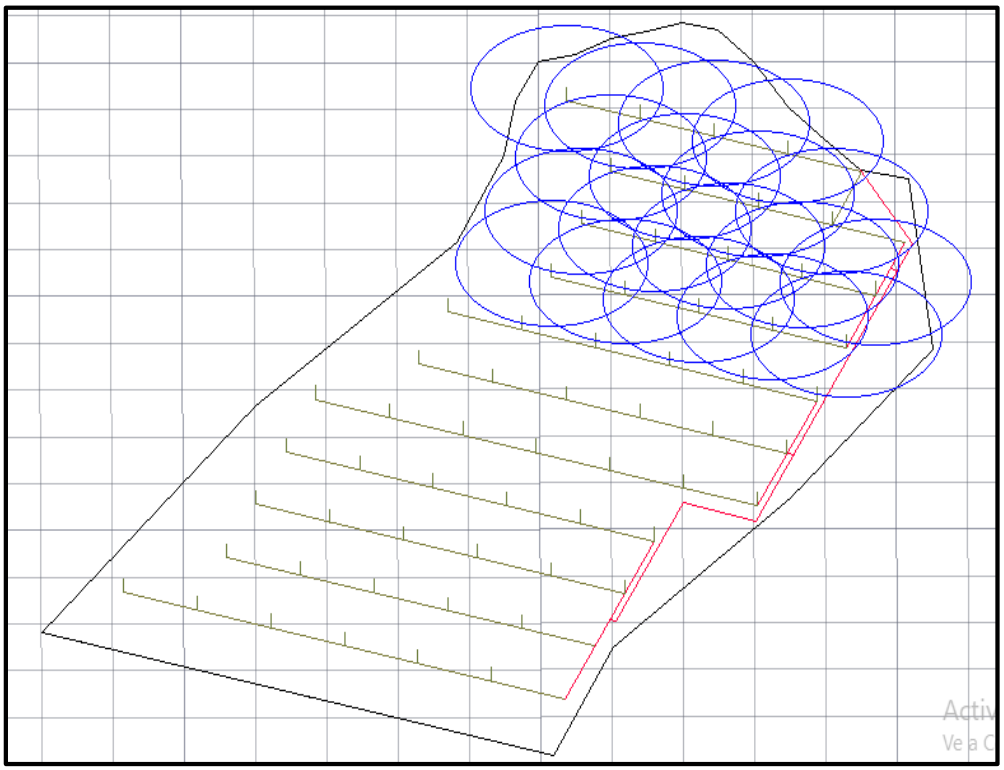
Anexo N° 16. Presión de salida de los aspersores en la parcela 1.



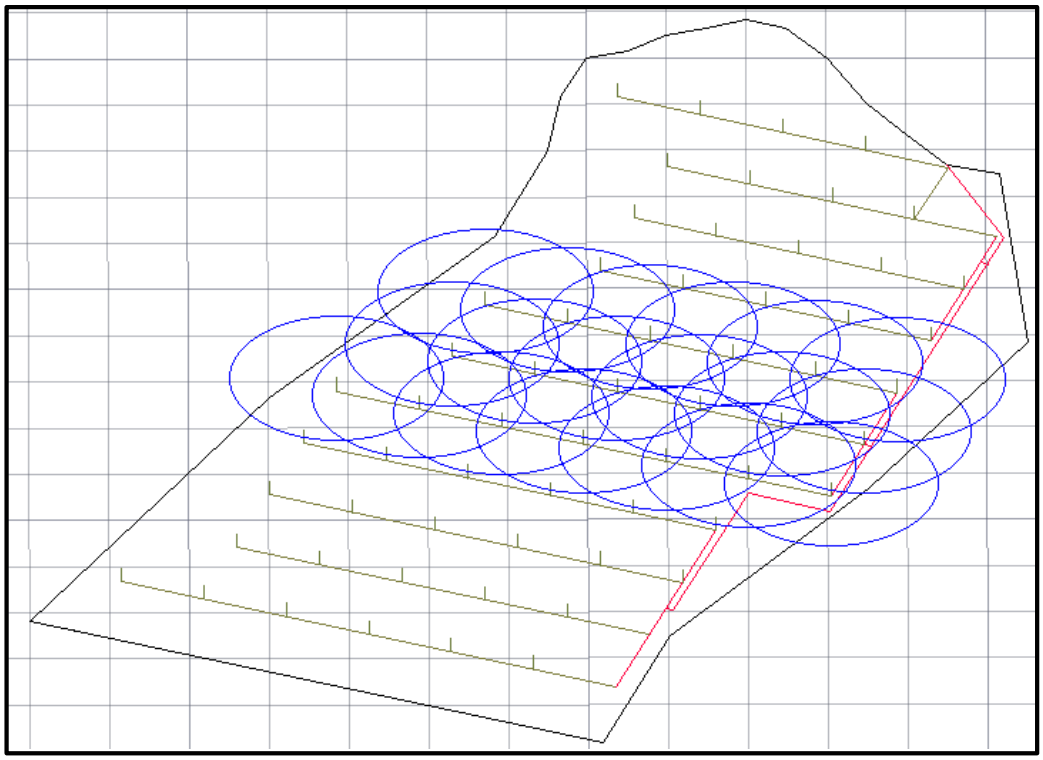
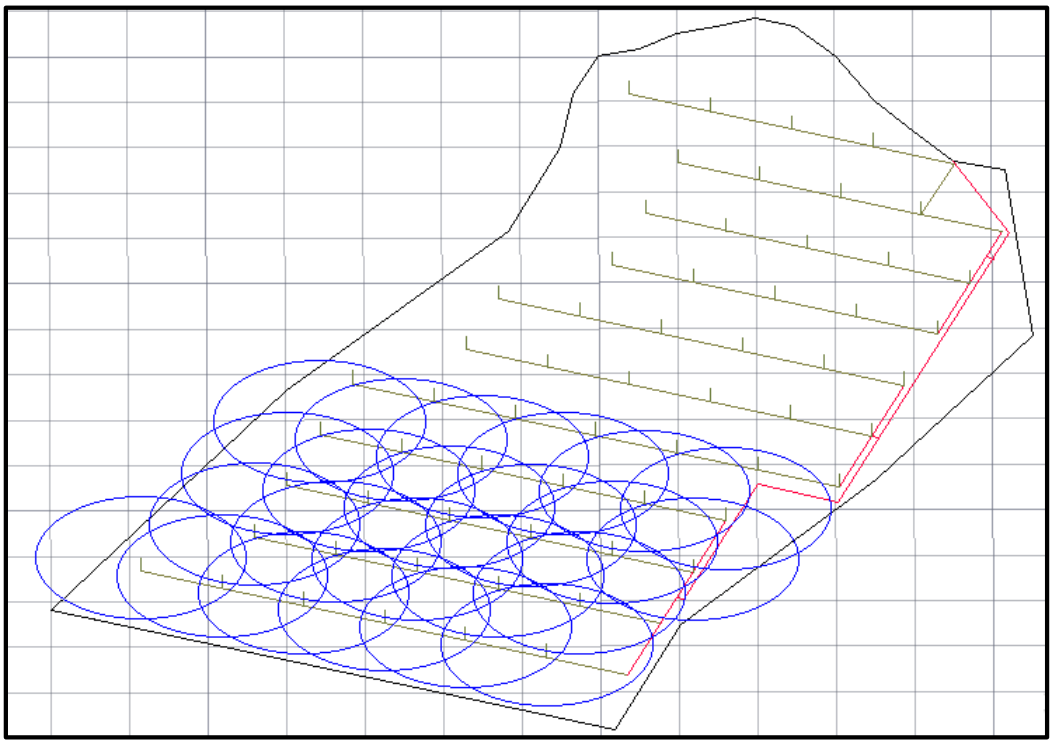
Anexo N° 17. Presión de salida de los aspersores en la parcela 2.



Anexo N° 18. Cobertura de riego de cada aspersor de la parcela 1.



Anexo N° 19. Cobertura de riego de cada aspersor de la parcela 2.



Anexo N° 20. Cobertura de riego de cada aspersor de la parcela 3.