



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE
RIEGO POR GOTEO PARCIAL, A CAMPO ABIERTO EN EL
CENTRO EXPERIMENTAL DEL RIEGO DE LA FACULTAD DE
RECURSOS NATURALES”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: KLEBER ALEXANDER CHULDE QUIRÓZ
TUTORA: ING. MERCEDES LETICIA LARA FREIRE

Riobamba – Ecuador

2017

@2017, Kleber Alexander Chulde Quiróz

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE RIEGO POR GOTEO PARCIAL, A CAMPO ABIERTO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DEL RIEGO DE LA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES”, de responsabilidad del señor Kleber Alexander Chulde Quiróz, ha sido revisado de forma minuciosa por los miembros del tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna E. DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
Ing. Mercedes Lara F. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
Ing. Wilson Zúñiga V. MIEMBRO DEL TRIBUNAL

“Yo, **KLEBER ALEXANDER CHULDE QUIRÓZ**, soy responsables de las ideas, doctrinas y resultados, expuestos en el trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**.

Kleber Alexander Chulde Quiróz

DEDICATORIA

A Dios, por darme sabiduría y fuerzas cada día, guiándome para salir adelante y cumplir mis sueños.

A mis padres Oswaldo Chulde y Digna Quiróz, que me han sabido brindar su amor y su apoyo en los momentos más difíciles de mi vida haciéndome un hombre de bien, les dedico con todo mi esfuerzo y cariño. A mi abuelita Rosario, que desde el cielo me cuida y protege en todo momento.

A mis queridos Abuelitos Emilio y Elvia, que siempre han estado pendiente de mí. A mis hermanos Nelson, Erika Y Adrián, que los son todo para mí, me han apoyado incondicionalmente toda mi vida.

A mis queridos tíos Piedad y José, que me han brindado su cariño y apoyo. A mis primos Jairo, Mayra, Tania, Karen que son como mis hermanos, que de una u otra forma siempre me apoyan y me dan ánimos para cumplir mis sueños, a toda mi familia por estar siempre en las buenas y malas.

A mis maestros, amigos Dexter`s Electrónicos quienes me han brindado su amistad y apoyo para lograr mi sueño.

Kleber

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme lograr una meta más en mi vida, a mis padres, hermanos y toda mi familia en general.

Agradecimiento fraterno, Ing. Mercedes Lara e Ing. e Ing. Wilson Zuñiga por brindarme sus conocimientos y a ayuda para culminar con éxito el trabajo de titulación.

A mi Escuela de Ingeniería Electrónica en control y Redes Industriales, Facultad de Recursos Naturales, Centro Experimental del Riego, Ing. Juan León, Ing. Paul B. e Ing. Segovia por la colaboración y ayuda para culminar con éxito tan arduo trabajo.

Kleber

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
TABLA DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xix
RESUMEN	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1	MARCO TEÓRICO.....	5
1.1	Automatización.....	5
1.1.1	<i>Tecnologías inmersas en la automatización.</i>	6
1.2	Sistema de riego	7
1.2.1	<i>Tipos de sistemas de riego.</i>	7
1.2.2	<i>Riego por goteo parcial.</i>	8
1.2.3	<i>Ventajas del sistema de riego por goteo.</i>	8
1.3	Línea de goteo	9
1.4	Emisores de riego por goteo (goteros)	9
1.4.1	<i>Goteros autocompensantes.</i>	10
1.4.2	<i>Goteros antidrenantes.</i>	10
1.4.3	<i>Goteros regulables</i>	10
1.5	Requerimientos de cultivos (láminas y frecuencias)	10
1.6	Fenología vegetal	11
1.7	Niveles y escalas de la automatización en sistemas de riego.	11
1.8	Automatización y telecontrol de las redes de riego.	12
1.8.1	<i>Centro de control y sistema SCADA.</i>	12
1.8.2	<i>Estaciones concentradoras.</i>	13
1.8.3	<i>Actuadores y sensores.</i>	13
1.8.4	<i>Medidores y sensores de nivel de agua.</i>	14

1.8.5	<i>Sensor de humedad</i>	16
1.8.6	<i>Sensor de lluvia</i>	17
1.8.7	<i>Sensor de temperatura</i>	17
1.8.8	<i>Sensor de ultravioleta</i>	18
1.8.9	<i>Electroválvula</i>	18
1.8.10	<i>Manómetros</i>	19
1.8.11	<i>Contadores o caudalímetros</i>	19
1.8.12	<i>Temporizador</i>	20
1.9	Cabezal de campo	20
1.10	Sistema de filtrado	20
1.10.1	<i>Tipos de filtros</i>	21
1.11	Red presurizada	22
1.11.1	<i>Equipo de bombeo</i>	22
1.12	Arduino	23
1.12.1	<i>Arduino como controlador lógico programable (PLC)</i>	24
1.12.2	<i>Arduino pro-mini</i>	24
1.13	Interfaz hombre máquina	24
1.13.1	<i>Interfaz gráfica (monitoreo por móvil)</i>	25
1.13.2	<i>Módulo Shield GSM/GPRS SIM900</i>	26
1.13.3	<i>APP Inventor</i>	27
1.14	Principios básicos del riego	27
1.14.1	<i>Consideraciones básicas de la relación suelo-agua-planta</i>	27
1.14.2	<i>Métodos para medir la humedad del suelo</i>	28
1.14.3	<i>Determinación del agua útil para el riego</i>	30
1.14.4	<i>Determinación de la lámina neta de riego</i>	30
1.14.5	<i>Determinación de la frecuencia de riego</i>	31
1.14.6	<i>Lámina bruta de riego</i>	31
1.14.7	<i>Cálculo del volumen de riego</i>	31
1.14.8	<i>Eficiencia de riego</i>	32
1.15	Propiedades físicas del clima y suelo de la parcela de cultivo de la Espoch	32
1.15.1	<i>Condiciones meteorológicas</i>	32
1.15.2	<i>Condiciones del suelo</i>	32

1.16	Método idóneo de suministro de agua en los cultivos de la	EsPOCH	33
1.17	Parámetros de la bomba de agua		36

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO		38
2.1	Fases de la implementación del proyecto		39
2.2	Ubicación del proyecto		39
2.3	Conexión de entradas y salidas del arduino plc		40
2.3.1	<i>Relación de salidas por relé al Arduino PLC.....</i>		41
2.4	Diseño del sistema eléctrico.....		41
2.4.1	<i>Circuito transmisor de datos.....</i>		41
2.4.2	<i>Conexión de modulo RF Apc200a a la tarjeta transmisora.....</i>		41
2.4.3	<i>Conexión de la PCB transmisora.....</i>		42
2.4.4	<i>Código de programación de la tarjeta transmisora.....</i>		42
2.4.5	<i>Diseño de PCB transmisora</i>		42
2.4.6	<i>Circuito receptor de datos.....</i>		44
2.4.7	<i>Conexión de modulo RF Apc200a a la tarjeta receptora.....</i>		44
2.4.8	<i>Conexión de la PCB receptora</i>		44
2.4.9	<i>Código de programación de la tarjeta receptora.....</i>		44
2.4.10	<i>Diseño de PCB receptora.....</i>		50
2.5	Programación de plc arduino (ardbox relay)		51
2.6	Alimentación PLC		52
2.6.1	<i>Sensores del sistema</i>		53
2.6.2	<i>HMI Serial.....</i>		53
2.6.3	<i>Comunicación RS-232.....</i>		53
2.7	Diseño del panel solar.....		54
2.7.1	<i>Radiación solar del sistema de generación fotovoltaico.</i>		54
2.7.2	<i>Incidencia de radiación solar</i>		55
2.7.3	<i>Posición e inclinación panel fotovoltaico.....</i>		55
2.7.4	<i>Selección de nuestro panel solar</i>		56
2.7.5	<i>Diseño del soporte para el panel poli-cristalino.....</i>		58
2.8	Dimensionamiento de conductores eléctricos		59
2.8.1	<i>Cálculo de conductor eléctrico para fase de control.....</i>		60
2.8.2	<i>Cálculo de conductor eléctrico para fase de DC.....</i>		62
2.8.3	<i>Conductores eléctricos utilizados en el sistema automatizado.....</i>		62

2.9	Selección del interruptor automático magneto-térmico	63
2.10	Selección del contactor	64
2.11	Selección de relé de sobrecarga térmico.	64
2.12	Esquema del circuito de mando.....	65
2.13	Distribución de canaletas y carril din	66
2.14	Distribución de los elementos de señalización y activación	66
2.15	Conexión de botonera, luces piloto, selector, botón de emergencia	67
2.16	Cableado de los elementos de control y potencia de tablero.....	67
2.17	Distribución de la pantalla para la interfaz hombre máquina (hmi) touch en el tablero	68
2.18	Tablero de control terminado.....	68
2.19	Implementación de interfaz hombre máquina (HMI)	69
2.19.1	<i>Ventana inicial de HMI</i>	70
2.20	Opción de funcionamiento automático	71
2.20.1	<i>Opción de monitoreo de sensores automático</i>	71
2.20.2	<i>Opción de monitoreo de actuadores automático</i>	72
2.20.3	<i>Opción de monitoreo de actuadores manual</i>	72
2.20.4	<i>Opción de información para manipular HMI</i>	73
2.21	Software mit app inventor 2	73
2.21.1	<i>Entorno de la Aplicación</i>	75
2.21.2	<i>Aplicación móvil terminada</i>	76

CAPITULO III

3.	RESULTADOS.....	77
3.1	Optimización del sistema	77
3.1.1	<i>Consumo de agua</i>	77
3.1.2	<i>Uniformidad de riego</i>	85
3.2	Mantenimiento del sistema automático de riego por goteo parcial implementado.	89
	CONCLUSIONES.....	98
	RECOMENDACIONES.....	99

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1-1. Propiedades químicas del suelo.....	33
Tabla 2-1. Propiedades físicas del suelo.....	33
Tabla 3-1. Propiedad de raíces, fracción de agua del suelo fácilmente disponible (f) y humedad fácilmente aprovechable (HFA), cuando ETP es 5-6 mm/día.....	33
Tabla 4-1. Contenido de humedad en el suelo por tratamiento.....	34
Tabla 5-1. Construcción del coeficiente de cultivo de papa.....	35
Tabla 6-1. Lámina y volumen de riego total para los tratamientos del cultivo de papa; variedad Victoria.....	35
Tabla 7-1. Rendimiento kg ha^{-1} para tres tratamientos del cultivo de la papa, variedad Victoria.....	35
Tabla 8-1. Índice del uso de agua de los cultivos para los tratamientos.	36
Tabla 9-1. Parámetros de la bomba de agua.....	36
Tabla 1-2. Características Arduino (ARDBOX RELAY).....	51
Tabla 2-2. Cálculo del panel.....	56
Tabla 3-2. Especiaciones del panel fotovoltaico.....	57
Tabla 4-2. Propiedades acero inoxidable 302(Fe/Cr18/Ni8).....	58
Tabla 5-2. Especificaciones técnicas conductores eléctricos.....	60
Tabla 6-2. calibre de conductores control, DC y AC.....	63
Tabla 7-2. Tipos de interruptores magneto-térmico.....	63
Tabla 8-2. Contactor compacto tripolar CWC0, 7 A hasta 22 A(AC-3).....	64
Tabla 1-3. Toma de mediciones de agua vertida por m^2	79
Tabla 2-3. Agua vertida por metro cuadrado.....	81
Tabla 3-3. Agua vertida por metro cuadrado.....	84
Tabla 4-3. Comparación desviación estándar en el consumo de agua.....	87
Tabla 5-3. Tarjeta de mantenimiento para el sistema de bombeo.....	89
Tabla 6-3. Tarjeta de mantenimiento para el sistema de filtrado.....	92
Tabla 7-3. Tarjeta de mantenimiento para la red de distribución.....	93

Tabla 8-3. Tarjeta de mantenimiento para los elementos de control.....	95
Tabla 9-3. Tarjeta de mantenimiento para el panel solar.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1-1. Sistema de riego por goteo automatizado.....	5
Figura 2-1. Dispositivos de las tecnologías de automatización.....	7
Figura 3-1. Jardín con sistema de riego por goteo.....	8
Figura 4-1. Tipos de goteros.....	9
Figura 5-1. Centro de control de riegos.....	13
Figura 6-1. Sensores y actuadores.	14
Figura 7-1. Sensor de nivel de punto (capacitivo).....	15
Figura 8-1. Sensor de nivel continuo (Ultrasónico).....	16
Figura 9-1. Sensor de humedad, módulos YL-69 e YL-38.....	16
Figura 10-1. Módulo ARDUINO Y-83, sensor de lluvia.....	17
Figura 11-1. Sensor de temperatura ARDUINO, DHT11.....	18
Figura 12-1. Sensor ultravioleta ARDUINO UVM30A.....	18
Figura 13-1. Tipos de electroválvulas.....	19
Figura 14-1. Manómetro.....	19
Figura 15-1. Cabezal de campo con válvulas hidráulicas instaladas.....	20
Figura 16-1. Bomba centrífuga de riego.....	23
Figura 17-1. Arduino UNO y Genuino UNO.....	23
Figura 18-1. Siemens Simatic Paneles HMI.....	25
Figura 19-1. HMI por medio de Arduino y Smartphone Android.....	26
Figura 20-1. Arduino UNO y módulo Shield GSM/GPRS SIM900.....	27
Figura 21-1. Sensores de humedad.	34
Figura 1-2. Etapas de la implementación del sistema automatizado.....	38
Figura 2-2. Método heurístico para la recolección de datos.....	39
Figura 3-2. Ubicación del Proyecto.....	40
Figura 4-2. Conexión entrada del PLC.....	40

Figura 5-2. Conexión de salidas por relé del PLC.....	41
Figura 6-2. PCB Layout placa transmisora.....	43
Figura 7-2. 3D Visualizer placa transmisora	43
Figura 8-2. Placa transmisora terminada.....	43
Figura 9-2. 3D Visualizer placa receptora.....	50
Figura 10-2. Placa receptora terminada.....	50
Figura 11-2. Diagrama de etapas de Control.....	52
Figura 12- 2. Mapa solar del Ecuador.....	54
Figura 13-2. Ángulo de rayos del sol.....	55
Figura 14-2. Inclinación panel fotovoltaico.....	55
Figura 15-2. Panel Solar.....	57
Figura 16-2. Diagrama de circuitos de mando.....	65
Figura 17- 2. Distribución de canaletas y carril Din.....	66
Figura 18-2. Elementos de Señalización y activación.....	66
Figura 19-2. Conexión de botonera.....	67
Figura 20-2. Cableado de tablero.....	67
Figura 21-2. Pantalla Nextion HMI.....	68
Figura 22-2. Vista interior del tablero.....	78
Figura 23-2. Vista exterior del tablero.....	69
Figura 24-2. Funcionamiento HMI.....	69
Figura 25-2. Ventana inicial HMI.....	70
Figura 26-2. Ventana de selección del tipo funcionamiento HMI.....	70
Figura 27-2. Funcionamiento modo automático HMI.....	71
Figura 28-2. Monitoreo automático sensores HMI.....	71
Figura 29-2. Monitoreo automático actuadores HMI.....	72
Figura 30-2. Monitoreo actuador manual HMI.....	72
Figura 31-2. Opción de información HMI.....	73
Figura 32-2. Software MIT App Inventor	74

Figura 33-2. Software MIT App Inventor 2.....	74
Figura 34-2. Entorno de la Aplicación.....	75
Figura 35-2. Programación en bloques de la App.....	76
Figura 36-2. Aplicación móvil terminada.....	76

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Páginas
Gráfico 1-3. Histograma del consumo de agua por metro cuadrado del sistema de riego inicial...80	
Gráfico 2-3. Histograma del consumo de agua por metro cuadrado.....84	
Gráfico 3-3. Gráfica de intervalos de los tratamientos.85	

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Páginas
Ecuación 1-1: Cálculo determinar el agua del suelo.....	29
Ecuación 2-1: Cálculo agua útil para el riego.....	30
Ecuación 3-1: Cálculo lámina de riego.....	30
Ecuación 4-1: Cálculo frecuencia de riego.....	31
Ecuación 5-1: Cálculo lámina bruta de riego.....	31
Ecuación 6-1: Cálculo volumen de riego.....	32
Ecuación 1-2. Caída de tensión del conductor eléctrico bifásico.....	59
Ecuación 2-2. Caída de tensión del conductor eléctrico monofásico.....	60
Ecuación 3-2. Tensión del conductor eléctrico.	61
Ecuación 1-3. Cálculo de la media aritmética.....	82
Ecuación 2-3. Cálculo de la desviación estándar.....	82
Ecuación 3-3: Tamaño de muestra.....	86
Ecuación 4-3: Coeficiente de uniformidad según HART.....	88

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Datasheet Apc200a

Anexo B. Rango de alcance, módulo de comunicación Rf

Anexo C. Protector de Tablero de control

Anexo D. Datasheet PLC Arduino

Anexo E. Calificaciones IP gabinetes

Anexo F. Parámetros sensor Rayos Uv

Anexo G. Controlador panel solar

Anexo H. Tubo estructural rectangular galvanizado

Anexo I. Señal móvil Ecuador 3G

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

HMI	Interfaz Hombre Maquina
PLC	Control Lógico Programable
FV	Fotovoltaico
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Continua
V	Voltaje
I	Corriente
P	Potencia
NC	Contacto Cerrado
NO	Contacto Abierto
CER	Centro Experimental del Riego
mm	Milímetros
cm	centímetros
m	Metro
°C	Grados Centígrados
Wh	Watios hora
NEXTION	Lenguaje de programación para HMI
cl	Centilitro
pH	Coefficiente de grado de acidez
GSM	Sistema global para las comunicaciones móviles

REUMEN

El objetivo de la presente investigación fue la implementación de un sistema automatizado de riego por goteo parcial, a campo abierto en el Centro Experimental del Riego de la Facultad de Recursos Naturales, mediante la utilización de sensores de temperatura, lluvia, humedad y rayos UV, se realizó el diseño e implementación de un sistema de automatización para el control y monitoreo del sistema de riego por goteo parcial a campo abierto, en conjunto con una interfaz hombre máquina idónea para la fácil manipulación del usuario. Mediante la recopilación de información de investigaciones realizadas en la institución se determinó el porcentaje ideal de humedad. Se calibró el sistema para que cumpla con el suministro de agua requerido, para la selección del modo automático o manual se consiguió poner a disposición del usuario un tablero de control y en tiempo real un sistema de monitoreo con red estándar de comunicación para la telefonía móvil (GSM) mediante una aplicación móvil para la visualización de información de los sensores del sistema. Se demostró mediante la automatización del sistema un ahorro de agua aproximado del 40% con respecto al modo de riego manual. El sistema automatizado tiene una eficiencia del 98% de aceptabilidad a diferencia del sistema manual. La implementación del sistema automático mejora la eficiencia del sistema de riego y permite ahorrar el recurso natural “agua”, siendo con ello una alternativa ecológica y sostenible. Es recomendable almacenar un historial diario de los datos arrojados por el sistema de monitoreo, con el fin de poder llevar a cabo un control estadístico que permita detectar cualquier anomalía, o en su caso mejorar la calibración posteriormente.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <ARDUINO (SOFTWARE–HARDWARE)>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <RIEGO POR GOTEO PARCIAL>, <SENSORES>, <INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA>, <GSM>.

ABSTRACT

The present investigation aimed at implementing an automated system of partial drip irrigation in the experimental center of irrigation of the Natural Resource Faculty using temperature, rain, humidity and UV ray sensor. The automation system was designed and implemented for the control and monitoring of a partial drip irrigation in open field along with an appropriate man-machine interface so that the user can handle it easily. From the institution investigation information gathering, the appropriate humidity percentage was determined. The system was calibrated to meet the water requirements. For the automatic or manual mode selection, the user was able to use a control board and a monitoring system with standard communication network for Global System for Mobile Communications (GSM) in real time using a mobile application to display the system sensor information. It was shown that 40% of water was saved using an automated system against the manual irrigation. The automated system has a 98% of acceptance against the manual system. The automation system implementation improves the efficiency of irrigation system and saves water; that is, it is an ecological and sustainable alternative. We recommend to keep daily data from the monitoring system to have a statistical control to detected errors or to improve the calibration later.

KEY WORD: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <AUTOMATED CONTROL TECHNOLOGY>, <ARDUINO (SOFTWARE-HARDWARE)>, <PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER>, <PARTIAL DRIP IRRIGATION>, <SENSORS>, <MAN-MACHINE INTERFACE>, <GSM>.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación es una aplicación de la automatización en el control y monitoreo del sistema de riego parcial por goteo de los cultivos de papa variedad victoria en la ESPOCH, logrando con ello un aporte tecnológico e investigativo en cuanto a los sistemas de riego automático, que con la aparición de la tecnología y constante búsqueda por mejorar los procesos productivos, cada vez tiene más auge en el medio. Haciendo uso de análisis técnicos de los requerimientos de la planta para que el sistema de riego automático diseñado sea lo más eficaz y óptimo posible, lo cual se consigue mediante sensores correctamente seleccionados para el monitoreo constante y en tiempo real del cultivo. El diseño de la interfaz hombre máquina también es parte del proyecto, con lo cual se consigue una mayor accesibilidad al monitoreo y control del sistema por parte del usuario. Los resultados obtenidos mediante la implementación del proyecto se evidenciarán haciendo uso de métodos estadísticos válidos, en los cuales se demuestre la mejora conseguida con la ejecución del sistema automático diseñado.

ANTECEDENTES

Los cultivos requieren de agua que es suministrada en forma natural por las precipitaciones o lluvias, sin embargo cuando estas escasean o cuando los períodos de máxima demanda de los sembríos no coinciden con las épocas de invierno, es necesario aportarla en forma artificial por medio de riego.

En todo el mundo se ha desarrollado el riego como una ciencia evolutiva, las mejoras y las técnicas han progresado, teniendo como prioridad el ahorro del agua, ahorro de energía y a gran escala los costos disminuyen, con un aumento importante de la producción. La implementación de estas técnicas ha ocasionado un incremento en la productividad en los cultivos haciendo eficiente el uso de los recursos y mejoras en la calidad de vida de las comunidades.

Jimmy Granda y Cristian López realizaron una tesis de grado titulada “ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO LOCALIZADO POR GOTEO Y EXUDACION, EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE LECHUGA, BAJO INVERNADERO” en la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador sede Ibarra, La presente investigación se fundamenta en estudiar el rendimiento en la producción del cultivo de lechuga al utilizar sistemas de riego, determinando el mejor sistema que contribuya a un mejoramiento de la productividad agrícola en zonas con déficit hídrico de la provincia y país.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Ayudará la implementación de un sistema automatizado de riego por goteo parcial, a campo abierto mejorar los estudios de requerimientos hídricos para los cultivos de papa variedad victoria en el Centro Experimental del Riego de la Facultad de Recursos Naturales?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué forma aportara a los campos de investigación la implementación de un sistema automatizado de riego por goteo parcial, a campo abierto en el Centro Experimental del Riego de la Facultad de Recursos Naturales?

¿Se podrá controlar el sistema de goteo parcial, mediante la automatización y una Interfaz Hombre Máquina?

¿Se logrará reponer el consumo de agua de la planta de acuerdo a su fenología o estado de desarrollo?

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación ostenta la implementación de un sistema automatizado de riego por goteo parcial a campo abierto, en el Centro Experimental del Riego lo que supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá a una mayor productividad, mejor uso del agua de riego. Esto se debe a sus características que lo define como un sistema moderno, controlado y económico.

En la actualidad el Centro Experimental del Riego - ESPOCH, no cuenta con un sistema automatizado de riego por goteo parcial a campo abierto que permita la irrigación óptima del agua en forma controlada con una zona de humedecimiento radicular, este proceso se lo realiza de forma manual, con lo que conlleva a un sistema ineficiente de riego por goteo que involucra gastos, recursos y una producción parcial.

Con la ejecución de este proyecto se pretende beneficiar a través del Centro Experimental del Riego (CER), beneficie los aprovisionamientos de agua que están muy limitados, logrando

obtener un notable aumento de producción utilizando la misma cantidad de agua que antes, además transferir los conocimientos generados a través de la investigación, a los usuarios de los sistemas de riego de la zona central del país, empleando métodos y técnicas de automatización apropiadas para sistemas de riego por goteo.

Además este sistema automatizado es indispensable para una cobertura total, esto quiere decir, que el sistema tiene una manera de riego individual o para un grupo de plantas, pero no se utiliza para el riego de todo el terreno.

La ubicación del agua en la proximidad de las plantas es a través de un número variable de puntos de emisión, de esta forma el agua puede llegar a diferentes plantaciones, ahorrando dinero, tiempo en su producción y menor evaporación de agua al ser un sistema de riego por goteo. El mismo que es eficiente gracias a su rendimiento en nivel de producción.

Con la finalidad de elaborar un adecuado diseño e implementación de un sistema automatizado de riego por goteo, en función a la adaptación del cambio climático, en el Centro Experimental del Riego - ESPOCH, que se adapte a las exigencias del proceso, se desarrollará un tipo de control para las electroválvulas, partiendo del análisis la variable humedad podemos efectuar una interfaz hombre máquina para controlar el tiempo de ejecución del proceso.

ALCANCE Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El proceso de riego parcial por goteo que se realiza está basado en la intervención de la automatización hacia su objetivo para proceder con su análisis, mediante la implementación de este tipo de sistema la uniformidad de riego parcial automatizada, repone el consumo de agua de la papa y ahorrando el recurso natural agua. En sembríos que son mayores a un área de 1000 metros, o tienen algún obstáculo en su área está limitado de comunicación, para tener cobertura en estos lugares se recomienda utilizar repetidoras para la comunicación.

OBJETIVOS

Objetivo General.

Implementar un sistema automatizado de riego por goteo parcial, a campo abierto, en el Centro Experimental del Riego de la Facultad de Recursos Naturales.

Objetivos Específicos.

- Estudiar los requerimientos de cultivos priorizados por CER para el método de riego por goteo parcial determinando láminas y frecuencias.
- Determinar los tipos de sensores, a utilizar en el sistema automatizado de riego parcial.
- Definir el proceso de automatización a campo abiertos en los cultivos de papa variedad victoria.
- Automatizar el sistema de riego por goteo para mejorar las láminas y frecuencias mediante una dosificación adecuada en tiempo real.
- Desarrollar la interfaz gráfica para monitoreo mediante una aplicación móvil, utilizando un módulo GSM.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Automatización

La automática puede entenderse como la interrelación de procedimientos y métodos que cumplen con la finalidad de reemplazar la acción de los operarios dentro de un proceso o una determinada actividad ya sea dentro de tareas netamente físicas, mentales, o una combinación de ambas, las cuales han sido programadas con anterioridad. De la definición de automática nace el concepto de automatización, el cual se describe como la introducción de la automática al mundo del control de los distintos procesos industriales.

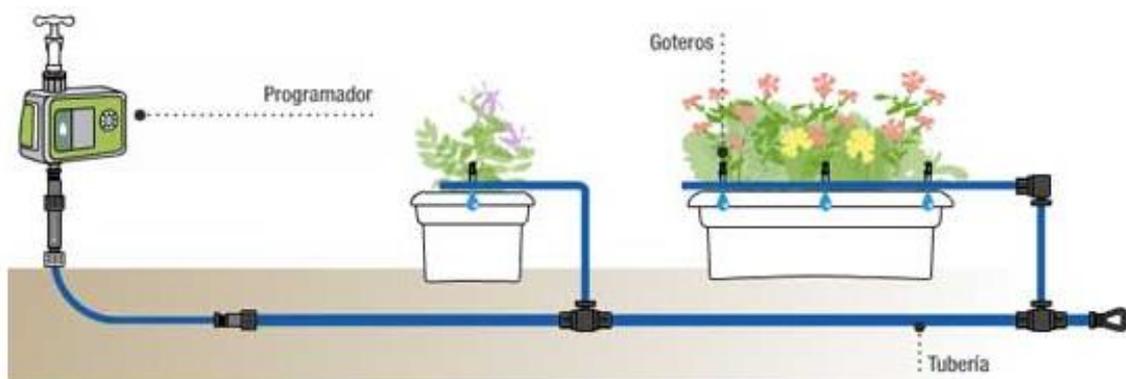


Figura 1-1. Sistema de riego por goteo automatizado

Fuente: (LEROY, 2016).

Ya sea en industrias de procesos o en industrias manufactureras, una de las metas a alcanzar es la optimización del proceso. La finalidad de esta meta es la reducción de los costes de producción como el mejoramiento de la calidad. Por tal motivo la automatización industrial ha jugado un rol sumamente importante en el funcionamiento de las industrias, pues permite la eliminación del error humano y la capacidad de efectuar tareas a velocidades mayores a las obtenidas tradicionalmente.

La aparición de los microprocesadores como parte vital de los controladores y paneles de control han incrementado el abanico de posibilidades que la automatización industrial es capaz de brindar.

Entre las ventajas que brinda la automatización al reemplazar a operadores humanos, es que se evita exponerlos a tareas de alta repetitividad que representen un riesgo ergonómico o a tareas de

alto riesgo de accidentes. También permite el incremento de los niveles de producción al reducir los el tiempo ocioso, por ende han sido beneficios que no se han podido dejar de lado, y toda gran empresa ha sabido aprovechar dichos beneficios.

1.1.1 Tecnologías inmersas en la automatización.

El desarrollo armónico de los procesos automatizados hace usos de la interacción entre distintas tecnologías, las cuales se seleccionan dependiendo de las necesidades del proceso en cuestión, las tecnologías que pueden verse inmersas son las eléctricas, electrónicas, mecánicas, hidráulicas y neumáticas. Siendo las tecnologías mecánicas las que poseen más antigüedad y constituyen un apoyo fundamental en la automatización de procesos, hace uso de distintos elementos como engranajes, poleas etc.

Las tecnologías neumáticas e hidráulicas hacen uso de los fluidos en estado gaseoso y líquido respectivamente, que mediante presión de los mismos se consigue la ejecución de determinado trabajo.

Las tecnologías eléctricas por su parte, hacen uso de una interacción entre relés contactores, mediante los cuales se consigue un control a través de lógica cableada. Ambos funcionan como intermediarios para abrir o cerrar circuitos y la diferencia entre ellos es que los contactores por ser más robustos son generalmente aplicados en la industria.

Finalmente las tecnologías electrónicas son actualmente un pilar fundamental de la automatización, tienen la particularidad de no funcionar por medio de una lógica por cableado como los casos anteriores sino hace uso de una lógica programable a través de los controladores lógicos programables también denominados PLC los cuales tienen un funcionamiento similar a los ordenadores. De esta tecnología cabe resaltar la subdivisión a tecnologías de comunicación industrial que cada vez ha tomado mayor importancia permitiendo que los dispositivos puedan comunicarse con el entorno, y las tecnologías de software que permiten una automatización programable, el control mediante sistemas SCADA y simulación.



Figura 2-1. Dispositivos de las tecnologías de automatización
Fuente: (Pardo Alonso, 2013).

1.2 Sistema de riego

Se puede entender por sistema de riego a la unión de elementos que facilitan determinar sectores de cultivo a los cuales es posible proveer del agua necesaria para cubrir con sus requerimientos hídricos, los elementos que compongan el sistema guardan estrecha relación con la técnica que se aplique para la dotación de agua.

Poseer un sistema de riego puede brindar una gran variedad de ventajas, por ejemplo permite la racionalización adecuada del agua disponible. La selección del sistema de riego amerita la realización de un estudio previo que compruebe que el sistema seleccionado sea el más idóneo, el mencionado estudio debe tomar en consideración como primer punto el tipo de cultivo, y partiendo de ese análisis se debe evaluar la técnica de distribución de agua que permita la obtención del mejor rendimiento. El estudio de la orografía, propiedades hídricas el suelo, de los cultivos, etc. Permiten distribuir adecuadamente los distintos instrumentos de control seleccionados para el sistema de riego.

1.2.1 Tipos de sistemas de riego.

Debido a que los sistemas de riego son considerados una tecnología de reciente aparición, que evoluciona conforme al desarrollo de la sociedad del bienestar, los tipos de sistemas de riego se encuentran en una constante revisión y la existencia de las denominadas zonas verdes han dejado ya de ser un lujo pues ahora se las considera como una necesidad, y los sistemas modernos de riego constituyen una herramienta de gran ayuda para mantenerlas.

Existe gran variedad de sistemas de riego y otras se encuentran en constante aparición, debido al avance de la tecnología y cambio de requerimientos, sin embargo se puede destacar entre ellas una clasificación principal de las cuales se ramifican las nuevas técnicas, entre los tipos de riego más destacados en la actualidad tenemos:

- Riego por goteo
- Riego hidropónico
- Riego por aspersión
- Riego por Microaspersión
- Riego por Nebulización

1.2.2 Riego por goteo parcial.

La principal particularidad que tiene un sistema de riego por goteo es que la distribución del agua es realizada de manera puntual, pues no hace uso de atomizadores, esto produce que en lugar de empapar todo el terrero cercano al punto de riego, solo una pequeña zona de riego sea humedecida, dejando las otras zonas aledañas fuera de la repartición de agua, entre los componentes necesarios para la conformación de este sistema, en muchas ocasiones amerita la instalación de válvulas que reduzcan la presión a un promedio que se encuentra entre los (0,5 a 2) Kg/cm². Además también requiere de un sistema de filtrado, pues el agua debe fluir por orificios pequeños a los cuales se denomina goteros, y no filtrar adecuadamente el agua produce la obstrucción de aquellos orificios.



Figura 3-1. Jardín con sistema de riego por goteo
Fuente: (SORIA Noticias, 2016).

1.2.3 Ventajas del sistema de riego por goteo.

Gracias a su técnica de distribución del agua en forma puntual, El ahorro que este sistema permite se encuentra en una media del 50% de agua en comparación con otros sistemas de riego, siendo

este un aspecto de gran importancia a tomar en cuenta, pues en la actualidad, la importancia de las tecnologías amigables con el medio ambiente.

Además de conseguir un ahorro significativo de agua, este sistema permite mantener un nivel constante de la humedad del suelo.

Mediante el riego por goteo es posible la aplicación de los distintos fertilizantes disueltos así como productos fitosanitarios de forma directa a las raíces de las plantas, asegurando con esto que aquellas sustancias suministradas sean de exclusivo consumo de la planta de interés, reduciendo con ello el crecimiento de plantas no deseadas, reduciendo con ello el mantenimiento que el cultivo requiere.

1.3 Línea de goteo

La conducción del agua en los sistemas de riego por goteo, se hace mediante tubería que posteriormente por medio de los goteros se encarga del suministro de agua a las plantas, esta parte del sistema es conocida como línea de goteo, y está diseñada y ubicada de forma que conduzca el agua a los puntos específicos en donde la planta lo requiere, es decir a su zona radicular.

1.4 Emisores de riego por goteo (Goteros)

Este componente denominado emisor o gotero, es quien establece en un gran porcentaje la capacidad del sistema, son utilizados como disipadores y dosificadores del agua, permitiendo regular y seleccionar el caudal entregado.



Figura 4-1. Tipos de goteros

Fuente: (Vegas, 2014)

Son el componente final del sistema de riego por goteo, la forma en la que el fluido abandona el sistema depende del tipo de gotero seleccionado, de los cuales se destacan tres tipos:

- Goteros autocompensantes
- Goteros antidrenantes
- Goteros regulables

1.4.1 Goteros autocompensantes.

Con este tipo de gotero se hace posible proporcionar al cultivo de un caudal fijo al tener un rango de presión más o menos elevado. Normalmente dentro de las líneas de goteo, al final se tiene una presión menor pues se dan pérdidas de energía en la tubería debido al rozamiento, los goteros autocompensantes permiten homogeneizar el riego a lo largo de la tubería.

1.4.2 Goteros antidrenantes.

Mediante los goteros antidrenantes es posible una optimización energética por parte de la bomba pues estos goteros evitan la entrada de aire al sistema al cerrarse con una disminución de presión, lo que permite que no sea necesario cargar inicialmente el sistema para dar inicio a su funcionamiento.

1.4.3 Goteros regulables

Tienen la particularidad de disponer de un mando mecánico que es capaz de regular el caudal suministrado a la planta.

1.5 Requerimientos de cultivos (láminas y frecuencias)

Mediante los distintos sistemas de riego, el objetivo es cubrir las necesidades tanto de agua como de nutrición mediante soluciones nutritivas que las plantas poseen. Como es bien conocido, el agua es un componente principal en la estructura de todo ser vivo y las plantas no son una excepción, se constituyen en promedio de un 90% a 95% de agua, el resto de su composición corresponde a cenizas que son las portadoras de los nutrientes de la planta.

A su vez el agua es el medio de transporte de los nutrientes, pues mediante ella se consigue que los nutrientes del suelo, lleguen a la zona radicular de la planta para ser absorbidos por la misma.

Con el fin de poder medir la cantidad de humedad requerida o suministrada, se han establecido dos términos importantes, lámina de agua y frecuencia de riego.

“Lámina de agua es la expresión del contenido de la humedad del suelo en términos equivalentes a altura de agua. Entre mayor sea la lámina a capacidad de campo, mayor es la disponibilidad de agua para las plantas y mayor la frecuencia entre riegos sucesivos” (Amézquita, 2012, pág. 218).

“Frecuencia de riego es el período de tiempo generalmente en días, que debe transcurrir entre la aplicación de un riego y la necesidad de volver a aplicar otro. Es variable en época de lluvias o de verano” (Amézquita, 2012, pág. 218).

1.6 Fenología vegetal

Se entiende por fenología al estudio de la relación que existe entre los factores ambientales, cambios climáticos y ciclos de los seres vivos con el estado biológico de las plantas, es decir que esta ciencia guarda estrecha relación con la meteorología y está basada en métodos de observación continua del entorno climático.

1.7 Niveles y escalas de la automatización en sistemas de riego

La aplicación de la automatización en los sistemas de riego, puede ser realizada en distintas escalas y niveles, refiriéndose por escala a la parte de la instalación en que es aplicada, por ejemplo, se puede hacer una automatización individual de riego en parcela, con el fin de determinar cantidades y tiempos de riego óptimos en función de una constante medición de valores de humedad o reparto de agua, esto se logra mediante la inserción de sensores, un programador y electroválvulas.

De igual manera otra escala es la automatización general de la red de regadío, misma en la que se efectúa tanto el hacer como el controlar y verificar.

Finalmente se puede realizar la automatización a una escala de regulación y control de un concreto sistema hidráulico, es decir en las estaciones de bombeo, las cuales buscan regular la presión y el caudal de tal forma que cubra los requerimientos de la red, en conjunto con un ahorro energético.

El nivel de automatización por su parte, se refiere al porcentaje de funciones asumidas por el sistema automático, lo cual se selecciona en busca de una optimización de los procesos, a menor costo posible. Se considera como el mínimo nivel de un sistema de riego automático al control de las válvulas para evitar dificultades ergonómicas de los operarios al regar las plantas. Y un máximo nivel por su parte, es el control y ejecución total, haciendo evaluaciones constantes tanto del estado de la planta como del medio ambiente que la rodea. Por tanto son niveles los que determinan la cualificación y cuantificación necesaria del personal que opere el sistema.

1.8 Automatización y telecontrol de las redes de riego.

La tecnología de telecontrol se ha implementado recientemente, en sus inicios se dio únicamente desde un punto de vista experimental, sin embargo gracias a sus múltiples beneficios, en la actualidad es aplicado cada vez a escalas más grandes. Mediante el telecontrol o telemando, es posible que las acciones de riego se lleven a cabo de forma programada y remota. Esta opción permite la modificación de los parámetros establecidos, de forma en que se puedan adaptar a las necesidades cambiantes producidas tanto por la planta según su etapa de desarrollo como por los factores medio ambientales.

1.8.1 Centro de control y sistema SCADA.

Los centros de control generalmente se componen de un servidor en el cual se puede visualizar y manipular parámetros del sistema, esto se logra por medio de software en el cual se maneja la tecnología SCADA (Control de supervisión y adquisición de datos), adicionalmente pueden disponer de un disco duro por medida de seguridad ante el riesgo de una rotura del principal y de sistemas SAI (Sistema de alimentación ininterrumpida) que permite tolerar caídas de tensión y cortes eléctricos.

Una característica que el sistema SCADA debe cumplir es la de flexibilidad para cambiar y mejorar adaptándose a las necesidades y requerimientos, también es importante que sea de fácil comprensión, manejando tanto lenguaje como simbología amigables para el usuario. Finalmente debe estar abierto para comunicación con otros servidores por medio de redes locales para facilitar

la gestión de riego. Un frontal de comunicaciones se hace posible la transferencia de datos a las estaciones concentradoras utilizando instrumentos físicos de comunicación, los cuales pueden ser fibra óptica, telefonía, cable, etc.



Figura 5-1. Centro de control de riegos

Fuente: (Ruiz Canales & Molina Martinez, 2011).

1.8.2 Estaciones concentradoras.

Son las encargadas de la ejecución de acciones, dando instrucciones a las electroválvulas con respecto a su activación, en continua comunicación con el centro de control que puede ser quien envíe la orden de apertura o cierre de válvulas. Así también se encarga de receptor y guardar datos relevantes del sistema de telecontrol que también son transmitidos al centro de control. Estas acciones se logran por medio de controladores lógicos programables (PLC), que en caso de recibir instrucciones por medio de la tecnología de telecontrol posee fuentes de energía propias para su funcionamiento autónomo.

1.8.3 Actuadores y sensores.

En cuanto a los sistemas de riego, los actuadores se encuentran en las electroválvulas de bajo consumo, mismas que se encargan de abrir o cerrar las válvulas hidráulicas para el paso del agua según se requiera. Es importante que el diseño tome en cuenta que las electroválvulas seleccionadas estén protegidas contra las condiciones del entorno a las que son expuestas como polvo, impurezas del agua, etc. Evitando así que se atasquen y queden imposibilitadas de cumplir su función. Como elementos de actuación, también se suele hacer uso de válvulas motorizadas para el accionamiento de las compuertas hidráulicas, etc.

En cuanto a los sensores involucrados en un sistema de riego automático se tiene a los contadores, funcionan mediante un emisor de pulsos que les permite hacer mediciones con respecto a la media del volumen de agua. También es usual encontrar transductores de presión ubicados en ciertos puntos del sistema hidráulico, esto permite verificar que los bombeos funcionen de manera adecuada.

Los detectores de paso permiten identificar fugas en la red hidráulica, así como los contadores totalizados y caudalímetros.

La inserción de otros dispositivos depende del nivel de automatismo del sistema de riego, que puede integrar al sistema sensores de nivel, sondas, dispositivos de detección agroclimática, etc.

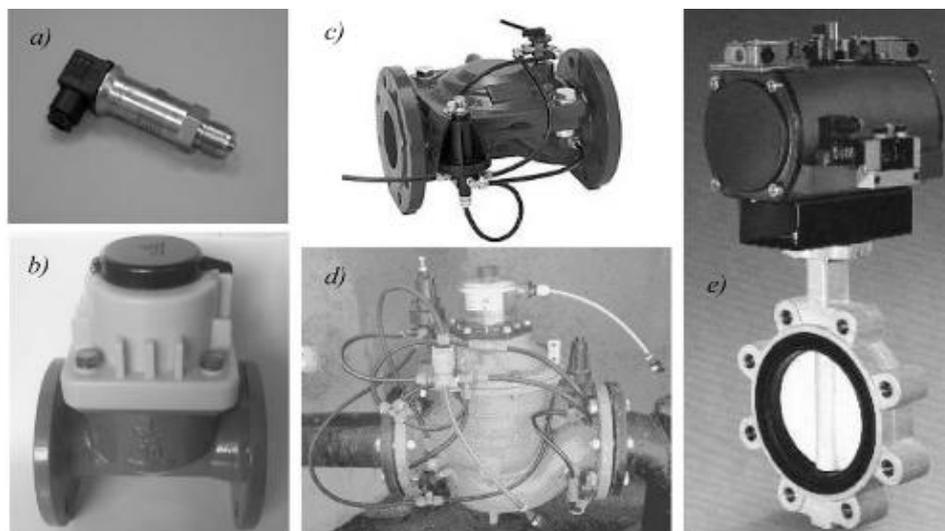


Figura 6-1. Sensores y actuadores; transductor de presión (a), contador de pulsos (b), electroválvula (c), válvula pilotada (d) y de mariposa motorizada (e)
Fuente: (Ruiz Canales & Molina Martinez, 2011).

1.8.4 Medidores y sensores de nivel de agua.

Cumplen la función de determinar la cantidad del fluido presente en un recipiente en un rango determinado, existen diferentes tipos de medidores que cumplen con esta función mediante un funcionamiento distinto por lo que a su vez la información de salida que otorgan también difiere en función del medidor seleccionado.

Por ejemplo, existen medidores de funcionamiento mecánico como el de boya, mismo que se puede encontrar en los tanques de los inodoros domiciliarios, generalmente estos provocan una acción mecánica al detectar cierto nivel de fluido, como el cierre de la válvula hidráulica.

Gracias a la tecnología en la actualidad ya no se cuenta únicamente con medidores de tipo mecánico como el descrito anteriormente, sino que también se dispone de medidores de funcionamiento electrónico, mismos a los que se les da el denominativo de “sensores”, ofrecen la ventaja de proporcionar sus señales de salida en cuanto a las mediciones de la altura de fluido, tanto analógica como digitalmente. Por su gran utilidad han sido incorporados a las industrias.

En cuanto a los sensores de nivel, existen dos clasificaciones principales de las cuales se ramifican las demás, estas son, sensores de nivel de punto y continuos.

Los sensores de punto dan señal en el momento de detectar que el nivel de fluido ha llegado a un punto determinado, de ahí su nombre, es común verlos colocados tanto en el lugar de nivel máximo del tanque, como en un nivel bajo, y la funcionalidad que se les da muchas veces es la de activar una alarma para identificar el momento en el que cierto nivel ha sido alcanzado.

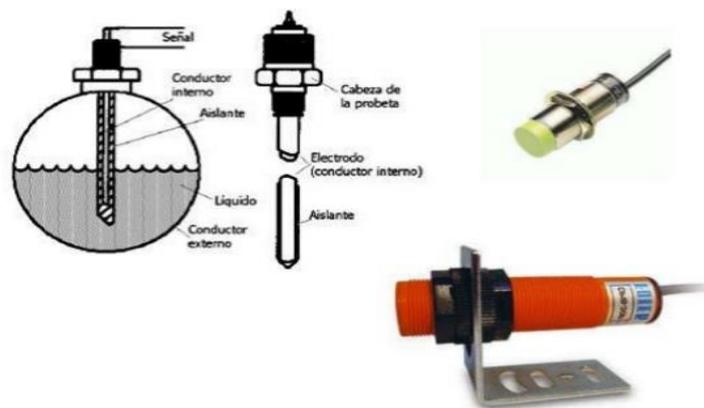


Figura 7-1. Sensor de nivel de punto (capacitivo)

Fuente: (Montalvo, 2012).

Los sensores de nivel continuo por su parte, obtienen una medición continua en tiempo real del nivel de fluido, es decir que otorga una medición actualizada de la altura del fluido, para lograr tal cometido, suelen estar vinculados a indicadores visuales, muy útiles en sistemas SCADA.

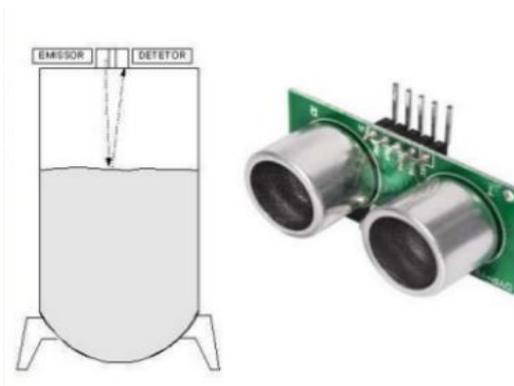


Figura 8-1. Sensor de nivel continuo (Ultrasónico)
Fuente: (Montalvo, 2012)

1.8.5 Sensor de humedad.

Muy utilizados en sistemas de riego automáticos, pues permite el control por parte del sistema del nivel de humedad del suelo, permitiéndole establecer el punto exacto en que la planta necesita de riego, y a su vez permite evitar exceder los niveles de agua requeridos por la misma.

En cuanto al funcionamiento de los sensores de humedad, están basados en un sistema de medición de conductividad del suelo. Por medio de dos electrodos se toma la medición, basándose en las propiedades conductivas del agua, a mayor nivel de humedad del suelo la conductividad detectada entre los dos electrodos será mayor, mientras que entre más seco se encuentre el suelo, se elevará la resistencia y la conductividad medida decaerá.

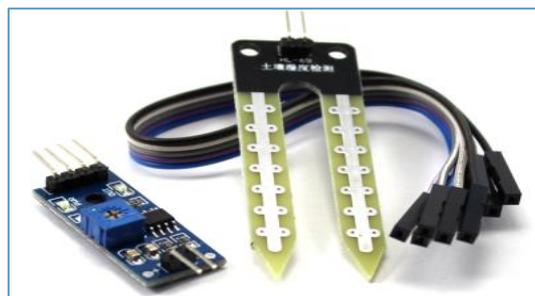


Figura 9-1. Sensor de humedad, módulos YL-69 e YL-38
Fuente: (Rodríguez, My Robot Self, 2016)

El módulo YL-38 es un complemento del YL-69, puesto que este último con sus dos puntas permite la transmisión de la corriente en función de la resistencia existente entre ellas y posteriormente el módulo YL-38 es quien recibe la señal de entrada y da una señal analógica y digital de salida.

1.8.6 Sensor de lluvia.

Tienen como función detectar precipitaciones de lluvia para cerrar las válvulas hidráulicas y evitar que el riego automático se dé a cabo, pues en todo cultivo es importante mantener un nivel óptimo de humedad.

Funcionan de forma similar a como lo hacen los sensores de humedad, es decir que detectan las variaciones de conductividad al tener contacto con el agua de lluvia, generalmente están compuestos por una placa que contiene varios electrodos o pistas conductoras, permitiendo que ante la presencia de lluvia, las gotas que entren en contacto con la placa, cierren el circuito entre los contactos y así el sensor detecte la presencia de lluvia.



Figura 10-1. Módulo ARDUINO Y-83, sensor de lluvia
Fuente: (García, 2014)

1.8.7 Sensor de temperatura.

Estos dispositivos tienen la capacidad de convertir las señales físicas producidas por las variaciones de temperatura en señales eléctricas para su post-procesamiento.

Suelen estar compuestos de un envoltorio formado por materiales altamente conductores de temperatura para así detectar cambios con la mayor brevedad posible, hay tres tipos principales de sensores, RTD, termopares y termistores.

Los termistores obtienen su medición por cambios en la resistencia de sus semiconductores por variación de la temperatura, los RTD utilizan metales como conductores siendo el más usado el

platino, y de igual manera obtiene sus mediciones por variaciones de resistencia de su conductor, finalmente los termopar o termocupla se compone por dos metales y su funcionamiento se basa en el principio de materiales termoeléctricos, a pesar de su extenso rango de medición y bajo costo de adquisición no son tan precisos como los RTD.

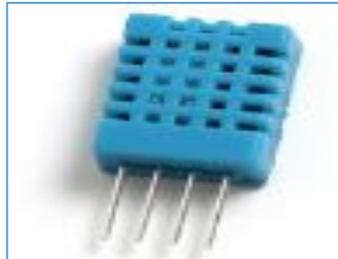


Figura 11-1. Sensor de temperatura ARDUINO, DHT11
Fuente: (DFRobot, 2015).

1.8.8 Sensor de ultravioleta.

Los rayos ultravioleta, son radiación de onda corta que los seres humanos no tenemos la capacidad de visualizar, poseen la capacidad de cambiar el estado de los átomos mediante un desplazamiento de sus electrones, a esto se le conoce como efecto ionizante. La mayoría de sensores de rayos ultravioleta, funcionan haciendo uso de esta propiedad ionizante, pues produce cierta cantidad de corriente en función de la radiación ultravioleta que percibe y realizando una medición de su voltaje es posible medir la cantidad de rayos ultravioleta presentes en el ambiente.



Figura 12-1. Sensor ultravioleta ARDUINO UVM30A
Fuente: (Ventura, 2016)

1.8.9 Electroválvula.

Las electroválvulas son elementos que con la recepción de señales eléctricas producen una acción mecánica para la apertura o cierre del paso de fluido en una determinada válvula hidráulica, esto lo logra mediante electromagnetismo en dispositivos denominados solenoides. Después de efectuar la acción de cambio de estado de la válvula hidráulica la forma en la que regresa a su

posición original puede ser muy variada, puede utilizar muelles como accionamiento mecánico o incluso otro solenoide, según los requerimientos del usuario.



Figura 13-1. Tipos de electroválvulas
Fuente: (ALTEC, 2014).

1.8.10 Manómetros.

Son instrumentos de medición, muy importantes en un sistema de riego presurizado, pues es importante obtener la medición de los valores de presión existentes en los tramos de la red que se considere, ya sea en el campo o en el cabezal. Los valores entregados por el manómetro corresponden a la diferencia de presión absoluta con la presión atmosférica, es decir la denominada “presión manométrica”

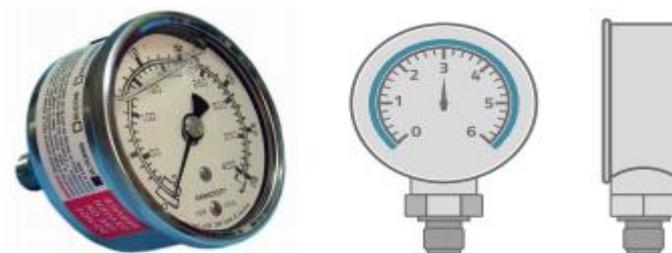


Figura 14-1. Manómetro
Fuente: (Liotta, 2015).

1.8.11 Contadores o caudalímetros.

También son instrumentos de medida, esta vez permiten la lectura del valor correspondiente al caudal o gasto volumétrico de un determinado fluido, en los sistemas de riego es común verlos instalados a la salida de los filtros, es decir en su cabezal. Existe gran diversidad de tipos tanto

mecánicos como eléctricos, no obstante el caudalímetro más comúnmente utilizado para estos sistemas es el Woltman.

1.8.12 Temporizador.

Son instrumentos de control muy usados en sistemas de riego automático, permite establecer tiempos que definen el funcionamiento del sistema, existen distintos tipos de temporizados, basando su funcionamiento tanto en mecanismos mecánicos como eléctricos, sin embargo en la industria los más ocupados son los relés temporizados que mediante una señal eléctrica inician su conteo y tras el tiempo programado proceden a cerrar el circuito por medio de relés, también existen temporizados totalmente electrónicos como son los presentes en los microcontroladores. Los temporizados pueden ser usados tanto como retardo a la conexión (TON) como retardo a la desconexión (TOF), dependiendo de las necesidades y programación del usuario.

1.9 Cabezal de campo

Los cabezales de campo se encargan de proporcionar del fluido de riego a las distintas líneas de riego, funcionan mediante la apertura y cierre de válvulas, estas pueden ser de mecanismos simples como las de tipo globo de acción manual, como también pueden ser de accionamiento hidráulico o eléctrico.



Figura 15-1. Cabezal de campo con válvulas hidráulicas instaladas
Fuente: (Liotta, 2015).

1.10 Sistema de filtrado

En todos los sistemas de riego puede ser de gran ayuda disponer de un sistema de filtrado, las impurezas del agua pueden ocasionar algunos inconvenientes, por ejemplo en un sistema de riego por goteo, las impurezas presentes en el agua puede atascar los goteros, impidiendo que entreguen el caudal y presión para los que han sido diseñados. También se pueden dar obstrucciones en las

líneas de riego, por lo que en el caso de no disponer de sistemas de filtrado, ameritará constantes acciones de mantenimiento. En tal virtud, la eficiencia del filtrado es un factor que determinará en gran medida la uniformidad de riego.

Pueden estar ubicados en varios puntos, lo cual depende de la extensión y dimensionamiento de las líneas de riego, líneas de riego extensas ameritará mayor cantidad de filtros, y sin lugar a dudas, el lugar más importante para la ubicación de un sistema de filtrado, es en la toma principal de agua, antes del ingreso a la red de riego.

1.10.1 Tipos de filtros.

La diferenciación entre el funcionamiento de los distintos tipos de filtro radica en la calidad de fluido que se dispone antes del filtrado, como la calidad que se deba obtener después del mismo.

Se puede tener desde barreras físicas sencillas, en los que se encuentran los filtros:

- Rejillas
- Decantadores
- Pre-filtradores

El sistema más simple es el de rejillas y es empleado en caso de querer separar del fluido elementos de gran tamaño. Los decantadores por su parte, son depósitos ubicados entre la fluctuación del fluido en donde pierde velocidad y por medio de un proceso de sedimentación, son separadas las impurezas. Finalmente los pre-filtradores son rejillas ubicadas en la zona de succión, separando impurezas y protegiendo así la integridad de la bomba.

También se puede tener filtros más eficientes y de funcionamiento más complejo, como por ejemplo:

- Hidrociclones
- Filtros de arena
- Filtros de malla
- Filtros de anillas

El funcionamiento de las hidrocuciones es tal como su nombre sugiere, por medio de una rotación en la circulación del agua que produce una fuerza centrífuga, las impurezas son expulsadas a las paredes del dispositivo, que las almacena en un acumulador de sedimentos. Los filtros de arena por su parte, están compuestos de una cama que contiene arena, por lo general sílice, la cual retiene las impurezas del fluido que la atraviesa, sin embargo amerita un arduo labor de mantenimiento mientras que los filtros de malla utilizan materiales metálicos o de plástico. Finalmente los filtros de anillas son generalmente utilizados en instalaciones pequeñas en sustitución de los filtros de arena que poseen un costo de adquisición más elevado, están compuestos de discos estriados que al colocarse juntos producen las aberturas necesarias para filtrar el agua.

1.11 Red presurizada

En los sistemas de riego por goteo, el transporte del agua se da por tubería y se descarga al suelo a través de los emisores o goteros. Por tanto para cumplir con esta función el sistema se encuentra presurizado puesto que la conducción del agua por la red requiere la aplicación de una presión determinada en función de los parámetros de diseño y requerimientos del sistema. Por tanto un elemento indispensable para conseguir la presurización de la red es la bomba, la cual se encarga de elevar la presión del fluido dentro del sistema.

A pesar de que este tipo de sistema requiere de consumo energético, mano de obra especializada y un buen diseño, se pueden destacar varias ventajas como el ahorro de agua en riego por goteo, uniformidad de aplicación mediante la regulación del caudal de salida, aumento de la capacidad de superficie bajo riego incluso en zonas de superficie irregular, posibilidad de fertiriego y automatización.

1.11.1 Equipo de bombeo

El componente principal es la bomba, pudiendo constituirse un sistema de bombeo por una o más según el diseño y potencia requerida, la selección de la bomba debe hacerse mediante un estudio previo y en conjunto con el dimensionamiento de la red presurizada, tomando en cuenta en los cálculos las pérdidas ocasionadas por la tubería, las bombas que son más comúnmente utilizadas en estos sistemas son las centrífugas por su alta eficiencia y su relativamente bajo costo de adquisición



Figura 16-1. Bomba centrífuga de riego
Fuente: (Liotta, 2015).

1.12 Arduino

Arduino es una plaqueta electrónica que hace la función de microcontrolador, está compuesto principalmente por un controlador programable de interruptores (PIC) y contiene a su vez los accesorios adicionales que el mismo necesita para llevar a cabo su funcionamiento, como condensador, cristal de cuarzo para estabilizar la frecuencia, puertos de entrada y salida etc. Además dispone de un software libre para su programación con una gran librería de programaciones preestablecidas.

No solo se encuentra en el mercado una gran variedad de plaquetas Arduino de distintos tamaños y capacidades que se adaptan a los requerimientos, sino también de instrumentos de control y medición que pueden ser adicionados, tal como: sensores de luz, de proximidad, de humedad, de temperatura, infrarrojos, dispositivos bluetooth etc. Lo cual permite tener a disposición una cantidad incontable de aplicaciones, tanto para el desarrollo de la tecnología como para la industria.



Figura 17-1. Arduino UNO y Genuino UNO
Fuente: (ARDUINO, 2017)

1.12.1 Arduino como controlador lógico programable (PLC).

Inicialmente una plaqueta Arduino está diseñada para componentes electrónicos, más no para control industrial, esto se debe a que las salidas de corriente que posee son de voltajes bajos y no posee las protecciones adecuadas para manejarse en grandes voltajes, no obstante después de unas pocas adaptaciones, es capaz de superar este inconveniente, esto se logra mediante la utilización de Relés, lo cual permite que la plaqueta con pocos voltajes de salida sea capaz de abrir o cerrar circuitos por donde se transporte altos voltajes.

Los controladores lógicos programables o por sus siglas (PLC) son un elemento fundamental de los sistemas autónomos de las industrias, sin embargo por los altos beneficios que ofrecen en la industria, se han convertido en accesorios de precio elevado, por tal motivo la aplicación de Arduino como PLC tiene cada vez más auge, pues es capaz de brindar los mismos beneficios a un costo de adquisición significativamente menos.

1.12.2 Arduino pro-mini

Arduino Pro Mini es una modificación del Arduino uno, con un diseño más compacto que permite una mayor flexibilidad para los usuarios que necesiten que el dispositivo ocupe un menor tamaño y a un menor costo.

Existen dos versiones, las cuales trabajan con voltajes diferentes, existe la típica placa Arduino de 5V y una de 3,3V, por lo que es importante seleccionarla bien en función de los accesorios que se le adicionará posteriormente. Este microcontrolador está fundamentado en ATmega328, cuenta con 14 pines de entrada/salida los cuales son digitales y 6 pueden ser utilizados como salidas PWN, 6 entradas son de funcionamiento analógico, cuenta también con un resonador abordo y botón de reinicio.

1.13 Interfaz hombre máquina.

También conocida por sus siglas (HMI). Permite la interacción del usuario con los procesos de control y ejecución autónomos. Hace posible la comunicación del programa informático con el hombre. La interfaz hombre máquina hace referencia tanto a software como hardware. No solo busca establecer comunicación del hombre con la máquina, sino también de que esta sea fácil de entender y lo más práctica posible.

En la industria son muy comunes las pantallas touch, estas son un claro ejemplo de HMI, pues las pantallas permiten la visualización de datos del sistema como la posibilidad de dar instrucciones para el usuario, de igual manera con los sistemas SCADA que hacen uso de uno o varios HMI como subconjuntos y todo dispositivo o sistema que permita la comunicación del usuario con el programa informático.

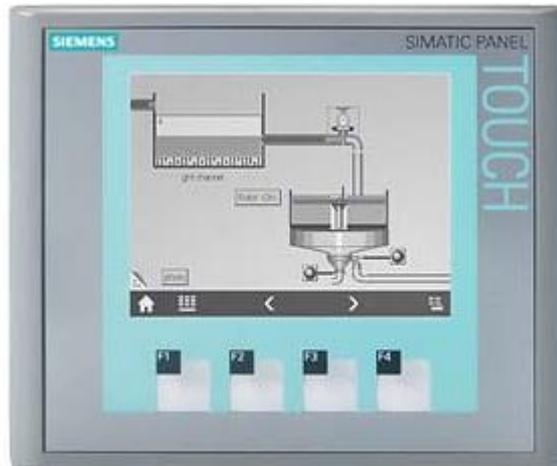


Figura 18-1. Siemens Simatic Paneles HMI
Fuente: (SIEMENS, 2013)

1.13.1 Interfaz gráfica (monitoreo por móvil)

Los Smartphone de la actualidad permiten una conexión HMI con procesos automáticos, ya sea por monitoreo, control o ambos, un ejemplo claro de la forma de realizarlo y que a su vez es la más ocupada en la actualidad es por medio del desarrollo de aplicaciones con Android en conjunto con Arduino, la comunicación puede hacerse mediante conexiones a servidores en la red o por bluetooth, según se requiera. Esta función permite monitorear e incluso controlar el sistema programado.

En un sistema de riego es posible el monitoreo del sistema, ya sea en cuanto al sistema, hidráulico, eléctrico, climatológico, condiciones del suelo, etc. Facilitando el control por parte del usuario para una mejora constante de la eficiencia del sistema, permitiendo así la posibilidad de sustituir costos componentes HMI, como pantallas touch, por Smartphone que en la actualidad la mayoría de personas posee.



Figura 19-1. HMI por medio de Arduino y Smartphone Android
Fuente: (Giltesa, 2012).

1.13.2 Módulo Shield GSM/GPRS SIM900

En cuanto a la comunicación que puede efectuarse entre el usuario y la tarjeta de control que dirige el proceso automatizado del sistema, se puede optar por varias vías, ya sea mediante Ethernet, bluetooth, Wi-Fi, no obstante gracias al desarrollo de la tecnología, actualmente también se dispone de otra opción como es la comunicación telefónica.

El módulo Shield GSM/GPRS basado en el módulo SIM900 permite la comunicación con ARDUINO a través de una tarjeta SIM, es compatible con toda la línea de Arduino UNO no obstante también es posible controlarla mediante microcontroladores. Su configuración se realiza mediante códigos AT por vía UART.

Conectando este módulo a Arduino, es posible realizar cualquier monitoreo o control vía telefónica, por ejemplo con el uso de mensajes de texto, lo cual es una opción muy útil para poder establecer comunicación con el sistema en cualquier momento, pues un teléfono móvil es algo de lo cual el usuario fácilmente puede disponer en cualquier momento.

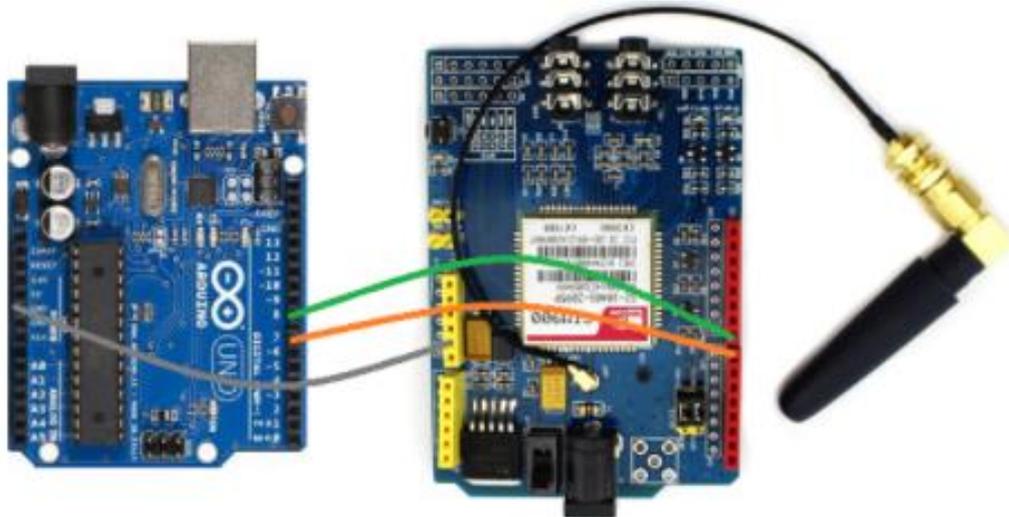


Figura 20-1. Arduino UNO y módulo Shield GSM/GPRS SIM900
Fuente: (PROMETEC, 2017)

1.13.3 APP Inventor

Esta herramienta permite la creación de programas en el sistema operativo Android, lo cual facilita gran variedad de posibilidades para cubrir distintas necesidades del usuario, no obstante en cuanto a lo que aplicaciones industriales se refiere, facilita la creación de una interfaz hombre máquina por medio de Smartphone. En resumen se puede entender a APP Inventor como un entorno de desarrollo de software el cual ha sido creado por parte de Google Labs.

El software hace uso de visualización por bloques para la programación, lo cual lo hace mediante la librería Open Blocks de Java, permitiendo con esto simplicidad en su uso.

A partir de este software es posible el desarrollo de una aplicación que sea capaz de comunicarse con el módulo Shield GSM/GPRS SIM900 para el monitoreo y control de la tarjeta Arduino por medio de mensajes de texto, completando con ello la comunicación necesaria en una interfaz hombre máquina.

1.14 Principios básicos del riego

1.14.1 Consideraciones básicas de la relación suelo-agua-planta.

Estar conscientes de la relación existente entre estos tres factores es de suma importancia para la producción agrícola, en muchas ocasiones, la lluvia no es suficiente para proveer del recurso

“agua” a los cultivos, de igual manera las condiciones del suelo podrían no ser las más óptimas en cuanto a retención de agua, por este motivo es que aplicar un estudio de la relación de estos factores, no tiene aplicación únicamente en regiones secas o áridas.

Los requerimientos de agua son diferentes dependiendo del tipo de cultivo, su suelo tiene características que varían de alguna forma el suministro de agua. La temperatura también puede jugar un factor importante, debido a que el nivel de evaporación también cambiará el requisito de agua del cultivo.

Las propiedades hidráulicas evaluadas en el suelo son:

- Porosidad
- Conductividad hidráulica
- Capacidad de retención de agua

1.14.2 Métodos para medir la humedad del suelo.

Existen varios métodos para determinar la humedad del suelo que cada vez han ido evolucionando a métodos más precisos. La mayoría de métodos consisten en medir ciertas características o propiedades del suelo que al afectarse por cambios en su nivel de humedad, son cambiadas o alteradas tanto cualitativa como cuantitativamente.

1.14.2.1 Método apariencia visual y táctil del suelo.

Uno de los métodos más antiguos que se utiliza para realizar una estimación del contenido de líquido del suelo. Se realiza mediante inspección visual y táctil y tiene la desventaja de no ser tan preciso, además de que solo debe ser ejecutado por personas con un alto nivel de experiencia.

1.14.2.2 Método gravímetro.

Para efectuar este método se debe extraer una muestra del suelo para posteriormente llevarlo a un proceso de desecación. Tanto antes como después de ingresar la muestra al horno, debe tomarse mediciones de su peso. Finalmente se determina el total de agua del suelo mediante la siguiente:

Ecuación 1-1: Cálculo determinar el agua del suelo

$$\%H = \frac{(PSH - PSS)}{PSS} * 100$$

Donde:

%H: Porcentaje de humedad por peso

PSH: Peso de la muestra húmeda

PSS: Peso de la muestra seca al horno a 105 °C por 24 horas.

1.14.2.3 Método del tensiómetro.

Este método tiene aparición gracias al avance de la tecnología, haciendo uso de instrumentos mide la tensión con la cual el agua está aglutinada a las partículas.

A mayor humedad presente en el suelo, el tensiómetro medirá cantidades cada vez más pequeñas de tensión, tales medidas son interpretadas posteriormente para obtener una relación con el porcentaje de humedad.

1.12.2.4 Método de medición de resistencia eléctrica.

A través de la medición de la resistencia eléctrica del suelo, también es posible determinar el porcentaje de humedad, debido a que el agua posee altas propiedades de conductividad eléctrica. Lo que produce que a mayor presencia de agua en el suelo, se pueda medir cada vez menos cantidades de resistencia eléctrica, y por medio de ello hacer una relación con el porcentaje de humedad.

1.14.2.5 Método de dispersión de neutrones.

Este método requiere de un emisor, que emite neutrones a gran velocidad y de alta energía en el suelo del cual se requiere obtener la medición del porcentaje de humedad. Las partículas que han sido expulsadas por el emisor, pierden velocidad al chocar con los átomos de hidrógeno del agua, y basándose en este principio, se hace posible la medición de la humedad.

1.14.3 Determinación del agua útil para el riego.

Ecuación 2-1: Cálculo agua útil para el riego

$$AU = (CC - PMP) * Da * z$$

Donde:

AU = Agua útil o lámina total de agua.

Z = Profundidad de la zona radicular

CC = Contenido de humedad a capacidad de campo (m^3/m^3)

PMP = Contenido de humedad a punto de marchitez permanente (m^3/m^3)

En el momento en que la planta no dispone de cantidades idóneas de humedad, inicia un proceso de marchitez en donde la planta pierde energía tratando de extraer el agua del suelo, esto no es conveniente para la producción vegetal. El estrés hídrico se hace evidente por medio del contenido de humedad intermedio o por el umbral entre el punto de marchitez y la capacidad de campo.

1.14.4 Determinación de la lámina neta de riego.

La lámina neta no es más que la cantidad de agua que puede ser extraída por la planta en el momento de requerir de agua, esta cantidad es posible calcularla mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3-1: Cálculo lámina de riego

$$Ln = umbral * AU$$

Donde:

AU = Agua útil o lámina total de agua (mm)

Umbral = umbral de riego (fracción)

Ln = Lámina neta

1.14.5 Determinación de la frecuencia de riego.

Una vez calculados los dos parámetros descritos anteriormente como son: la lámina de agua que el suelo tiene la capacidad de retener y el umbral de riego, se hace posible el cálculo de la frecuencia de riego, a través de la ecuación:

Ecuación 4-1: Cálculo frecuencia de riego

$$FR_{max} = \frac{Ln}{ETc}$$

FR_{max} es la frecuencia de riego máxima, la cual está en días y ETc es la evapotranspiración del cultivo, dada en (mm/día).

1.14.6 Lámina bruta de riego.

Se conoce como lámina bruta de riego a la lámina de riego que debe aplicarse al cultivo. La misma se calcula por medio de la ecuación:

Ecuación 5-1: Cálculo lámina bruta de riego

$$Lb = \frac{ETc * FR}{Ef}$$

Donde:

Lb = lámina bruta de riego (mm)

FR = frecuencia de riego (días)

ETc = evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Ef = eficiencia de aplicación del agua (fracción)

1.14.7 Cálculo del volumen de riego.

Finalmente el volumen de agua que se deberá a aplicar al cultivo, se extrae del desarrollo de la siguiente ecuación:

Ecuación 6-1: Cálculo volumen de riego

$$V_{riego} = Lb * \text{área}$$

1.14.8 Eficiencia de riego.

Todo sistema de riego produce pérdidas del recurso agua, ya sea que se dé durante el almacenamiento, transporte o distribución, y siendo que el agua es un recurso vital de suma importancia, es fundamental no desperdiciarla. Un manejo eficiente del agua debe preservar y conservar el recurso para garantizar sostenibilidad.

Considerar que todo sistema producirá pérdidas de este recurso, permitirá un correcto diseño de un sistema de riego.

1.15 Propiedades físicas del clima y suelo de la parcela de cultivo de la ESPOCH.

1.15.1 Condiciones meteorológicas.

Conforme a mediciones tomadas por la estación meteorológica de la ESPOCH es un periodo de diecisiete años. Se ha establecido que:

- La temperatura media mensual se encuentra en los 13,5 °C, la cual varía en pequeñas proporciones para el periodo de siembra octubre-abril, en donde se registra una temperatura media mensual equivalente a 13.7°C.
- La precipitación media anual de igual manera para el periodo de siembra, ha sido medida en 446,81 mm/periodo de siembra
- La humedad relativa medida para el periodo de siembra es equivalente a 77,74%.
- Finalmente la evaporación promedio para el periodo de cultivo es de 141,08 mm, y 83,55 mm para otros ciclos.

1.15.2 Condiciones del suelo.

Conforme a los resultados de las investigaciones realizadas en el suelo de la parcela de interés, se han extraído distintas características del suelo.

Cualitativamente se sabe que el suelo es franco-arenoso y posee una densidad aparente de 1,55 g/cm³.

Cuantitativamente se expresan algunas propiedades del suelo en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1. Propiedades químicas del suelo.

Profundidad	pH	Nh4	P	S	K	Ca
(cm)		ppm	ppm	ppm	meq/100ml	meq/100ml
0-30	7,6	60 M	73 A	9,8 B	0,92 A	5,30 M
Profundidad	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
(cm)	meq/100ml	ppm	ppm	ppm	Ppm	(ppm)
0-30	3,30 A	0,6 B	3,8 M	35,0 M	2,7 B	1,30 M

Tabla 2-1: Propiedades físicas del suelo

Tabla 2-1. Propiedades físicas del suelo

Textura del suelo	Total de espacio poroso o porosidad total (%)	Densidad aparente D_{ap} (gr/cm³)	Capacidad de campo θ_{mcc} (%)	Marchitez permanente θ_{pmp} (%)	Total humedad aprovechable		
					Peso seco $(\theta_{mcc} - \theta_{pmp})$ (%)	Volumen $(\theta_{mcc} - \theta_{pmp}) * D_{ap}$ (%)	Cm/m
Franco Arenoso	43 (40-47)	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	12 (9-15)

Fuente: (Vásquez & Vázquez, 2012)

Tabla 3-1: Propiedad de raíces, fracción de agua del suelo fácilmente disponible (f) y humedad fácilmente aprovechable (HFA), para diferentes texturas y cultivos, cuando ETP es 5-6 mm/día

Cultivo	Prof. Raíces (m)	Fracción de agua fácilmente disponible en el suelo (f)	Humedad fácilmente aprovechable para diferentes texturas (mm/m)		
			Fina	Mediana	Gruesa
Papa	0.4-0.6	0.25	50	30	15

Fuente: (Vásquez & Vázquez, 2012)

1.16 Método idóneo de suministro de agua en los cultivos de la ESPOCH

Se han llevado a cabo investigaciones para determinar un método de suministro de agua idóneo, tal como se menciona en los antecedentes del presente documento. Esta información es de suma

utilidad para el proyecto, pues da las directrices a seguir para regular el suministro de agua del sistema automático.

La investigación se llevó a cabo mediante diseño experimental, en el mismo se analizaron tres métodos diferentes o “tratamientos”. Cada uno de ellos busca establecer el punto idóneo en el que se deberá reponer el agua consumida, el primer tratamiento evaluado hace uso de un consumo de agua útil del 10%, el segundo tratamiento usa un 50% y el último tratamiento tiene un consumo de agua útil del 75%

En la Tabla 4-1. Se muestra el contenido de humedad en el suelo para cada tratamiento.

Tabla 4-1. Contenido de humedad en el suelo por tratamiento.

Tratamiento	Variable	Contenidos de humedad en el suelo
T1	Reposición de agua de riego cuando consume el 10% de agua útil	13.3 %
T2	Reposición de agua de riego cuando consume el 50% de agua útil	10.5%
T3	Reposición de agua de riego cuando consume el 75% de agua útil	8.75%

Fuente: (León Ruiz, Benalcazar, Segovia, & Cevallos, 2017)

En cada tratamiento del experimento se usó un riego promedio de:

- 17.16 l/m² para el tratamiento 1.
- 24.42 l/m² para el tratamiento 2.
- 28.40 l/m² para el tratamiento 3.

Para las mediciones de humedad se hizo uso de los sensores de la Figura 20-2



Figura 21-1. Sensores de humedad.

Fuente: Kleber Chulde, 2017

Sensores ubicados a 30cm de profundidad del suelo, se lo llevo a capacidad de campo tratamiento que repone 10% de agua útil que fue consumida por el área de las raíces y con el contenido humedad a 30 cm respectivamente, las mediciones de humedad fueron realizadas directamente en el tratamiento T1 y apoyado con los sensores de humedad.

Método gravimétrico, Tensiómetro

$$\%H = \frac{(PSH - PSS)}{PSS} * 100$$

%H: Porcentaje de humedad por peso.

PSH: Peso de la muestra húmeda.

PSS: Peso de la muestra seca al horno a 105°C por 24h.

Tabla 5-1. Construcción del coeficiente de cultivo de papa

Etapa	Inicial	Desarrollo	Intermedia	Final
Longitud (días)	45	30	70	20
Tiempo desde día de siembra (días)	45	75	145	165
Kc	0.49		1.18	0.76

Fuente: (León Ruiz, Benalcazar, Segovia, & Cevallos, 2017)

Tabla 6-1. Lámina y volumen de riego total para los tratamientos del cultivo de papa; variedad Victoria.

Tratamiento	Frecuencia de riego	Número de riegos	Lámina aplicada	Precipitación efectiva	Lámina total	Volumen / ha
	(Dias)	(Unidad)	(mm/m2)	(mm)	Riego precipitación +	m3/ha
T1	4	12	205.95	154.4	360.35	2059.49
T2	6	8	195.35	154.4	349.75	1953.47
T3	7	6	170.38	154.4	324.78	1703.76

Fuente: (León Ruiz, Benalcazar, Segovia, & Cevallos, 2017)

Tabla 7-1. Rendimiento kg ha⁻¹ para tres tratamientos del cultivo de la papa, variedad Victoria.

Tratamiento.	Promedio Planta (kg)	Rendimiento Tn/ha	Primera categoría.	Segunda categoría.	Tercera categoría.
T1	1.36	41.94	60%	26%	14%
T2	1.11	32.59	66%	24%	10%

T3	1.29	36.27	70%	23%	7%
-----------	------	-------	-----	-----	----

Fuente: (León Ruiz, Benalcazar, Segovia, & Cevallos, 2017)

Tabla 8-1 Índice del uso de agua de los cultivos para los tratamientos.

Tratamiento	Tn/ha	Eto	kg/ha/mm
T1	41.94	32.7	1.28
T2	32.59	32.7	1.00
T3	36.27	32.7	1.11

Fuente: (León Ruiz, Benalcazar, Segovia, & Cevallos, 2017)

Finalmente el experimento concluyó que el índice de eficiencia en el uso del agua de los cultivos es mayor en el tratamiento 1 con 1.28 kg/ha/mm en comparación al tratamiento T3 y T2; los cuales arrojaron un índice de uso de agua del cultivo de 1.11 y 1 kg/ha/mm respectivamente.

El volumen total de agua aplicado en el primer tratamiento fue de 2059,49 m³/ha mientras que en el segundo tratamiento T2 se aplicó 1953.47 y el T3 1703.76 m³/ha respectivamente.

1.17 Parámetros de la bomba de agua

La bomba que el sistema de riego de la ESPOCH posee no forman parte del diseño de riego del presente proyecto debido a que se hará uso de la bomba que actualmente se encuentra en funcionamiento, por tal motivo se ha visto conveniente especificar los parámetros de funcionamiento que esta posee, mismas que se aprecian en la Tabla 9-1.

Tabla 9-1 Parámetros de la bomba de agua

Parámetro	Característica
Marca	Weg
Potencia	2,238 Kw - 3 Hp
Voltaje	127 V-220 V
Corriente	28.0-16.20 A
Rendimiento 127 V	80%
Capacitancia	480 uF
Frecuencia	60 Hz
Modelo	MSL 1J

Factor de Potencia	0,76
Protector Térmico	Si

Realizado por: Kleber Chulde 2017.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se detalla la implementación de sistema automatizado de riego por goteo parcial a campo abierto, tanto de los sistemas de hardware: circuitos eléctricos, electrónicos, diseño de PCB, ensamblaje de tablero e control, sistema panel solar. Software: programación de Arduino PLC, placas controladoras esclavo maestro, interfaz hombre máquina y desarrollo de aplicación móvil. En la Figura 1-2. Se encuentra detalladas las etapas de implementación del sistema planteado.

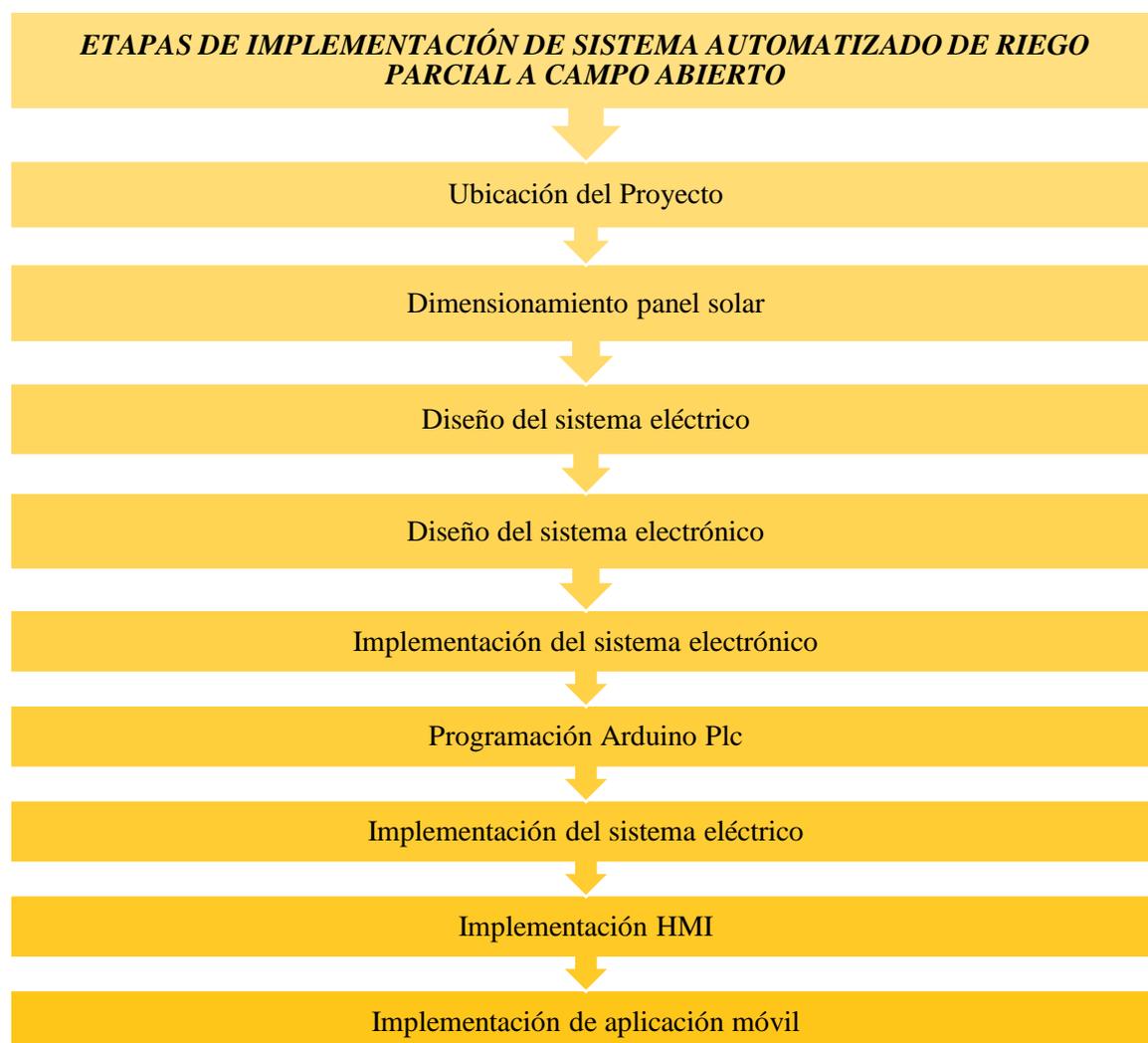


Figura 1-2. Etapas de la implementación del sistema automatizado.
Realizado por: Kleber Chulde, 2017.



Figura 2-2: Método heurístico para recolección de datos.
 Realizado por: Kleber Chulde, 2017

Para la implementación del proyecto se aplicó con el método heurístico, también conocido como “ideal” que mediante reglas empíricas, se llega a una solución que consiste en imaginar, crear, innovar mediante pasos aplicables, para la solución de problemas.

2.1 Fases de la Implementación del Proyecto

Para la implementación del proyecto se trabajara en aspectos de hardware y software como: diseño y dimensionamiento del sistema eléctrico, implementación de panel solar, tablero de control, programación de Arduino PLC, HMI, aplicación móvil y estructura para campo abierto.

2.2 Ubicación del Proyecto

La institución donde se va a instalar el sistema es, La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, en el Centro Experimental del Riego. Ubicada en la provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba dirección panamericana sur km 1 ½.

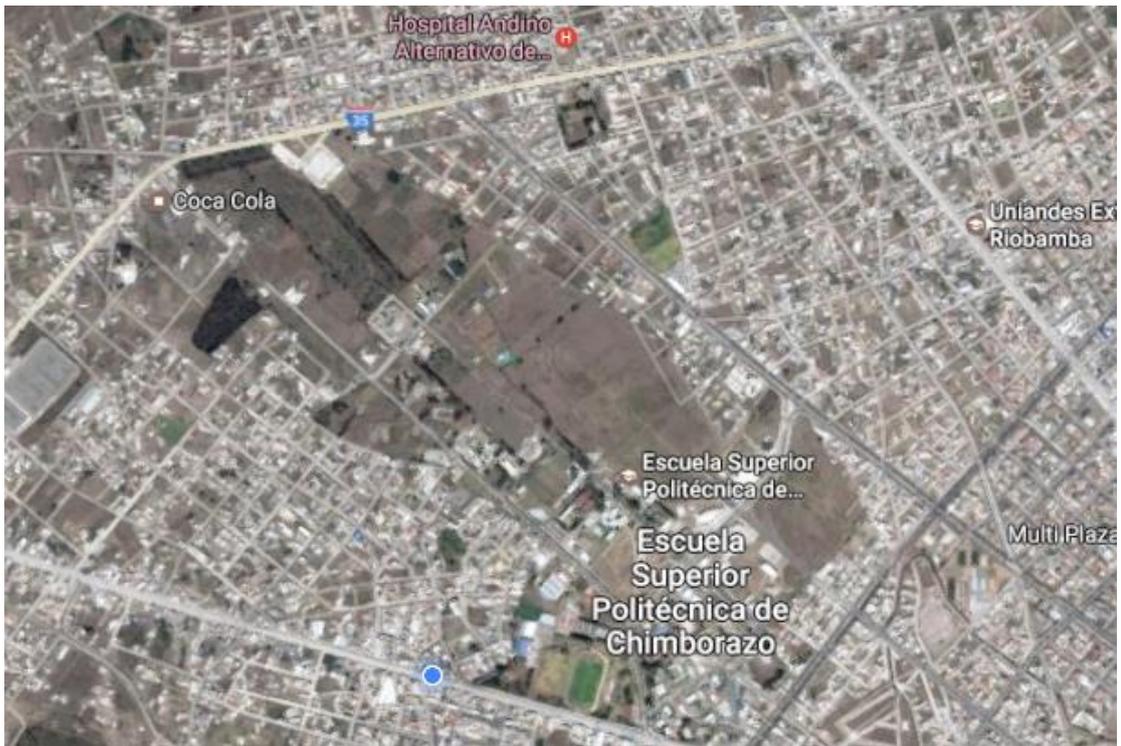


Figura 3-2: Ubicación del Proyecto

Fuente: Google maps

2.3 Conexión de entradas y salidas del Arduino PLC

Como se muestra en la Figura 4-2. Los diagramas de conexión de entradas y salidas de Arduino PLC.

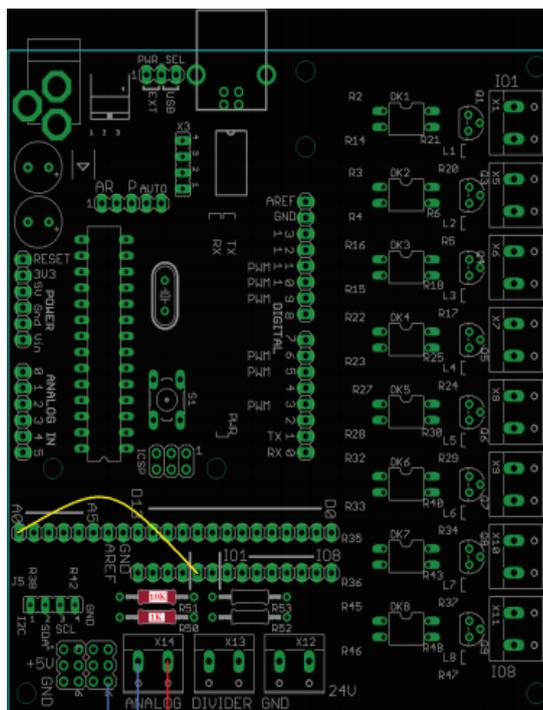


Figura 4-2: Conexión entrada del PLC

Fuente: (Rodríguez, Conexiones Arduino, 2014)

2.3.1 Relación de salidas por relé al Arduino PLC.

La configuración de conexión de salidas por relé del PLC se muestra a continuación.

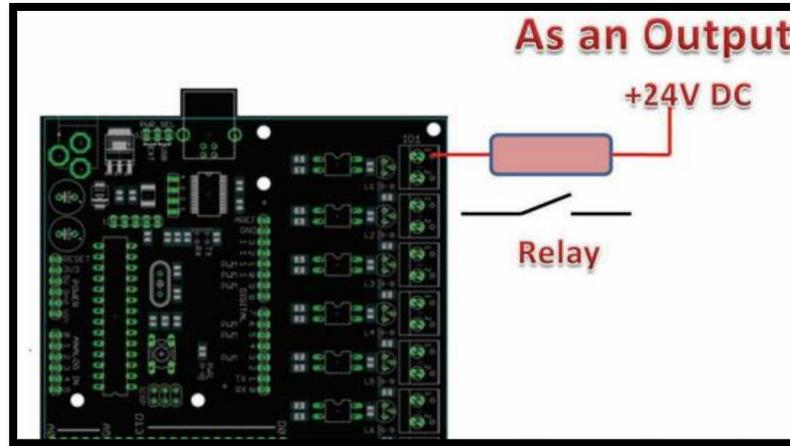


Figura 5-2: Conexión de salidas por relé del PLC
Fuente: (Rodríguez, Conexiones Arduino, 2014)

2.4 Diseño del sistema eléctrico

2.4.1 Circuito transmisor de datos.

La placa PCB se encarga de transmitir los datos de dos sensores de humedad para detectar la humedad par e impar del sembrío de papa, por medio de módulos RF, también incluye una fuente reguladora de voltaje, controlador del panel solar, Arduino pro-mini, leds indicadores y borneras de conexión.

2.4.2 Conexión de modulo RF Apc200a a la tarjeta transmisora

Se realizó la conexión del módulo RF Apc200a, se utilizó TX – RX que permite una comunicación con otro módulo de las mismas características utilizando comunicación serial. Este es el dispositivo que permite comunicar la tarjeta transmisora con el Tablero de control.

2.4.3 Conexión de la PCB transmisora

En la PCB transmisora se allá alimentado por una panel solar, teniendo una fuente tipo Buck LM2596S que regula y alimenta con 5v al Arduino pro-mini que a sus pines 16, 17 está conectado el modulo RF Apc200a, a los pines digitales 4, 5, 6, 7 leds indicadores de transmisión de datos y se utiliza los pines analógicos A0, A1, para la conexión de los sensores de humedad YL-38, respectivamente todos los sensores están conectados a la alimentación de 5v.

2.4.4 Código de programación de la tarjeta transmisora

```
unsigned total=0;
void setup() {
  Serial.begin(19200);
}
void loop() {
  int val = analogRead(A0); //sensor de humedad de lectura par
  int val2 = analogRead(A1); // sensor de humedad de lectura impar
  val = map(val, 0, 1023, 99, 0);
  val2 = map(val2, 0, 1023, 99, 0);
  total=val*100;
  total=total+val2;
  Serial.print(total);
  delay(500);
  Serial.print("\n");
}
```

2.4.5 Diseño de PCB transmisora

Para diseñar el circuito se utilizó el software Proteus 8.5 el cual nos permite diseñar tanto el circuito esquemático y el PCB Layout al mismo tiempo, terminado el diseño se procede hacer PCB en la baquelita, para ello de utilizo una maquina CNC, para el diseño de las pistas.

Terminado el diseño de las pistas en la baquelita se procede a soldar todos los elementos electrónicos que permitirán el funcionamiento de la misma como se puede observar en la siguiente Figura 6-2.

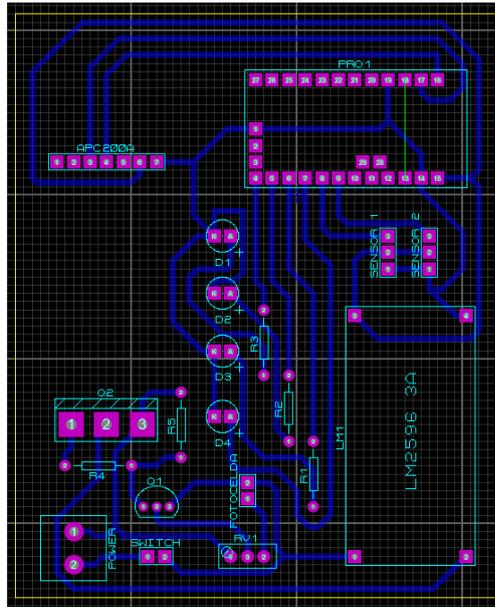


Figura 6-2. PCB Layout placa transmisora
 Fuente: Kleber Chulde 2017.

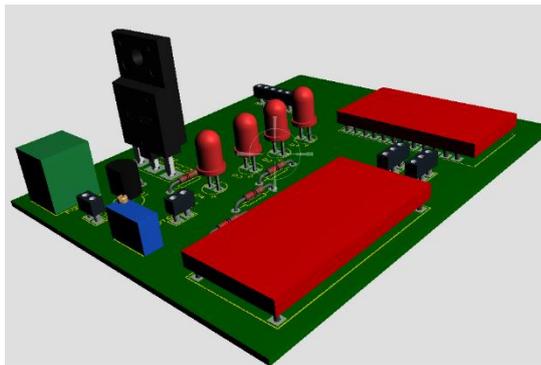


Figura 7-2: 3D Visualizer placa transmisora
 Fuente: Kleber Chulde, 2017

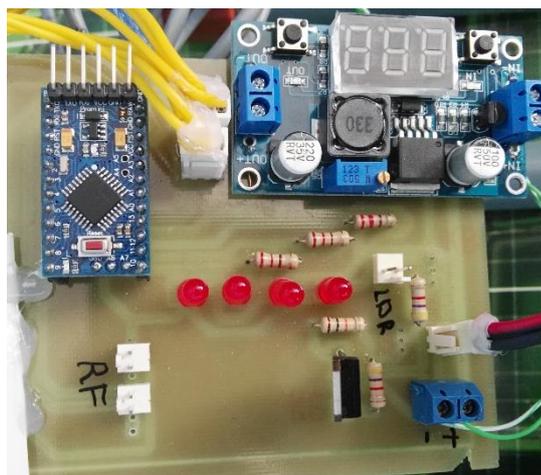


Figura 8-2: Placa transmisora terminada
 Fuente: Kleber Chulde, 2017

2.4.6 Circuito receptor de datos

La placa PCB se encarga de recibir los datos de dos sensores de humedad par e impar del sembrío de papa, por medio de módulos RF, módulo de reset Arduino pro-mini, Arduino Uno , también incluye una fuente reguladora de voltaje, , Shield GSM, sensor de lluvia, sensor de Rayos UV, sensor de temperatura y borneras de conexión.

2.4.7 Conexión de modulo RF Apc200a a la tarjeta receptora

Se realizó la conexión del módulo RF Apc200a, se utilizó TX – RX que permite una comunicación con otro módulo transmisor de las mismas características utilizando comunicación serial. Este es el dispositivo que permite comunicar la tarjeta receptora con el módulo transmisor.

2.4.8 Conexión de la PCB receptora

En la PCB receptora se alla alimentado por una fuente de 24 Dc, teniendo una fuente tipo Buck LM2596S que regula y alimenta con 5v al Arduino pro-mini, que a sus pines 4, 5 está conectado el modulo RF Apc200a, led indicador al pin digital 13,a los pines Analógicos A4, A5 está conectado la comunicación I2C, al Arduino uno conecta el Shield GSM Sim900, se utiliza los pines analógicos A4, A5, para la conexión I2C, respectivamente todos los módulos están conectados a la alimentación de 5v.

2.4.9 Código de programación de la tarjeta receptora

```
int ledon=13;
#include <Wire.h>
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial SIM900(7, 8);
String c;
int b;
int humedad1=0;
int humedad2=0;
int varaux=0;
String mensaje="";
String bomba1="";
```

```
String bomba2="";
String numero="";
String condicion="";
int luz=0;
int lluvia=0;
int temperatura=0;
int valll = A1;
int valluz = A0;
int valtemp = A2;
int voltage;
float uv;
float mv;
int bomba1no=6;
int bomba1nc=5;
int bomba2no=4;
int bomba2nc=3;
int a=0;
int aux1=0;
int aux2=0;
int aux3=0;
int aux4=0;
int reset=2;
void setup()
{
pinMode(bomba1no, OUTPUT);
pinMode(bomba1nc, OUTPUT);
pinMode(bomba2nc, OUTPUT);
pinMode(bomba2nc, OUTPUT);
pinMode(ledon, OUTPUT);
pinMode(reset, OUTPUT);
Wire.begin();
Serial.begin(19200);
SIM900.begin(19200);
pinMode(A0, INPUT);
pinMode(A1, INPUT);
pinMode(A2, INPUT);
delay(2000);
```

```

SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
delay(500);
SIM900.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");
delay(500);
digitalWrite(bomba1no, LOW);
digitalWrite(bomba1nc, LOW);
digitalWrite(bomba2no, LOW);
digitalWrite(bomba2nc, LOW);

delay(5000);
}
void loop()
{
digitalWrite(reset, HIGH);
digitalWrite(ledon, HIGH);
if(SIM900.available() >0)
{
mensaje=SIM900.readString().substring(1,150);
//Serial.print(mensaje);
numero=mensaje.substring(17,27);
condicion=mensaje.substring(2,4);
Serial.println(mensaje);
// Serial.println(condicion);
//Serial.println(numero);
}
valll = analogRead(A1);
valluz = analogRead(A0);
voltage=map(valluz,0,1023,0,5000); //0-5000mV
if((voltage>=990)&(voltage<=2800)) uv=(float)map(voltage,990,2800,0,1500)/100 else uv=0;
valtemp = analogRead(A2);
lluvia = map(valll, 0, 1023, 100, 0);
float mv = (5000 / 1024.0) * valtemp;
temperatura = mv / 10;
Serial.print("Voltage = " + String(voltage) + "mV");
//Serial.println("\t\tUV = " + String(uv) + "mW/cm^2");
// delay(100);
if (condicion == "IN")

```

```

{
SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
Serial.print("AT+CMGF=1\r");
delay(500);
SIM900.println("AT + CMGS = \"+593987385664\r");
delay(500);
SIM900.print("HUMEDAD UNO: ");
SIM900.println(humedad1);
SIM900.print("HUMEDAD DOS: ");
SIM900.println(humedad2);
SIM900.print("LLUVIA: ");
SIM900.println(lluvia);
SIM900.print("TEMPERATURA: ");
SIM900.println(temperatura);
SIM900.print("UV: ");
SIM900.println(uv);
SIM900.print("SISTEMA PAR: ");
SIM900.print("BOMBA UNO: ");
SIM900.println(bomba1);
SIM900.println("SISTEMA IMPAR: ");
SIM900.print("BOMBA DOS: ");
SIM900.println(bomba2);
//SIM900.print("LISTO: ");
SIM900.println((char)26);
delay(500);
SIM900.println();
delay(500);
Serial.println("SMS enviadooooooooooooooooooooooooooooo");
if(b>100){
varaux=b;
humedad1=varaux/100;
humedad2=varaux-(humedad1*100);
Serial.print("Humedad 1: ");
Serial.print(humedad1);
Serial.print(" Humedad 2: ");
Serial.print(humedad2);
Serial.print(" Lluvia: ");

```

```

Serial.print(lluvia);
Serial.print("  Temperatura: ");
Serial.print(temperatura);
Serial.print("  UV: ");
Serial.print(uv);
Serial.print("  Trama: ");
Serial.println(varaux);
}
}
if(aux1==0)
{
if(humedad1<=20)
{
Serial.println("MENOR 20 HIGH RELE BOMBA UNO ACTIVADA");
digitalWrite(bomba1no, HIGH);
digitalWrite(bomba1nc, LOW);
aux1=1;
aux2=0;
}
}
if(aux2==0)
{
if(humedad1>=50)
{
Serial.println("MAYOR 50 HIGH RELE BOMBA UNO DESACTIVADA");
digitalWrite(bomba1nc, HIGH);
digitalWrite(bomba1no, LOW);
aux1=0;
aux2=1;
}
}
}
if(aux3==0)
{
if(humedad2<=20)
{
Serial.println("MENOR 20 HIGH RELE BOMBA DOS ACTIVADA");
digitalWrite(bomba2no, HIGH);
digitalWrite(bomba2nc, LOW);
}
}
}

```

```

aux3=1;
aux4=0;
}
}
if(aux4==0)
{
if(humedad2>=50)
{
Serial.println("MAYOR 50 HIGH RELE BOMBA DOS DESACTIVADA");
digitalWrite(bomba2nc, HIGH);
digitalWrite(bomba2no, LOW);
aux3=0;
aux4=1;
}
}
delay(1000);
digitalWrite(reset, LOW);
if(aux1==1)
{
bomba1="ON";
}
if(aux1==0)
{
bomba1="OFF";
}
if(aux2==0)
{
bomba2="ON";
}
if(aux2==1)
{
bomba2="OFF";
}

```

2.4.10 Diseño de PCB receptora

Para diseñar el circuito se utilizó el software Proteus 8.5 el cual nos permite diseñar tanto el circuito esquemático y el PCB Layout al mismo tiempo, terminado el diseño se procede hacer PCB en la baquelita, para ello se utilizó una maquina CNC, para el diseño de las pistas.

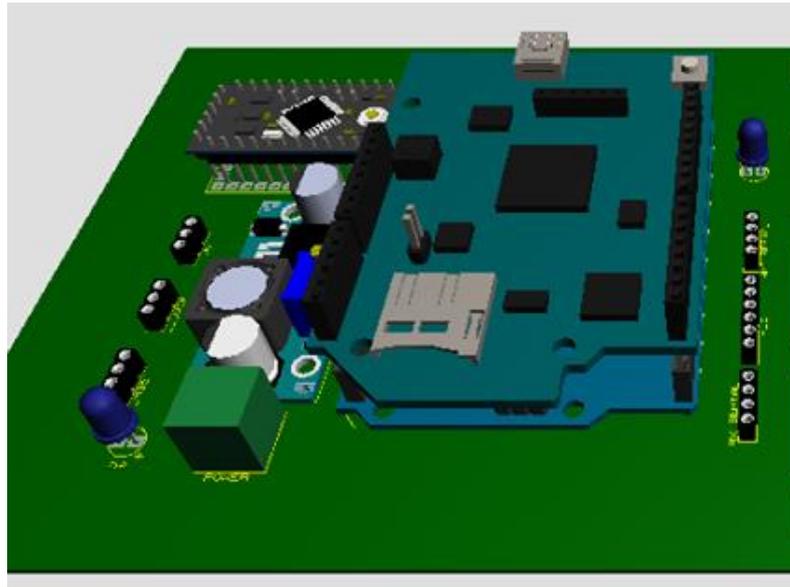


Figura 9-2: 3D Visualizer placa receptora
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

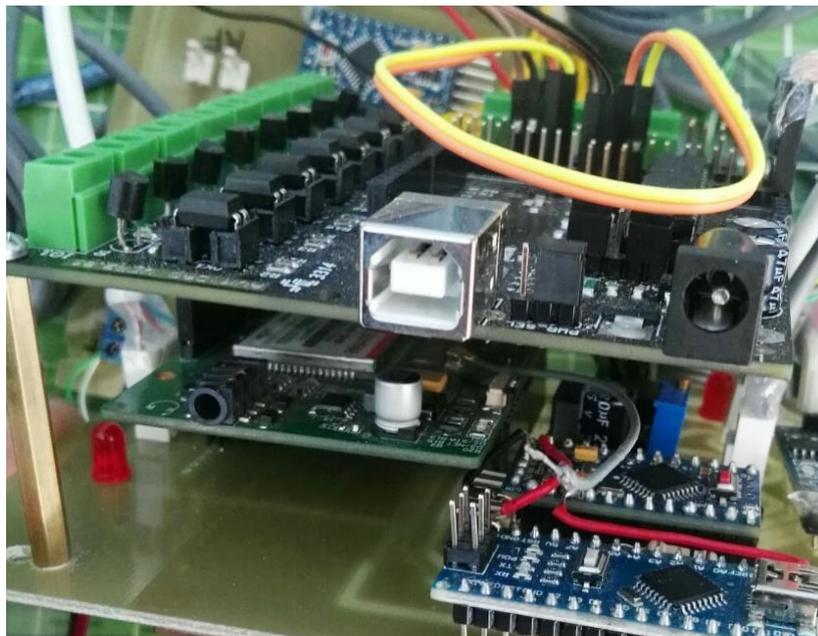


Figura 10-2: Placa receptora terminada
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.5 Programación de PLC Arduino (ARDBOX RELAY)

En nuestro sistema de control de utilización PLC Arduino (ARDBOX RELAY), a continuación se muestran las características:

Tabla 1-2. Características Arduino (ARDBOX RELAY)

PLC Arduino (ARDBOX RELAY)	
Procesador	Arduino Genuino Uno
Pines Digitales	6 0 a 10 v
Pines analógicos	6 0 a 10 v
Alimentación	12 o 24 v
Entradas Digitales	4 Entradas Relay
	8 Salidas Relay
Comunicación	SPI, I2C, RS-232

Realizado por: Kleber Chulde 2017

Para la programación del Arduino PLC se utilizó software Arduino 1.8.1 para Windows, su principal función es controlar todo el funcionamiento del sistema, lectura de los sensores de humedad. Lluvia, temperatura, rayos uv y activar nuestros actuadores según el algoritmo de control que está programado nuestro controlador on/off aplicando el Tratamiento 1.

Los parámetros establecidos son: el sistema se activará cuando la humedad sea menor al 13.4% y se desactivará cuando la humedad llegue al 14% que es la capacidad de campo, la temperatura, cantidad de rayos uv influyen para tener en cuenta las condiciones climáticas del día y en caso de lluvia nuestro sensor suspenderá la actividad de nuestro sistema esto será mediante el control de nuestros actuadores electroválvulas y motor.

El Arduino PLC se encuentra programado los siguientes: Pantalla Nextion HMI Tft 5.0 Inc serial, sensor de lluvia YL-83, área de detección es 48 mm y una velocidad de respuesta de menor a 100 ms, sensor de temperatura LM 35 que me da la temperatura ambiente en grados centígrados, sensor de rayos ultravioleta uv MI8511 los datos de radiación me da en (mW/cm^2) que trabaja en

todas la condiciones climáticas y las salidas que me activaran los contactores de las electroválvulas y motor como se muestra en la Figura 11-2.

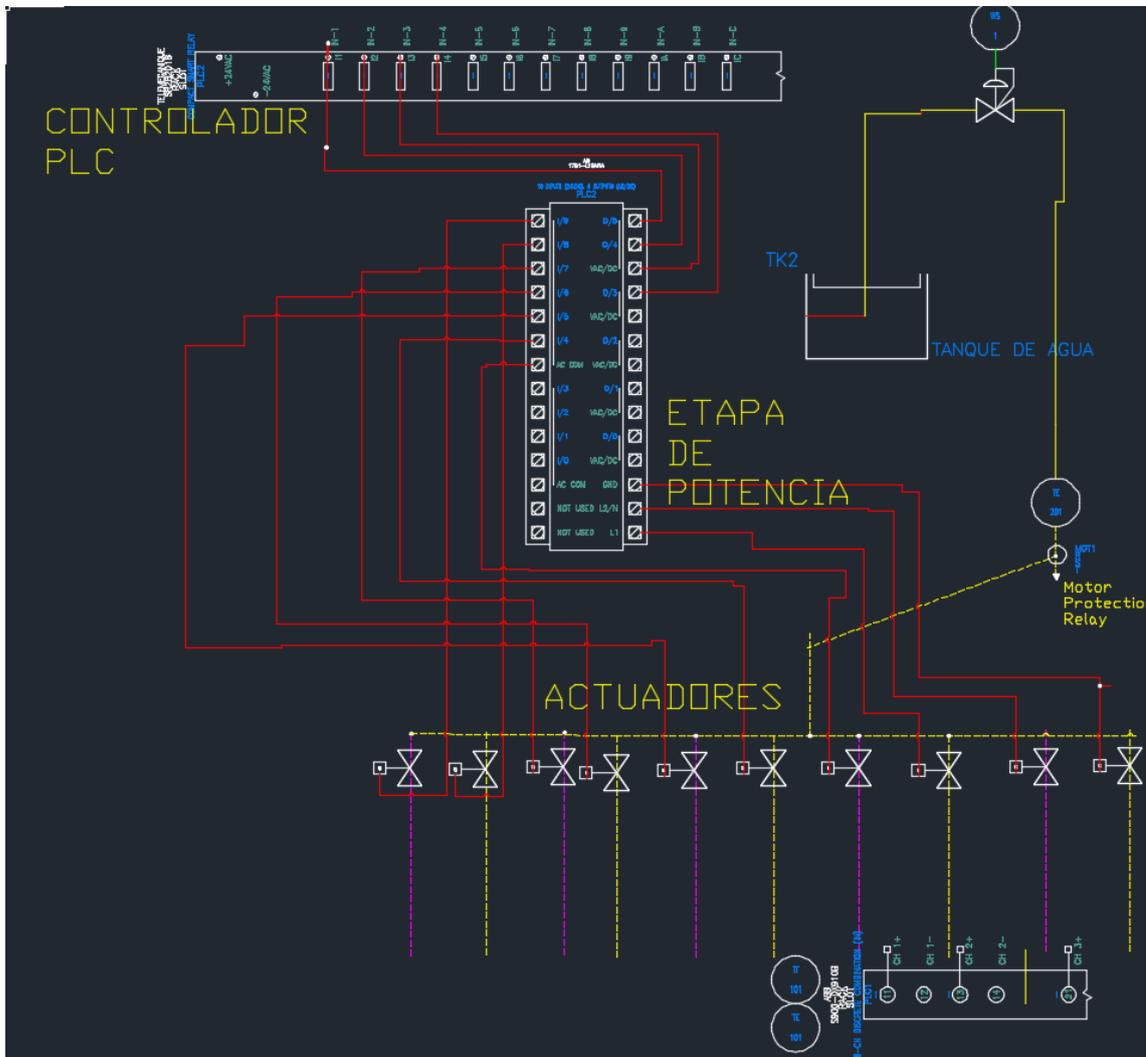


Figura 11-2: Diagrama de etapas de Control
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.6 Alimentación PLC

- *Entrada*
 - 5 v Alimentación de voltaje para PLC.
 - 24 v Alimentación de voltaje para los Relay PLC.
- *Salida*
 - 24 v Alimentación de voltaje para los Relay activaciones Contactores.

2.6.1 Sensores del sistema

- *Entrada*
 - A0** Dato analógico del sensor de Rayos ultravioletas UV.
 - A1** Dato analógico del sensor de Lluvia.
 - A2** Dato analógico del sensor de Temperatura.
- *Salida*
 - D3** Activación voltaje para los Relay de Contactor de Actuadores.
 - D4** Activación voltaje para los Relay de Contactor de Actuadores.
 - D5** Desactivación voltaje para los Relay de Contactor de Actuadores.
 - D6** Desactivación voltaje para los Relay de Contactor de Actuadores.

2.6.2 HMI Serial

- *Entrada*
 - D11** Transmisor de Datos Tx del controlador a la HMI.
 - D12** Receptor de Datos Rv del HMI al controlador.

2.6.3 Comunicación RS-232

- *Entrada*
 - D7** Comunicación de Shield GSM.
 - D8** Comunicación de Shield GSM.
 - D7** Comunicación RS-232 modulo tarjeta receptora de Datos de Humedad par e impar.
 - D8** Comunicación RS-232 modulo tarjeta receptora de Datos de Humedad par e impar.

2.7 Diseño del panel solar

2.7.1 Radiación solar del sistema de generación fotovoltaico.

Para determinar la radiación solar en la provincia de Chimborazo, se obtuvo datos de ASE (Atlas Solar Ecuador) de CONELEC, en el cual nos indica en la Figura 12-2 la insolación directa promedio, teniendo una medida promedio anual $4750\text{Wh}/\text{m}^2/\text{día}$ en Riobamba.

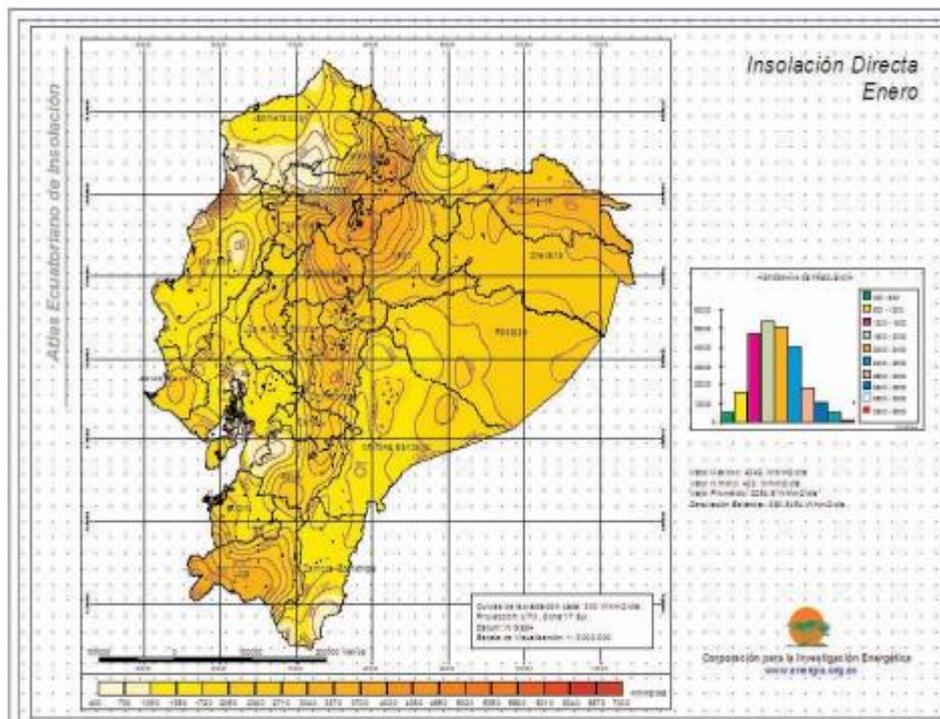


Figura 12- 2: Mapa solar del Ecuador

Fuente: Atlas de insolación CIE

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico debe garantizar un perfecto funcionamiento, en empleo de la radiación solar de la provincia, se deben tomar muchos aspectos como: orientación, inclinación y radiación para poder beneficiarnos al máximo de la energía solar.

2.7.2 Incidencia de radiación solar

La incidencia de radiación solar depende de dos tipos de la radiación solar directa, que son aquellas que llega directamente a la planta y difusa que su dirección ha sido modificada por diversos motivos como: densidad atmosférica, precipitación, días nublados etc.



Figura 13-2: Ángulo de rayos del sol
Fuente: eliseosebastian.com

2.7.3 Posición e inclinación panel fotovoltaico

Para lograr absorber la mayor cantidad de radiación en las horas de la mañana y medio día, el ángulo de inclinación es de 18° - 21° , se forma entre la superficie horizontal y la superficie del panel solar, para nuestro sistema se utilizó un ángulo de 18° como se indica en la figura 13-2 de tal manera optimizar y garantizar el funcionamiento del sistema de transmisión de datos.

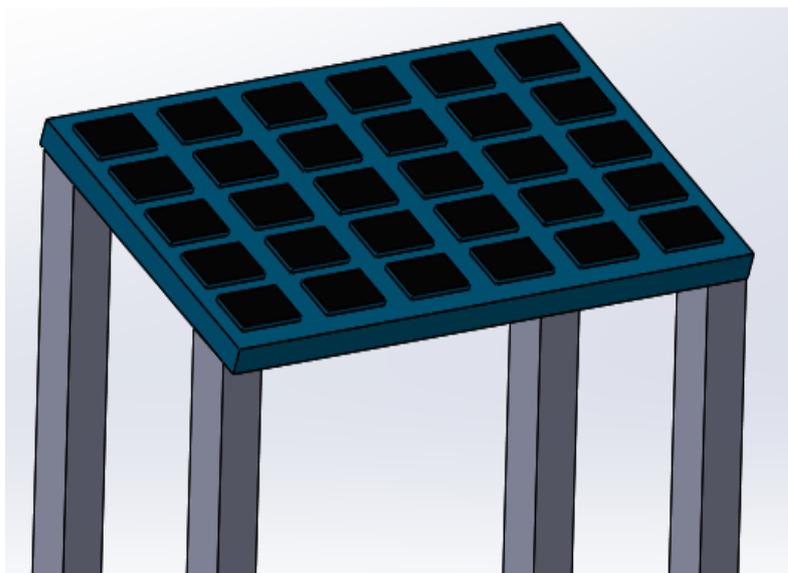


Figura 14-2: Inclinación panel fotovoltaico
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

La posición en cual se coloca el panel solar basándose en puntos cardinales, en vista al lado este para tener una mejor cantidad de radicación solar percibida por nuestro panel y así tener mayor cantidad de energía.

2.7.4 Selección de nuestro panel solar

Para determinar los watts del panel solar es necesaria saber todas las cargas que van hacer conectadas al mismo.

Los datos de corriente, voltaje y potencia son importantes para el cálculo el cual permite determinar de cuantos watts es necesario para que trabajen perfectamente las cargas como se puede observar en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Cálculo del panel

Item	Corriente(A)	Potencia(W)	tiempo(h)	energia(wh)
APC200A	0,028	0,14	10	1,4
Aduino Nano	0,04	0,2	10	2
Fuente Buck	1	5	10	50
Leds	0,06	0,3	10	3
Módulos de Humedad	0,07	0,35	10	3,5
Fotocelda	0,005	0,025	10	0,25
Transisor	0,0026	0,013	10	0,13
Resistencias	0,0035	0,0175	10	0,175
			Total	60,455 Wh
Eficiencia	60%			100,758333 Wh
Horas de sol	5 h		Panel	20,1516667 W

Realizado por: Kleber Chulde, 2017

Una vez realizado el cálculo del panel resulto que es necesario un panel de 20.15 W, a este resultado se le suma una tolerancia de 25% para una mayor eficiencia me da un total de 25w.

Nuestro sistema trabaja 10h, el cual tiene un sistema de backup de energía, se seleccionó un panel poli-cristalino de 30W como se puede observar en la Figura 15-2.



Figura 15- 2: Panel Solar

Fuente: Luxury Electronic

En la Tabla 3-2. Se muestra las especificaciones técnicas del panel fotovoltaico poli-cristalino de 30w:

Tabla 3-2. Especificaciones del panel fotovoltaico

Descripción	Característica
Potencia Máxima	30 Vatios
Voltaje	18 Voltios
Corriente	1.667 Amperios
Voltaje de circuito abierto	23.1 Voltios
Tecnología	Poli cristalino
Número de celdas	36

Temperatura de funcionamiento	-48 +85 grados Centígrados
Equipo para exterior	Puede estar expuesto al sol y agua
Garantía	25 Años
Tamaño	67x35x2.5cm-2.8kg

Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.7.5 Diseño del soporte para el panel poli-cristalino

Para el diseño primero se esbozó la estructura en solidworks, ya terminada con medidas se procede a realizar en acero inoxidable AISI 302 es muy versátil usado para construcciones metálicas que van a estar expuestas a la intemperie, tiene buenas características para soldadura, la resistencia a corrosión es excelente en servicio intermitente.

En la Tabla 4-2. Se muestra información del material acero inoxidable 302(Fe/Cr18/Ni8):

Tabla 4-2. Propiedades acero inoxidable 302(Fe/Cr18/Ni8)

PROPIEDADES ELÉCTRICAS	
Resistividad Eléctrica(u OHM cm)	70-72
PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad (g cm⁻³)	7.92
Punto de Fusión (C)	1400-1420
Alargamiento (%)	< 60

Dureza Brinell	160-190
Impacto Izod (Jm⁻¹)	20-136
Módulo de Elasticidad (GPa)	190-210
Resistencia a la Tracción (MPa)	510-1100
PROPIEDADES TÉRMICAS	
Coefficiente de expansión térmica (x10⁻⁶K⁻¹)	15-18
Conductividad térmica a 23 C (Wm⁻¹K⁻¹)	16.3

Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.8 Dimensionamiento de Conductores eléctricos

La Ecuación 1-2 se utilizó para el dimensionamiento de los conductores eléctricos, determinado la caída de tensión en circuitos monofásicos es:

Ecuación 1-2: Caída de tensión del conductor eléctrico bifásico

$$\Delta V = 2IR_eL$$

Ecuación 2-2: Caída de tensión del conductor eléctrico monofásico

$$\Delta V = IReL$$

Donde:

I= Corriente

Re= Resistencia del conductor

L=Distancia a la carga

Los conductores eléctricos son sólidos o cableados tienen una condición suave, cubiertos por termoplástico de cloruro de polvinilo resistente a la humedad y temperatura, utilizados en la industria, comercial, residencia, control eléctrico.

Tabla 5-2. Especificaciones técnicas conductores eléctricos

Calibre AWG ó MCM	Sección mm ²	FORMACION	ESPEJOR		DIAM. EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Capacidad de corriente		TIPO CABLE	Altem. de embal.
		No. de Hilos por diámetro en mm.	AI SLAM. mm	CHAQUETA mm			Para 1 cond. al aire libre Amp.	Para 3 cond. en conduit Amp.		
20	0.519	1 x 0.813	0.38	0.10	1.77	7.07	15	10	TFN	A,B
18	0.823	1 x 1,02	0.38	0.10	1.98	10.94	15	10	TFN	A,B
16	1.31	1 x 1,29	0.38	0.10	2.25	16.48	20	15	TFN	A,B
14	2.08	1 x 1,63	0.38	0.10	2.59	23.17	35	25	THHN	A,B
12	3.31	1 x 2,05	0.38	0.10	3.01	34.16	40	30	THHN	A,C
10	5.26	1 x 2,59	0.51	0.10	3.81	55.04	55	40	THHN	A,D
8	8.34	1 x 3,26	0.76	0.13	5.04	91.22	80	55	THHN	A,B
16	1.31	19 x 0,30	0.38	0.10	2.46	17.95	20	15	TFN	A,B
14	2.08	19 x 0,38	0.38	0.10	2.86	23.80	35	25	THHN	A,B
12	3.31	19 x 0,47	0.38	0.10	3.31	35.70	40	30	THHN	A,C
10	5.26	19 x 0,60	0.51	0.10	4.22	56.20	55	40	THHN	A,D
8	8.37	7 x 1,23	0.76	0.13	5.47	93.70	80	55	THHN	A,B,E
6	13.30	7 x 1,55	0.76	0.13	6.43	141.30	105	75	THHN	A,E
4	21.15	7 x 1,96	1.02	0.15	8.22	227.60	140	95	THHN	A,E
2	33.62	7 x 2,47	1.02	0.15	9.75	348.10	190	130	THHN	A,E
1	42.36	7 x 2,78	1.27	0.18	11.24	446.20	220	150	THHN	A,D,E
1/0	53.49	19 x 1,89	1.27	0.18	12.35	553.30	260	170	THHN	D,E,Z
2/0	67.43	19 x 2,12	1.27	0.18	13.50	688.70	300	195	THHN	D,E,Z
3/0	85.01	19 x 2,39	1.27	0.18	14.85	856.80	350	225	THHN	D,E,Z
4/0	107.20	19 x 2,68	1.27	0.18	16.30	1069.50	405	260	THHN	D,E,Z

Fuente: ELECTROCABLES C.A

2.8.1 Cálculo de conductor eléctrico para fase de control

Para determinar el conductor eléctrico se tiene los siguientes datos:

- $V=110 \text{ V}$.
- $I=0,7 \text{ A}$.
- $L=6 \text{ m}$.

Como se puede observar en la tabla de especificaciones técnicas de conductores, el cable seleccionado es el #16 AWG con una resistencia de $13.5 \frac{\text{ohm}}{\text{km}}$, luego se procede a calcular la caída de tensión del conductor eléctrico con la ecuación xx

$$\Delta V = 2IR_eL$$

$$\Delta V = 2(0.7)13.5 \frac{\text{ohm}}{\text{km}} (6\text{m})$$

$$\Delta V = 0,1134$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0.1134}{120} = 0.0945\%$$

Cálculo de conductor eléctrico para fase de AC

Para determinar el conductor eléctrico se tiene los siguientes datos:

- $V=220 \text{ V}$.
- $I=2.99 \text{ A}$.
- $L=9 \text{ m}$.

Como se puede observar en la tabla de especificaciones técnicas de conductores, el cable seleccionado es el #10 AWG con una resistencia de $3.28 \frac{\text{ohm}}{\text{km}}$, luego se procede a calcular la caída de tensión del conductor eléctrico con la Ecuación 3-2.

Ecuación 3-2. Tensión del conductor eléctrico

$$\Delta V = 2IR_eL$$

$$\Delta V = 2(2.99)3.28 \frac{ohm}{km} (14m)$$

$$\Delta V = 2.746$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 2.746}{120} = 2.288\%$$

2.8.2 Cálculo de conductor eléctrico para fase de DC

Para determinar el conductor eléctrico se tiene los siguientes datos:

- V=50 V.
- I=5 A.
- L=15 m.

Como se puede observar en la Tabla 5-2. De especificaciones técnicas de conductores, el cable seleccionado es el #10 AWG con una resistencia de $3.28 \frac{ohm}{km}$, luego se procede a calcular la caída de tensión del conductor eléctrico con la Ecuación 3-2.

$$\Delta V = 2IR_eL$$

$$\Delta V = 2(5)3.28 \frac{ohm}{km} (15m)$$

$$\Delta V = 4.92$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 4.92}{120} = 4.1\%$$

2.8.3 Conductores eléctricos utilizados en el sistema automatizado

En la Tabla 6-2. Se puede observar las fases de control, AC y DC con sus respectivos conductores.

Tabla 6-2: calibre de conductores control, DC y AC.

Fase	Control	DC	AC
Corriente	0.7 A	5 A	2.99 A
Calibre	16	10	10
Tipo	AWG	AWG	AWG

Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.9 Selección del interruptor automático magneto-térmico

Para la selección se debe tomar en cuenta el tipo de curva de disparo, calibre o intensidad nominal, el cual será menor al valor o igual al que consume la carga.

Tabla 7-2: Tipos de interruptores magneto-térmico

Curva de disparo	Corriente de magnético	Calibre	Aplicaciones
B	5	2	Protección generadores y grandes longitudes de cable.
		3	
		4	
		6	
		8	
		10	
		12	
16			
C	10	18	Protección general.
D	20	20	Protección de receptores con elevadas corrientes de arranque.
Z	3.6	25	Protección de circuitos electrónicos.

Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.10 Selección del Contactor

Para elegir el Contactor de debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- Tensión de alimentación de la bobina en nuestro caso estoy trabajando con 24v.
- Número de activaciones de la bobina on/off.
- Arco eléctrico que produce cada vez que se active el Contactor.
- Corriente que consume la carga.
- Contactos auxiliares de tipo NO/NC.
- Tipos de contactos según el modelo del Contactor.

Tabla 8-2. Contactor compacto tripolar CWC0, 7 A hasta 22 A(AC-3).

Corriente nominal de operación I_n AC-3 ($U_n=440$ V)	Corriente térmica convencional $I_n = I_n$ AC-1	Potencia nominal máxima de operación motores trifásicos 50/60 Hz ³						Contactos auxiliares integrados por contactor		Referencia		Bobina CA	Bobina CC
		220 V 230 V	380 V	400 V 415 V	440 V	500 V	660 V 690 V	3 NA	L+1 -2 NC	Terminal tornillo	Terminal resorte	Peso kg	
7	18	1,5/2	3/4	3/4	3,7/5	3,7/5	3/4	1 0	0 1	CWC07-10-30+ CWC07-01-30+	CWC07-10-30+S CWC07-01-30+S	0,195	0,230
9	20	2,2/3	4/5	4/5	4,5/6	4,5/6	4/5	1 0	0 1	CWC09-10-30+ CWC09-01-30+	CWC09-10-30+S CWC09-01-30+S		
12	22	3/4	5,5/7,5	5,5/7,5	5,5/7,5	5,5/7,5	5,5/7,5	1 0	0 1	CWC012-10-30+ CWC012-01-30+	CWC012-10-30+S CWC012-01-30+S		
16	22	4/5	7,5/10	7,5/10	7,5/10	7,5/10	7,5/10	1 0	0 1	CWC016-10-30+ CWC016-01-30+	- -		
22	32	5,5/7,5	11/15	11/15	11/15	11/15	11/15	0 0	0 0	CWC025-00-30+	-		

Fuente: WEG INSTITUTIONAL. 2015

2.11 Selección de relé de sobrecarga térmico.

El relé térmico es muy importante ya nos permite proteger a nuestro motor de una sobre-corriente no admisible, desconecta al motor del circuito cuando la corriente consumida por el motor sobrepasa la curva de trabajo, evitando que se quemé.

El relé térmico va colocado en la parte inferior del Contactor y protege gracias a sus láminas bimetalicas que cuando pasa una corriente provocan el calentamiento del bimetálico y esta apertura el relé, la corriente deberá verificarse en la placa del motor.

2.12 Esquema del circuito de mando

En la Figura 16-2. Se muestra el diagrama del circuito eléctrico de mando de las conexiones de pulsadores, selector, luz piloto, paro de emergencia, Contactor y cómo va a funcionar nuestro sistema eléctrico.

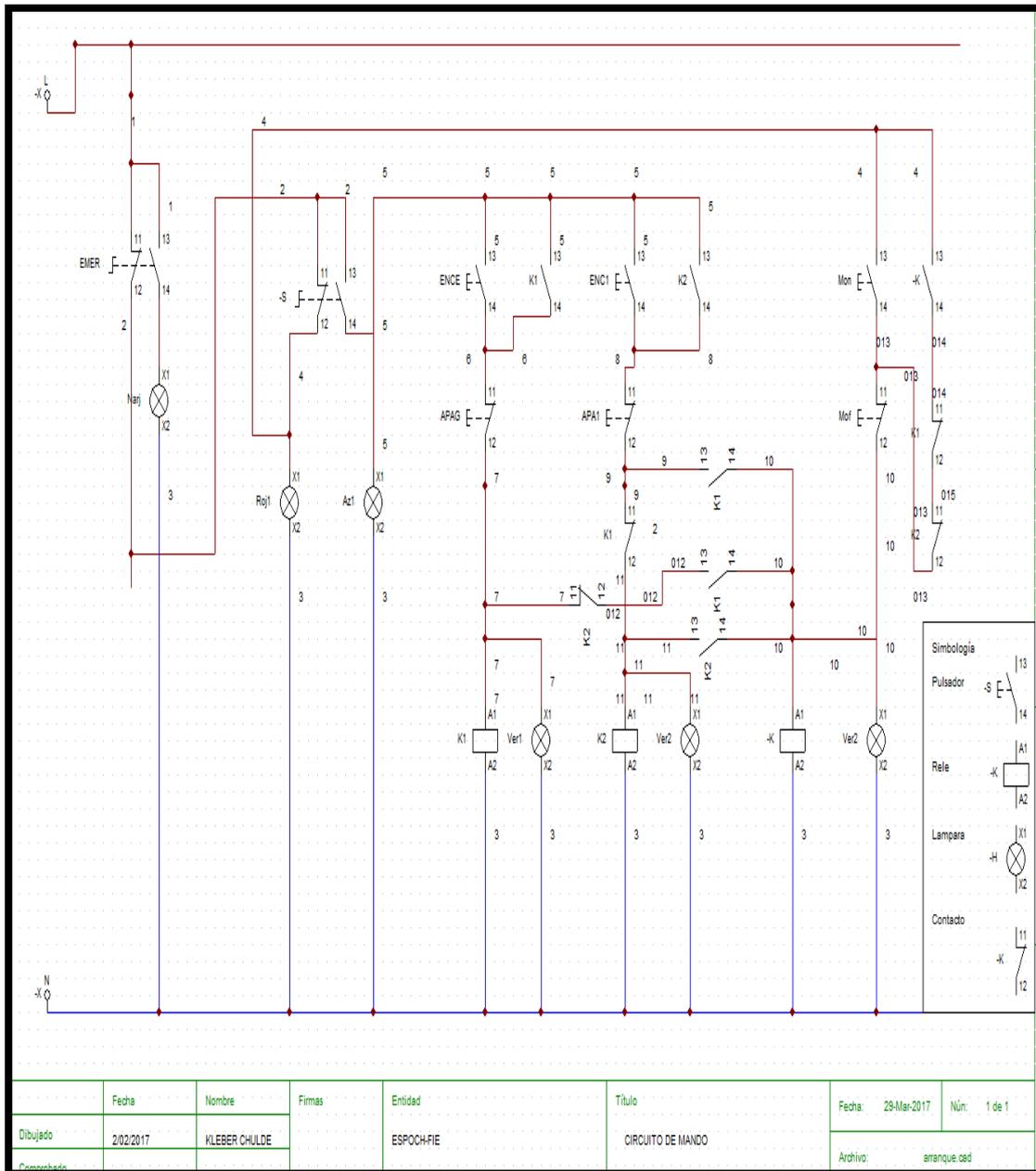


Figura 16-2: Diagrama de circuitos de mando
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.13 Distribución de Canaletas y carril Din

En esta etapa describe la implementación del sistema eléctrico, continuando el diseño del circuito de mando que se muestra en la Figura 17-2. Se realiza la distribución de los elementos que van a ser instalados en el tablero tanto como PLC, fuente, contactores, relés, fusibles, borneras y conductores.



Figura 17- 2: Distribución de canaletas y carril Din
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.14 Distribución de los elementos de señalización y activación

Luego de la distribución de los elementos, en el tablero se procede a colocar los elementos de señalización como luz piloto, seccionador, pulsador emergencia y pantalla.



Figura 18-2. Elementos de Señalización y activación
Fuente: Kleber Chulde, 2017

2.15 Conexión de botonera, luces piloto, selector, botón de emergencia

En la figura xx se muestra la vista interior de las conexiones de las botoneras y luces piloto que servirán de ayuda para la manipulación de cualquier tipo de usuario.

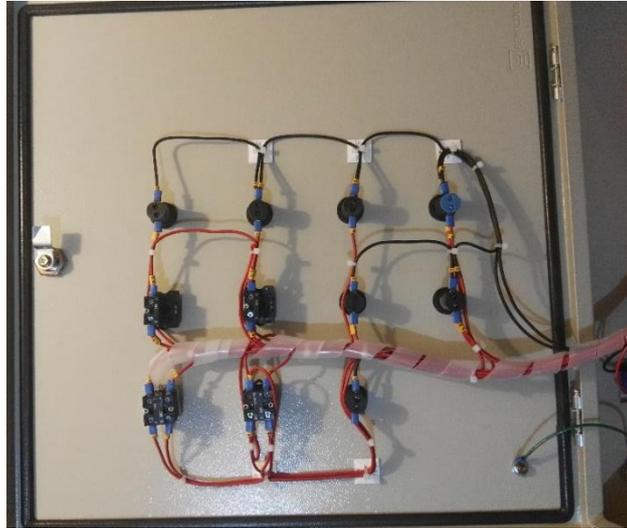


Figura 19-2. Conexión de botonera
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.16 Cableado de los elementos de control y potencia de tablero.

En la Figura 20-2 se muestra la distribución de los elementos, realizando su conexión mediante cables conductores como se muestra en la tabla de dimensionamiento de conductores para nuestro tablero.



Figura 20-2: Cableado de tablero
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.17 Distribución de la pantalla para la interfaz hombre máquina (HMI) touch en el tablero

En la Figura 21-2. Se muestra la pantalla en la parte central superior de la tapa del tablero ubicada en forma estratégica.

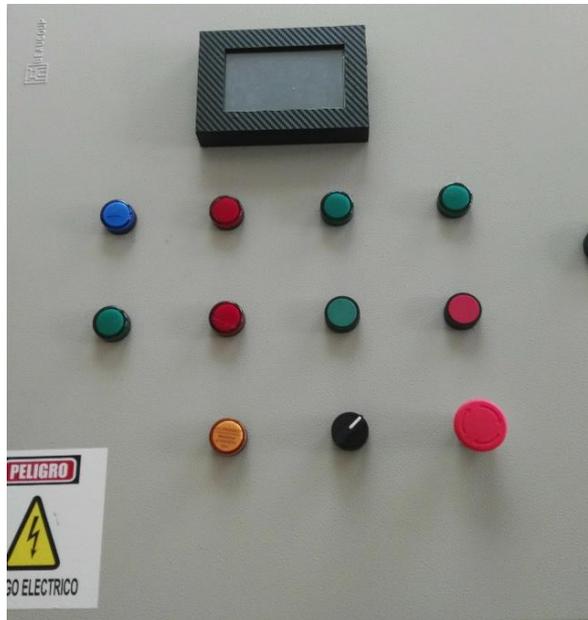


Figura 21-2. Pantalla Nextion HMI
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.18 Tablero de control terminado

En la Figura 22-2. Se muestra el tablero de control terminado, como se puede observar en vista interna y externa.



Figura 22-2. Vista interior del tablero
Realizado por: Kleber Chulde, 2017



Figura 23-2. Vista exterior del tablero
 Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.19 Implementación de Interfaz Hombre Máquina (HMI)

Una de las principales ventanas de HMI es el monitorear, la variable humedad en el suelo permitiendo aplicar un control para la fenología de la planta y un menú de opciones que permite ver:

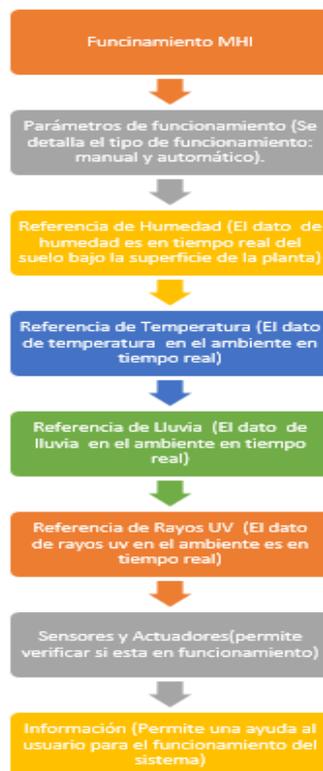


Figura 24-2: Funcionamiento HMI
 Realizado por: Kleber Chulde, 2017

En el tablero de control se encuentra un selector que permite seleccionar el tipo de funcionamiento: automático existe luz piloto para identificar que actuador está activado y permite en la HMI monitorear los datos en tiempo real, y en caso de funcionamiento manual muestra dos botones de inicio y paro respectivamente para la activación de la bomba de agua, en la HMI permite monitorear los valores tanto de los sensores como de los actuadores que están funcionando.

2.19.1 Ventana inicial de HMI

En la ventana inicial de HMI se puede visualizar el tema del proceso a realizar y un botón que permite proseguir con la siguiente ventana.

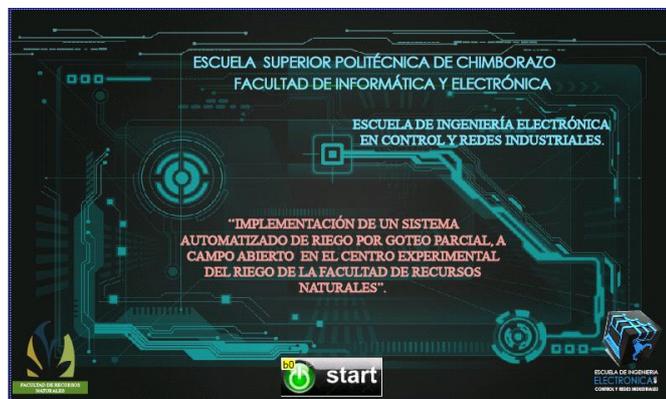


Figura 25-2: Ventana inicial HMI
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.19.2 Parámetros de funcionamiento de nuestro sistema

En la Figura 27-2. Se muestra el tipo de funcionamiento que nosotros queremos monitorear: automático, manual e información del sistema.



Figura 26-2. Ventana de selección del tipo funcionamiento HMI
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.20 Opción de funcionamiento Automático

En esta opción permite verificar el funcionamiento de los sensores y actuadores cuando el sistema funcione en forma autónoma.



Figura 27-2: Funcionamiento modo automático HMI
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.20.1 Opción de monitoreo de sensores automático

Esta opción permite la verificación en tiempo real de los datos de humedad de riego parcial y otras variables como lluvia, temperatura y rayos uv.

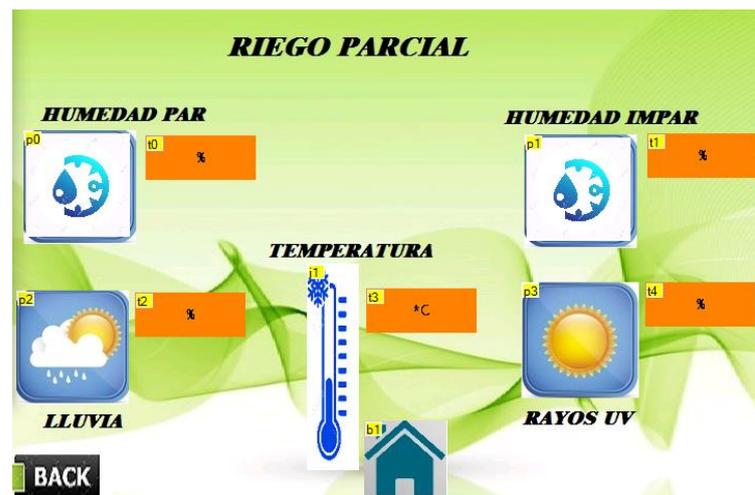


Figura 28-2: Monitoreo automático sensores HMI
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.20.2 Opción de monitoreo de actuadores automático

Esta opción permite la verificación en tiempo real de los actuadores electroválvulas y bomba de agua, las electroválvulas se activaran previa verificación del algoritmo de riego parcial.

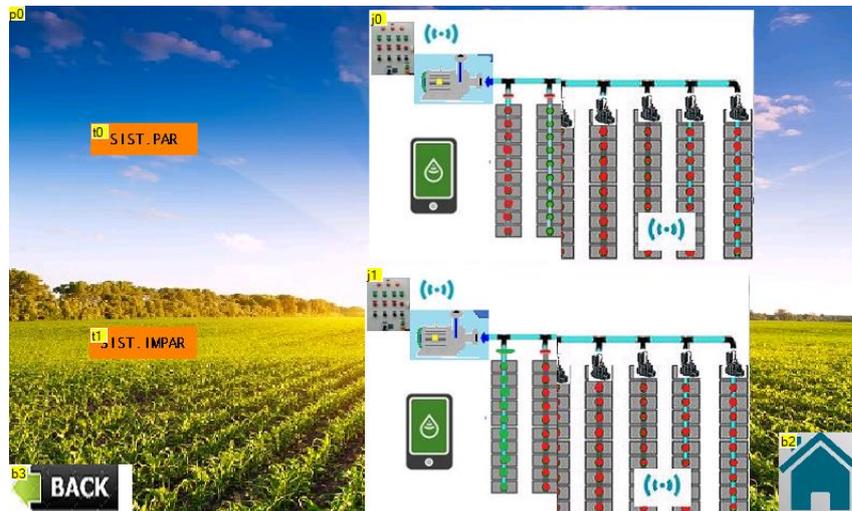


Figura 29-2. Monitoreo automático actuadores HMI
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.20.3 Opción de monitoreo de actuadores manual

Esta opción permite la verificación en tiempo real de los actuadores previamente abiertas las válvulas de paso manualmente, para activar la bomba.

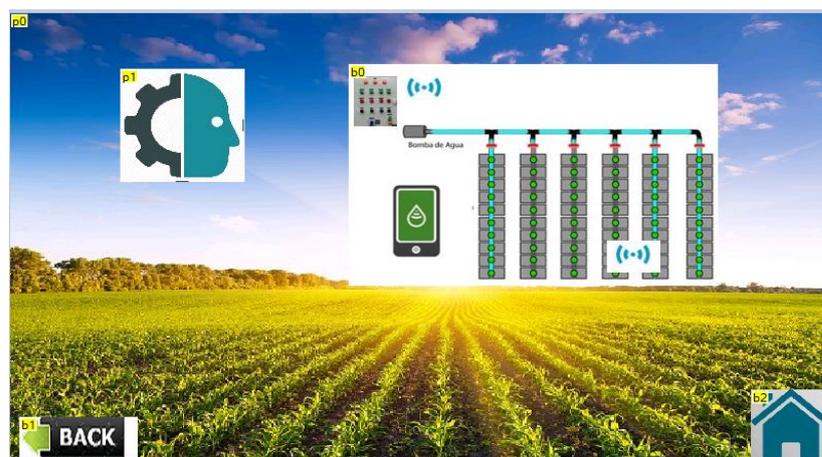


Figura 30-2 Monitoreo actuator manual HMI
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.20.4 Opción de información para manipular HMI

Esta opción permite tener información de cómo funciona nuestro sistema, está descrito en forma global para un mejor entendimiento del usuario.

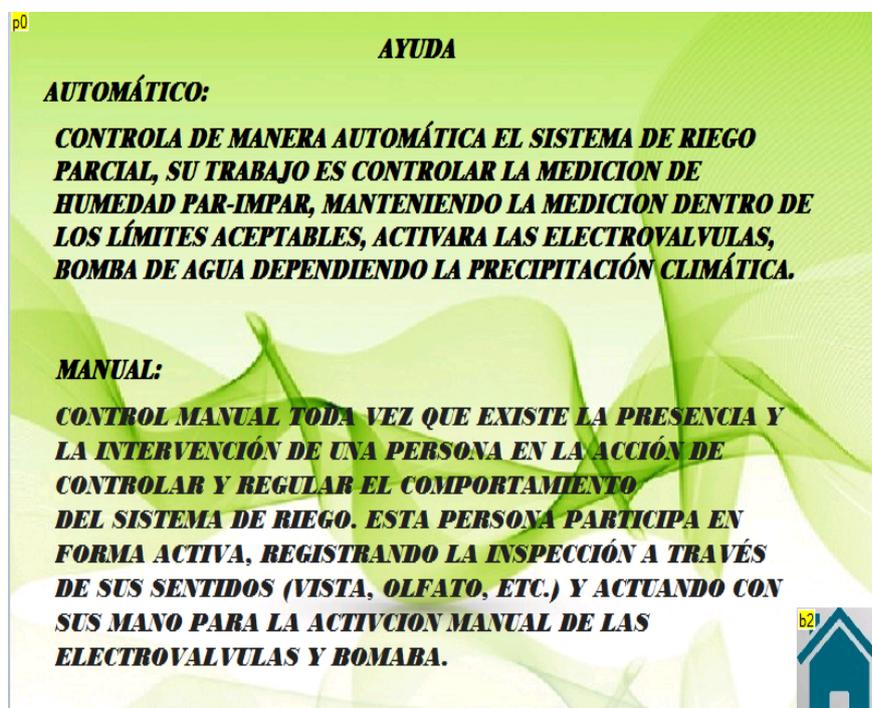


Figura 31-2. Opción de información HMI

Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.21 Software MIT App Inventor 2

MIT App Inventor 2 es un software de desarrollo de interfaces gráficas para teléfonos con sistema operativo Android, su desarrollo se realiza online en la web, el programa de la aplicación es muy amigable con el usuario permitiendo programar por medio de instrucciones gráficas.

En el MIT App Inventor 2 se ha creado una aplicación que permite monitorear los sensores y actuadores de nuestro sistema en tiempo real utilizando la tecnología gsm.

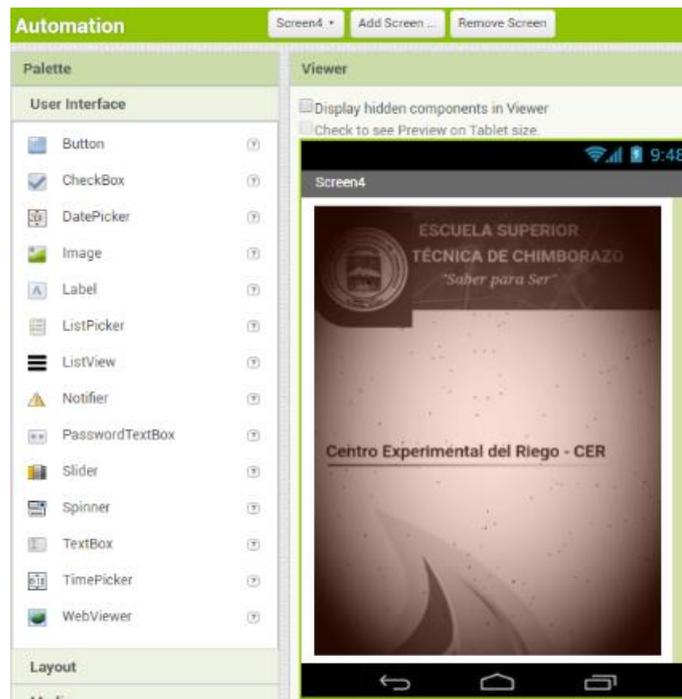


Figura 32-2. Software MIT App Inventor 2
 Realizado por: Kleber Chulde, 2017

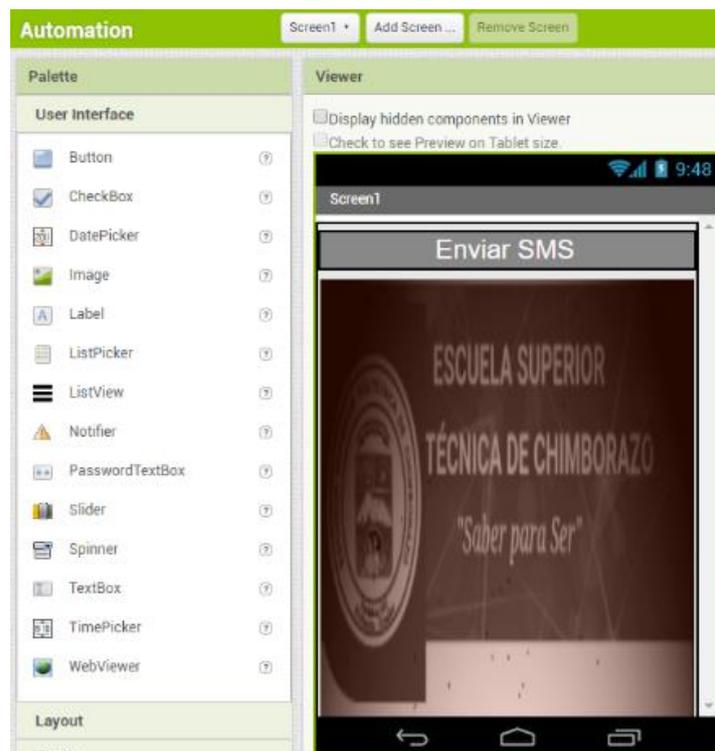


Figura 33-2. Software MIT App Inventor 2
 Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.21.1 Entorno de la Aplicación

Para nuestra aplicación se desarrollo Screens , Labels, Buttons, HorizontalArrangement y VerticalArrangement entre otros que que permite a la aplicación ser óptima y al vez amigable con el usuario permitiendo manipular de una manera fácil el monitoreo de nuestros sensores y acudadores.

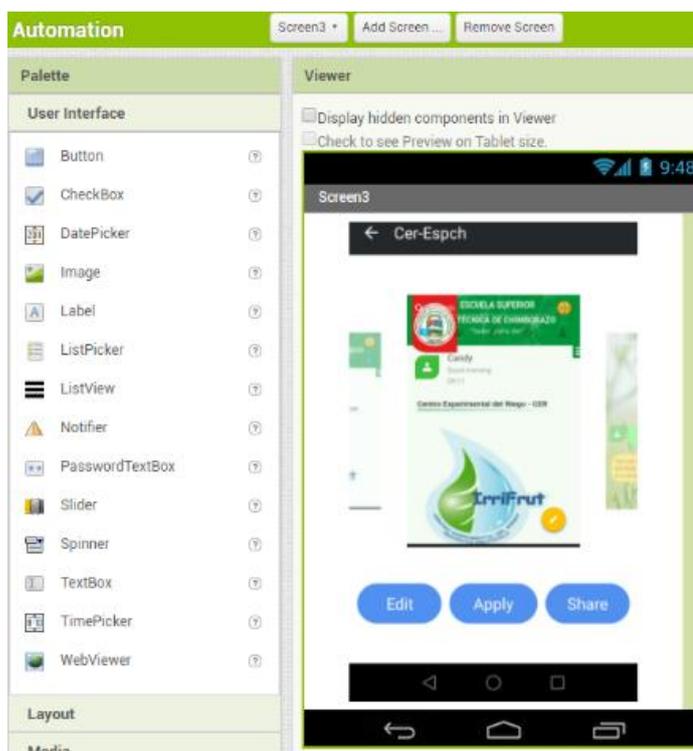


Figura 34-2. Entorno de la Aplicación
Realizado por: Kleber Chulde, 2017

Programación en bloques de la App

La programación se la realiza con una interfaz grafica orientada a objetos ulitizando los paramentros de Texting1 que es cla clave para poder visualizar los sms de texto, utilizando otras variables como PhoneNumberPicker1, Notifier1 como se muestra en la Figura 36-2.



Figura 35-2. Programación en bloques de la App
 Realizado por: Kleber Chulde, 2017

2.21.2 Aplicación móvil terminada

La aplicación móvil terminada se procede a descargar el archivo ejecutable para teléfonos con sistema operativo Android utilizando un ejecutable .Apk, el cual será instalado en el teléfono, como se muestra en la siguiente Figura 37-2.

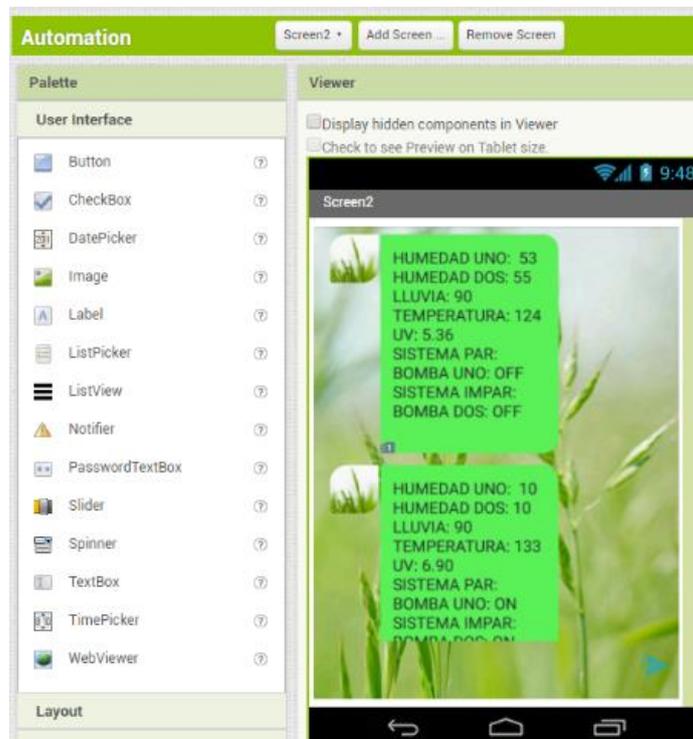


Figura 36-2. Aplicación móvil terminada
 Realizado por: Kleber Chulde, 2017

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

La implementación del sistema de riego diseñado por el presente proyecto, se muestra diferentes resultados que mejora la eficiencia del sistema de riego, los cuales se exponen. La institución no se ve inmersa en la realización de futuras actividades por motivo de implementación, no obstante adquiere nuevas tareas de mantenimiento como resultado de la implementación del sistema de riego por goteo parcial, por lo que es necesario dejar establecer las mencionadas actividades, para un cuidado eficaz del sistema, mismas que de igual manera se detallan posteriormente.

3.1 Optimización del sistema

La optimización se encuentra estrechamente ligada con la eficacia, lograr optimización en un sistema productivo implica que se alcanza la meta planteada al menor tiempo posible y haciendo uso de la menor cantidad de recursos.

Si se quiere utilizar el concepto de optimización en un sistema de riego parcial, se evalúa distintos indicadores que permitan determinar el aprovechamiento de los recursos. Tales indicadores son:

- Consumo de agua
- Uniformidad de riego

3.1.1 Consumo de agua

Con el fin de hacer evidente la mejora y las ventajas de un sistema, es necesario realizar una comparación con un sistema diferente, en este caso la evaluación se efectúa haciendo una comparación con el sistema de riego anteriormente utilizado por la institución. El objetivo es demostrar y sobre todo medir el cambio existente en cuanto al consumo del recurso, que para este indicador es el agua de riego.

La importancia de reducir el consumo del recurso “agua” en un sistema de riego, no tiene impacto únicamente en cuanto a la reducción de costos de producción, también es importante tener en

cuenta que en la actualidad cualquier sistema productivo debe ser amigable con el ambiente, pues es un tema que cada vez ha tomado más importancia y nunca debe ser pasado por alto.

3.1.1.1 Consumo de agua del sistema de riego inicial.

El método de riego anteriormente utilizado por la institución, es el método por goteo, sin embargo como ya se ha detallado anteriormente, este se ejecutaba manualmente y sin control alguno que permita identificar el momento en que el terreno ya ha alcanzado la humedad óptima, a pesar de que se tomaban mediciones de muestreo, no existía ningún control y monitoreo en tiempo real tal y como se ha conseguido con la implementación del presente proyecto.

La institución guarda información de los porcentajes de humedad medidos para el riego parcial y del volumen aplicado por metro cuadrado para el riego, a pesar de que no se puede afirmar que aquellos datos hayan sido la realidad de la cantidad de riego diaria que recibía el terreno, esto se debe a que era posible observar como el sistema de riego se accionaba por horas, sin ningún control o monitoreo en tiempo real. En tal virtud para medir la cantidad de agua suministrada por cada ciclo de riego en la situación anterior de riego, se ha hecho uso de un análisis estadístico que mediante los datos proporcionados por la institución, permitan determinar la cantidad media del recurso que anteriormente era utilizado para un ciclo de riego.

Cabe resaltar, que a pesar de que en el sistema anterior, se efectuaban mediciones de los datos climatológicos, no había forma de ejercer un control del agua suministrada en tiempo real.

Con el objetivo de encontrar la media y desviación estándar del agua aplicada por cada ciclo de riego del sistema anterior, se evalúan un total de 15 observaciones, mismas que se representan a continuación en la Tabla 1-3. Y representan la cantidad de agua aplicada por cada metro cuadrado, en el sistema de riego activado manualmente que la institución aplicaba anteriormente.

Tabla 1-3: Toma de mediciones de agua vertida por m².

Fecha	N° Observaciones	Volumen de agua aplicado (cl/m ²)	Descripción estado del día	Humedad %	Tiempo de Riego HH:MM
01/01/2017	1	1311,3	Soleado	11,17	4
13/01/2017	2	1018,35	Soleado	13,36	5
14/01/2017	3	2999,25	Soleado	11,47	5:30
17/01/2017	4	813,75	Soleado	12,62	4:30
18/01/2017	5	1576,35	Soleado	9,9	4:30
21/01/2017	6	446,4	Nublado	8,95	4
23/01/2017	7	1469,4	Soleado	13,09	5
24/01/2017	8	2366,85	Soleado	8,94	5:30
27/01/2017	9	3059,7	Soleado	10,5	5
26/01/2017	10	3375,9	Soleado	11,31	5
29/01/2017	11	2790	Lluvioso	8,95	3
31/01/2017	12	2473,8	Soleado	9,62	4
02/02/2017	13	3971,1	Soleado	10	4
05/02/2017	14	1725,15	Soleado	7,57	5:30
06/02/2017	15	1260,15	soleado	17	5:30

Realizado por: Kleber Chulde, 2017

Partiendo de las detalladas observaciones es posible calcular, la media, desviación estándar y determinar el tipo de distribución que siguen las observaciones.

La media nos mostrará el promedio de agua que se requería anteriormente para efectuar el regadío por metro cuadrado, sin embargo determinar el tipo de distribución y la desviación estándar, ayudarán a realizar una comparación con el nuevo sistema y determinar si existe o no una diferencia significativa en cuanto al consumo de agua del método inicial como el método actual implementado.

Ecuación 1-3: Cálculo de la media aritmética

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde:

μ = Media aritmética

X_i = Valor de las observaciones

n = Número de observaciones

$$\mu = \frac{30657,45 \text{ cl/m}^2}{15}$$

$$\mu = 2043,83 \text{ cl/m}^2$$

Ecuación 2-3: Cálculo de la desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{N - 1}}$$

Donde:

σ = Desviación estándar

μ = Media aritmética

X_i = Valor de las observaciones

N = Número de observaciones

$$\sigma = \sqrt{\frac{15196892,66}{14}}$$

$$\sigma = 1041,87 \text{ cl/m}^2$$

A continuación en la Figura 1-3. Se muestra el histograma correspondiente a las observaciones tomadas del consumo de agua en el regadío por metro cuadrado.

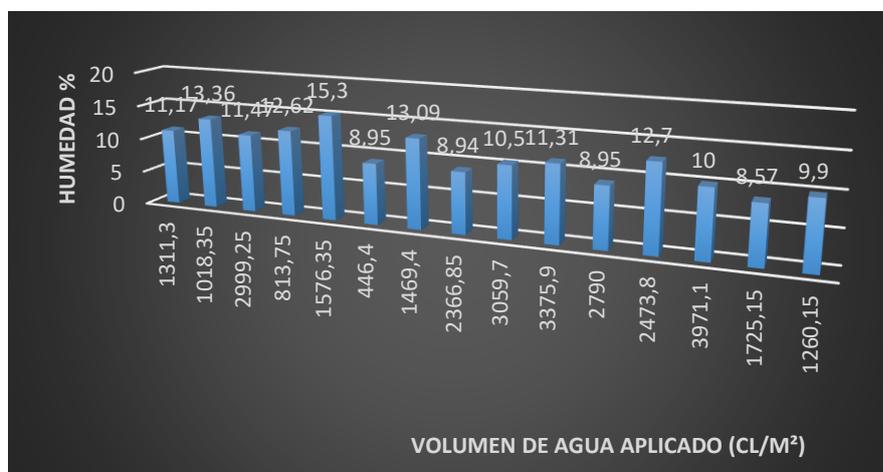


Gráfico 1-3: Histograma del consumo de agua por metro cuadrado del sistema de riego inicial

Realizado por: Kleber Chulde 2017.

Después del análisis realizado se puede concluir que la cantidad de agua consumida por metro cuadrado de riego es de 2043,83 cl/m² con una desviación estándar de 1041,87 cl/m² y una distribución normal de los datos, según el histograma realizado.

Partiendo de este resultado, se procede a realizar el mismo análisis para el nuevo sistema de regadío con el fin de compararlos entre sí y determinar si se dio o no una mejora con respecto a este indicador.

3.1.1.2 Consumo de agua del sistema de riego actual implementado.

De igual manera que en el caso anterior, se han tomado mediciones del agua consumida en un ciclo de riego, tales medidas corresponden al agua proporcionada por los goteros en un área de un metro cuadrado con el fin de realizar una comparación con los datos proporcionados por la institución del sistema de riego inicial. En la Tabla 2-3 se muestran las observaciones extraídas para el nuevo sistema de riego, mismas que han sido tomadas en días diferentes para la misma sección de terreno, pues el objetivo de este experimento es calcular la media y desviación estándar que el nuevo método impone con respecto al consumo de agua por ciclo diario de riego.

Tabla 2-3: Agua vertida por metro cuadrado

Fecha	Observación	Riego Parcial	Volumen de	Descripción	Temperatura °C	Humedad %	Rayos UV%	Tiempo de Riego
15/04/2017	1	Par	359,87	Lluvioso	19	13	1,2	2:00
16/04/2017	2	Impar	523,95	Nublado	19	12	1,5	2:30
20/04/2017	3	Par	1205,18	Soleado	22	11	2,1	3:10
21/04/2017	4	Impar	1556,58	Soleado	18	11	2,	3:15
25/04/2017	5	Par	1716,46	Soleado	20	11	2,4	3:21
26/04/2017	6	Impar	2096,13	Soleado	22	10	3,2	3:40
29/04/2017	7	Par	1463,38	Soleado	19	11	2,9	3:07
30/04/2017	8	Impar	2430,15	Soleado	21	10	3,2	3:50
02/05/2017	9	Par	921,26	Soleado	18	12	2,6	2:55
03/05/2017	10	Impar	1223,01	Soleado	18	11	2,8	3:13
14/05/2017	11	Par	289,91	Lluvioso	16	13	1,1	2:50
15/05/2017	12	Impar	1616,3	Soleado	21	11	2,4	3:17
21/05/2017	13	Par	2202,24	Soleado	22	11	3	3:30
22/05/2017	14	Impar	587,83	Nublado	29	12	2,7	2:45
25/05/2017	15	Par	271,94	Lluvioso	17	13	1,3	2:00

Realizado por: Kleber Chulde 2017.

Como se puede apreciar en la Tabla 2-3. El consumo de agua en días lluviosos es menor en comparación con los otros días, la explicación de este fenómeno se relaciona con el hecho de que gracias a los sensores del sistema de riego automático, se evita el riego en situaciones en que la planta no lo necesite, evitando así exceder el porcentaje de humedad adecuado y consiguiendo con esto un ahorro del recurso “agua”, afirmación que se demuestra estadísticamente más adelante.

De igual manera que para el caso anterior, se procede a calcular la media aritmética y la desviación estándar de las mediciones obtenidas en las 15 observaciones.

Ecuación 1-3: Cálculo de la media aritmética

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde:

μ = Media aritmética

X_i = Valor de las observaciones

n = Número de observaciones

$$\mu = \frac{18464,2 \text{ cl}}{15}$$

$$\mu = 1230,95 \text{ cl}$$

Ecuación 2-3: Cálculo de la desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{N}}$$

Donde:

σ = Desviación estándar

μ = Media aritmética

X_i = Valor de las observaciones

N = Número de observaciones

$$\sigma = \sqrt{\frac{17160111,42}{14}}$$

$$\sigma = 1107,12 \text{ cl/m}^2$$

A continuación en la Figura 2-3. Se muestra el histograma correspondiente a las observaciones tomadas del consumo de agua en el regadío de un metro cuadrado, del sistema actual implementado.

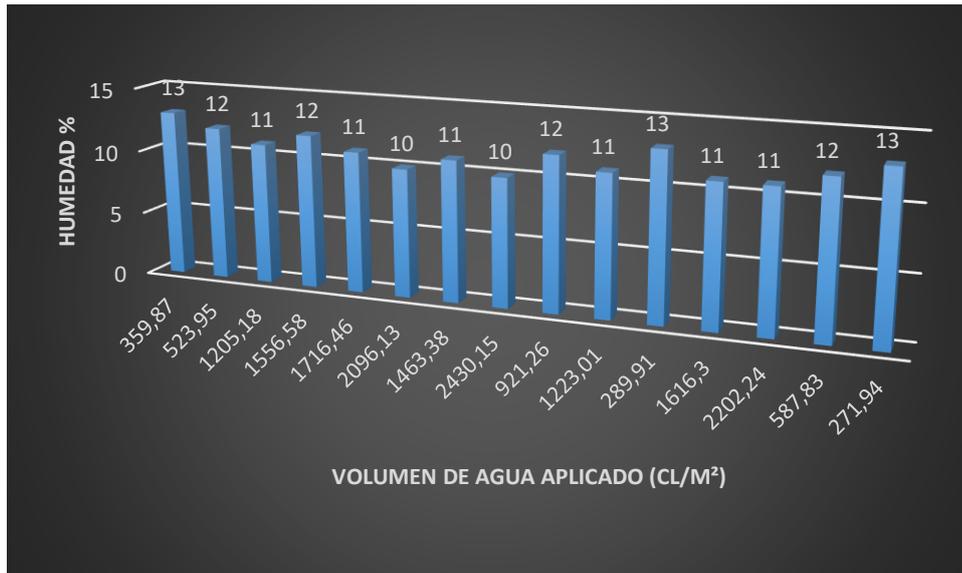


Gráfico 2-3: Histograma del consumo de agua por metro cuadrado
Realizado por: Kleber Chulde 2017.

Después del análisis realizado para el nuevo sistema implementado por el presente proyecto, se puede concluir que la cantidad de agua media consumida por cada metro cuadrado es de 1230,95 cl con una desviación estándar de 1107,12 cl/m² y una distribución normal de los datos, según el histograma realizado.

3.1.1.3 Comparación entre el método inicial con el actual implementado.

Con el análisis anterior hemos establecido, media y desviación estándar de los dos métodos de riego “manual y el automático” también se ha comprobado la distribución normal de los datos mediante el histograma, con la visualización de la campana de Gauss.

Con estos datos es posible efectuar un diseño experimental, en donde se comparen ambos métodos o “tratamientos” y determinar si existe o no diferencia significativa entre ellos.

En tal virtud y haciendo uso de métodos estadísticos válidos para diseño de experimentos, se efectúa un análisis ANOVA “One way – Análisis de varianza”, y se procede a establecer la hipótesis nula y alternativa.

Hipótesis nula: No existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Hipótesis alternativa: Existe diferencia significativa entre los tratamientos.

Seguido establecemos el nivel de significancia conforme al nivel de confiabilidad requerido, el cual se ha seleccionado en 95%.

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

A continuación en la Tabla 3-3 se muestran los resultados del ANOVA de una vía.

Tabla 3-3: Agua vertida por metro cuadrado

Prueba de Welch				
DF				
Fuente	Num	DF-Den	Valor-F	Valor-P
Factor	1	24,88	6,18	0,02
Resumen del modelo				
R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
18,09%	15,16%	5,97%		
Métodos				
Factor	N	Media	Dev.Est	95% Confiabilidad
Tratamiento 1	15	2044	1042	(1467; 2621)
Tratamiento 2	15	1231	720	(832; 1629)

Realizado por: Kleber Chulde 2017.

Como se puede apreciar en la Tabla 3-3. Al 95% de confiabilidad, el estadístico de prueba F, es igual a 6,18 y corresponde a un valor p de 0,02, mismo que es menos que $\alpha = 0,05$.

Por tanto se concluye:

Existe diferencia significativa entre los tratamientos, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

A continuación se muestra la gráfica de intervalos.

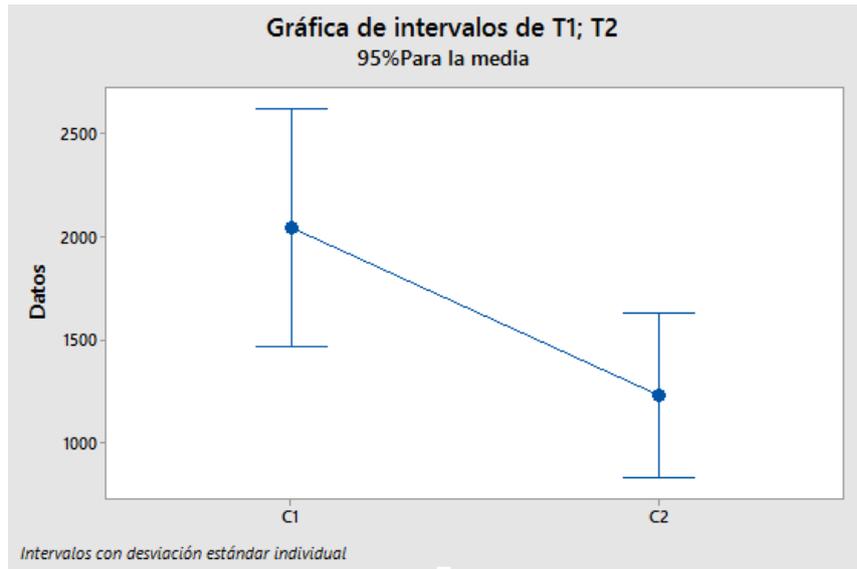


Gráfico 3-3: Gráfica de intervalos de los tratamientos.
Realizado por: Kleber Chulde 2017.

En la gráfica se puede visualizar claramente la diferencia que existe entre el método inicial con el método actual implementado, se ha conseguido un consumo de agua menor por medio de la implementación, afirmación que ha sido comprobada estadísticamente.

No es posible determinar un porcentaje de ahorro de agua fijo conseguido con el nuevo sistema debido a que dependerá de los factores climatológicos, que gracias al sistema sensorial implementado, se verterán cantidades irregulares de agua a la parcela, sin embargo, mediante una comparación entre medias, se puede estimar que el ahorro en cuanto al consumo de agua se encuentra alrededor del 40%.

3.1.2 Uniformidad de riego

Se entiende por uniformidad de riego a la diferencia entre las cantidades de agua suministradas a cada planta, mientras menor sea esta diferencia, mayor uniformidad de riego posee el sistema.

Con el fin de realizar una medición cuantitativa de la uniformidad de riego del sistema, se ha procedido a tomar mediciones con respecto al agua suministrada por gotero individual, el objetivo es determinar qué tan parecidas son las cantidades de agua que el sistema suministra a las plantas para poder así calcular la uniformidad de riego.

La desviación estándar de las medidas es un indicador de uniformidad de riego debido a que la misma representa el promedio de la cantidad en que se dispersan los datos, es decir el promedio de la diferencia existente entre la cantidad de agua suministrada a cada planta, tal desviación no es posible eliminarla por medio del sistema de riego por goteo, debido a las pérdidas producidas por fricción en la tubería y por el estado de obstrucción de los goteros, sin embargo si es posible reducirla significativamente en comparación con otros métodos de riego.

Para realizar la toma de mediciones se necesita primero establecer un tamaño de muestra, misma que depende de la cantidad de la población y el nivel de confiabilidad establecido.

El área cubierta por el sistema de riego es de dos mil metros cuadrados aproximadamente, en donde se estima un total de 24840 goteros, cantidad que corresponde al tamaño de la población.

Ecuación 3-3: Tamaño de muestra

$$n = \frac{N}{e^2(N - 1) + 1}$$

Donde:

N = Población

n = Muestra

e² = Error o precisión admisible con que se tome la muestra (0.1%)

$$n = \frac{24840}{0.1^2(24840 - 1) + 1}$$
$$n = 99,60 \cong 100$$

Habiendo establecido el tamaño de muestra, se procedió a tomar las mediciones y a continuación se exponen los resultados, en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Comparación desviación estándar en el consumo de agua

Muestras de volumen de agua suministrado por gotero (ml)				
2138	2590	2061	2886	1534
2530	1676	2473	2231	2159
2404	2388	2448	2088	2435
2132	2164	2810	2059	2192
2118	2507	1869	2244	2112
2277	2107	2261	2070	1972
1463	2444	2131	1731	2113
2575	2636	1709	2305	2532
2245	2750	2092	2377	2692
2076	1981	2224	2799	2342
2557	2263	2556	2502	2871
1873	2366	1748	2083	2434
2421	2503	2032	2272	2188
1844	2468	2207	2244	2398
2304	1770	2491	2856	2122
2391	2273	2229	2649	2496
2665	2296	2142	2396	2170
2200	2315	2334	1906	2488
1932	2253	2062	2301	2305
2031	2324	2454	2389	2506

Realizado por: Kleber Chulde 2017.

Después de haber tomado muestras del agua suministrada por cada gotero en un ciclo de riego, se procede a calcular la media y desviación estándar de los datos, lo cual será de utilidad para el cálculo del coeficiente de uniformidad según HART.

Ecuación 1-3: Cálculo de la media aritmética

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde:

μ = Media aritmética

X_i = Valor de las observaciones

n = Número de observaciones

$$\mu = \frac{227032 \text{ ml}}{100}$$

$$\mu = 2270,32 \text{ ml}$$

Ecuación 2-3: Cálculo de la desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{N}}$$

Donde:

σ = Desviación estándar

μ = Media aritmética

X_i = Valor de las observaciones

N = Número de observaciones

$$\sigma = \sqrt{\frac{8018539,76}{99}}$$

$$\sigma = 284,6 \text{ ml}$$

Ya habiendo calculado la media y desviación estándar, se procede al cálculo del coeficiente de uniformidad según HART.

Ecuación 4-3: Coeficiente de uniformidad según HART

$$CU_{HART} = (1 - 0,798 * \frac{S}{\mu}) 100$$

Donde:

CU_{HART} = Coeficiente de uniformidad según HART

μ = Media aritmética

S = Desviación estándar

$$CU_{HART} = 1 - 0,798 * \frac{284,6}{2270,32} * 100$$

$$CU_{HART} = 90 \%$$

Finalmente se evidencia cuantitativamente el coeficiente de uniformidad de riego, mediante el sistema actual implementado, se consigue una uniformidad del 90% lo cual es clara muestra de un sistema de riego eficiente.

La uniformidad de riego, garantiza que todas las plantas bajo el sistema reciban un suministro de agua adecuado y posteriormente también se conseguirá uniformidad entre los frutos cosechados, puesto que todas las plantas reciben la misma calidad de atención.

3.2 Mantenimiento del sistema automático de riego por goteo parcial implementado

El sistema de riego parcial por goteo permite aplicar la misma cantidad de agua, para ello la instalación debe contener equipos que ayuden a cumplir este propósito como son el cabezal de riego, la red de distribución y los elementos de control.

El cabezal de riego esta conformados por los equipos de bombeo y filtrado que regulan y envían el líquido hasta los emisores, la red de distribución compuesta por tuberías de aspiración e impulsión son los elementos que conducen el agua desde el cabezal de riego hasta los goteros. Los elementos de control son los equipos que miden y permiten el buen funcionamiento del sistema. Se recomienda inspeccionar las condiciones de trabajo acorde a las actividades de la tarjeta de mantenimiento con el propósito de prevenir futuros problemas con el sistema de riego.

Tabla 5-3. Tarjeta de mantenimiento para el sistema de bombeo

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO				CÓDIGO	TM-001
	-				VERSIÓN	2017
	TARJETA DE MANTENIMIENTO				PÁGINA	1 de 1
RESPONSABLE	-		CÓDIGO		-	
EQUIPO	Bombeo		MARCA		PEDROLLO	
MODELO	PK		SERIE		m60	
INFORMACIÓN	Manuales		Planos		Repuestos	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO
	X		X		X	

PARTES	ACTIVIDAD	TIEMPO
Cuerpo Bomba	Inspección de ruidos inusuales	Diario
Cuerpo Bomba	Inspección de vibraciones	Diario
Cuerpo Bomba	Limpieza general	Semanal
Red de descarga	Vigilar el caudal de descarga	Semanal
Soporte	Inspección de pernos de sujeción	Mensual
Conexión eléctrica	Inspeccionar los cables eléctricos	Mensual
Condensador	Reemplazar	Anual
Rodamientos	Limpieza y lubricación	Anual
Rodamientos	Verificar el desgaste de la superficie	Anual

Realizado por: Kleber Chulde, 2017.

Para verificar el buen funcionamiento de la bomba se debe inspeccionar a diario que el equipo no emita ruidos inusuales, trabaje a bajas temperaturas y que las vibraciones que se produzcan sean normales, la persona encargada tiene la tarea de controlar estos parámetros durante el proceso de riego, al excederse se procederá a parar el sistema con el fin de identificar la causa del problema y posteriormente ejecutar una solución. Respecto al ruido anormal se le atribuye causas como rodamientos desgastados cuya solución es reemplazarlos, otra causa posible es que el impulsor se encuentre suelto o haya presencia de cuerpos ajenos en el interior para lo cual se recomienda ajustar el impulsor o a su vez desarmar la bomba y limpiarla, la última causa previsible puede ser un flujo excesivo cuya medida sería el suministrar el caudal permitido de acuerdo a las especificaciones del equipo. Respecto a la temperatura o sobre calentamiento de la bomba puede ser causado en primer lugar por el impulsor que se encuentre atascado, además otra razón puede ser la conexión eléctrica o un voltaje de alimentación distinto al de la conexión interna de la bomba, otra causa puede ser que haya falta de ventilación.

La actividad de limpieza general tiene el propósito de eliminar la suciedad conservando el equipo de bombeo en favorables condiciones y así evitar el fallo prematuro de las partes que lo componen, para lo cual se recomienda que se haga uso de agua limpia con jabón suave para eliminar el exceso de polvo en la parte exterior (cuerpo de la bomba, tapa bornera, tapa ventilador) generado durante el riego, en el interior del equipo (ventilador) se recomienda limpiar las partes con aire comprimido seco para retirar el material particulado y solución jabonosa para asear el exceso de barro, esta actividad será realizada semanalmente para reducir la acumulación de polvo impidiendo que se origine humedad y con ello la aparición de corrosión. La bomba debe limpiarse cuando haya suministrado agua sucia debido que permanecen residuos y pueden causar daños en

el impulsor, para esto se recomienda dejar que funcione durante unos minutos con agua limpia enjuagándola a través de la red de descarga.

Se recomienda inspeccionar el caudal de descarga semanalmente si el equipo de bombeo no suministra la cantidad de agua requerida o se distribuye en mínimas cantidades para el sistema de riego, este problema puede ser causado por obstrucciones en las tuberías, para lo cual se debe realizar una limpieza de las mismas, otra causa puede ser si el nivel del líquido es demasiado bajo, para este punto se aconseja comprobar el funcionamiento del sensor de nivel. Otra causa posible es si el impulsor gira en dirección equivocada para lo cual la persona a cargo del mantenimiento debe corregir el cableado interno.

Se debe inspeccionar el estado de las conexiones eléctricas, los cables no deben estar aplastados, doblados ni mucho menos pelados, éstos siempre deben estar en un buen estado, si la bomba se instala en ambientes externos los cables tienen que poseer un recubrimiento adecuado en caucho. El personal a cargo debe verificar en primer lugar que se use el calibre adecuado de cable para transportar la corriente, si fuera un número inferior causarían una caída de tensión provocando un sobrecalentamiento del motor, el tipo de conductor recomendado es el número 16. Las extensiones de los cables serán empalmados y cubiertos con aislante para evitar que se mojen.

El personal a cargo debe examinar que el equipo de bombeo se encuentre sujeto a la base apropiadamente durante su funcionamiento, los soportes deben ser capaces de absorber las vibraciones generadas y a la vez mantener estable la unidad de la bomba permanentemente, se recomienda que cada mes se verifique el estado de los pernos, tornillos y tuercas, estos tienen que estar bien apretados y si es necesario sustituir a los que lo necesiten

Se recomienda reemplazar los condensadores al transcurso de un año programando el cambio para que no surjan inconvenientes inesperados durante el trabajo, gran parte de estos se queman en un periodo aproximado a un año lo cual causa que el equipo de bombeo no se encienda, para prevenir tal problema se aconseja realizarlo como medida de prevención.

Acerca de los rodamientos el personal a cargo del mantenimiento debe inspeccionar el estado de la superficie de los mismos buscando que no se hayan desgastado durante su funcionamiento si fuera el caso deben ser reemplazados al igual se recomienda que una vez por año sean lubricados y que se realice una limpieza general.

Como recomendaciones específicas al final de la temporada de riego se debe drenar el agua de la bomba para evitar cualquier daño posible y prevenir la corrosión. Al volver a iniciar la temporada de riego se aconseja realizar una limpieza general y examinar las partes móviles que hayan sufrido desgaste para tener el criterio de reemplazarlas o seguir trabajando con normalidad además se debe verificar los empaques del eje motor y de la carcasa para prevenir fugas de agua.

Tabla 6-3. Tarjeta de mantenimiento para el sistema de filtrado

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO		CÓDIGO	TM-002		
			VERSIÓN	2017		
	TARJETA DE MANTENIMIENTO		PÁGINA	1 de 1		
RESPONSABLE	-		CÓDIGO	-		
EQUIPO	Filtrador de anillas		MARCA	Netafim		
MODELO	1 ½”		SERIE	FM-F7-033		
INFORMACIÓN	Manuales		Planos		Repuestos	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO
	X		X		X	
PARTES	DESCRIPCIÓN				TIEMPO	
Filtro	Controlar si no existe taponamiento				Diario	
Cuerpo y tapa	Inspeccionar que no hay golpes y fugas				Diario	
Anillas	Limpiar de impurezas y remplazarlos cuando se hayan desgastado				Semanal	

Realizado por: Kleber Chulde, 2017

La persona a cargo del mantenimiento debe controlar y evitar que se sobrecaliente el filtrador del líquido, se debe mantener el equipo a una temperatura adecuada para que los discos internos no se deterioren y permitan tamizar las impurezas provenientes del depósito de agua con regularidad. No se debe utilizar el filtro con agua caliente ni mucho menos con una presión de agua mayor a 100 psi. Se recomienda realizar esta actividad a diario.

El personal debe examinar el equipo filtrador visualmente para confirmar el buen estado del mismo, la parte externa del cuerpo es de plástico propensa a romperse fácilmente por golpes, esta actividad debe llevarse a cabo cada día para comprobar que no haya sufrido algún impacto o que el filtro se haya roto lo cual causaría pérdidas del líquido, si se producen fugas otra causa posible es que el sello entre el vaso y la tapa del filtro no se encuentra en buenas condiciones para lo cual se recomienda colocar teflón y apretarlo firmemente.

Limpiar el filtro de anillas de impurezas como son la arena, tierra o sedimentos es una actividad que se recomienda realizarla mensualmente para evitar la acumulación de material particulado y así prevenir que se taponen las tuberías de la red de distribución. La limpieza debe realizarse de forma manual para lo cual se procede primero en interrumpir el flujo y garantizar que no haya presión, después se desmonta el equipo y se suministra agua limpia a presión para que el líquido arrastre las impurezas, en cuanto a los filtros se puede emplear cepillos de plástico con cerdas suaves, en el caso de presentarse material biológico o presencia de algas se aconseja dejar en remojo por unos minutos en un balde de agua y posteriormente cepillarlo. Al realizar la limpieza de debe tener cuidado en no perder los empaques del filtro.

Tabla 7-3. Tarjeta de mantenimiento para la red de distribución

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO				CÓDIGO	TM-003
					VERSIÓN	2017
	TARJETA DE MANTENIMIENTO				PÁGINA	1 de 1
RESPONSABLE	-		CÓDIGO		-	
EQUIPO	-		MARCA		-	
MODELO	PVC		SERIE		-	
INFORMACIÓN	Manuales		Planos		Repuestos	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO
		X		X	X	
PARTES	DESCRIPCIÓN				TIEMPO	
Tuberías	Inspección de tuberías primarias y secundarias				Diario	
Laterales	Verificar la distribución del agua				Diario	
Tuberías	Limpieza de los laterales				Semanal	

Realizado por: Kleber Chulde, 2017

El mal funcionamiento de las tuberías en la red de distribución de un sistema de riego se presenta comúnmente por deficiencias en la instalación, materiales defectuosos a causa de golpes o roturas. Se debe examinar visualmente haciendo recorridos continuos y programados alrededor de las tuberías con la finalidad de verificar que no exista fugas o pérdida de agua, además se debe inspeccionar la instalación de las tuberías especialmente en el embone de las mismas haciendo observaciones en puntos donde haya humedad, o diferencia de vegetación. Las roturas de las tuberías generalmente se dan por golpes de animales durante los trabajos en el cultivo para lo cual se debe limitar la zona de riego.

En cuanto a las tuberías laterales que realizan la función de aspersión, su posición influye directamente en la uniformidad de riego por tal motivo se debe verificar si se distribuye

correctamente el agua, al colocarse en una mala posición el suministro del líquido no es igual en todos los sectores provocando que se aplique grandes cantidades de agua en algunas zonas y poca en otras.

La tarea del personal es ubicar los laterales de acuerdo a la forma del terreno estableciendo la longitud apropiada de los laterales para evitar dificultades de traslado, además de considerar el tipo de cultivo para colocar las tuberías a la altura adecuada cubriendo la zona de riego correctamente.

Si es necesario se debe reemplazar las tuberías ya sea el caso por insuficiente capacidad de riego, desgaste o antigüedad. Otra actividad que se debe prevenir es que al interior de las tuberías no se presente acumulación de aire debido que esto reduce la capacidad de conducción del líquido y puede impedir el paso del agua.

Respecto a la actividad de limpieza de la red de distribución se recomienda realizarla semanalmente dependiendo de la calidad del agua y con mayor frecuencia en invierno, para efectuar esta tarea se procede a clasificar los inconvenientes más comunes de acuerdo al tipo de obstrucción que puede presentarse en las tuberías, las mismas que pueden ser de tipo físico, biológico o químico. Para las obstrucciones físicas producidas se recomienda limpiar las tuberías principales y secundarias al comenzar, al finalizar o cuando ocurra alguna reparación en la instalación del sistema de riego con el propósito de eliminar todos los residuos acumulados en el interior como el caso de arcilla, arena, tierra etc., para lo cual se aplica un lavado simple realizado con el paso del agua a presión por las tuberías del sistema. Si además de los sólidos en suspensión se identifica obstrucciones del tipo biológico es decir se presentan grandes cantidades de algas, hongos o bacterias los mismos que al tener contacto con las tuberías forman depósitos gelatinosos en las paredes que impiden que el líquido fluya y que para solucionarlo se recomienda lavar las tuberías con hipoclorito de sodio aplicado al final del riego en los últimos 10 minutos de tal forma que permanezca en el interior de la tubería hasta la siguiente actividad de riego, es preferible conservarlo en la tubería en un periodo máximo de 12 horas teniendo en cuenta que este último un producto peligroso con el que se debe cumplir con las normas exigidas para su manipulación y nunca se mezclara con ácidos lo cual causaría el desprendimiento de cloro que es sumamente tóxico para las personas. En el caso de obstrucciones químicas (precipitados de hierro o carbonato cálcico) debido al riego con aguas alcalinas, para ser disueltas se deben tratar a base de ácidos.

Tabla 8-3. Tarjeta de mantenimiento para los elementos de control

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO				CÓDIGO	TM-004
					VERSIÓN	2017
	TARJETA DE MANTENIMIENTO				PÁGINA	1 de 1
RESPONSABLE	-		CÓDIGO		-	
EQUIPO	-		MARCA		-	
MODELO	-		SERIE		-	
INFORMACIÓN	Manuales		Planos		Repuestos	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO
	X		X		X	
PARTES	DESCRIPCIÓN					TIEMPO
Sensor de Rayos UV	Inspección y limpieza					Diario
Sensor de Humedad	Inspección y limpieza					Semanal
Sensor de Lluvia	Inspección y limpieza					Semanal
Sensor de Temperatura	Inspección y limpieza					Semanal

Realizado por: Kleber Chulde 2017.

Las recomendaciones para el medidor de presión son primero comprobar el estado de la tapa y del cabezal, asegurarse que no se hayan formado condensaciones dentro del cabezal y además de verificar las conexiones eléctricas.

En cuanto al medidor de caudal se recomienda inspeccionar que el instrumento permanezca completamente lleno para evitar errores de medición, durante mediciones en ambientes húmedos se debe garantizar que no ingrese agua al caudalímetro.

Para la limpieza de estos equipos se utiliza simplemente un paño húmedo con agua limpia y detergente suave evitando el uso de agentes químicos, abrasivos o disolventes.

El mantenimiento para los sensores de humedad, lluvia y temperatura se refiere al control respecto a su funcionamiento de igual forma no requieren varias actividades debido a que son pequeños componentes eléctricos instalados en la placa Arduino.

El sensor de humedad después varias humectaciones y secados pierde fiabilidad para lo cual se recomienda reemplazarlo al cabo de un año, lo aconsejable es examinar una vez por semana

comprobando que no tenga suciedad, restos vegetales, restos animales, polvo o productos químicos.

Se debe controlar que los cables no se encuentren dañados, con cortes, aplastados o con rozaduras.

Para la limpieza de los sensores solo hace falta el uso de agua limpia un paño suave y húmedo, no se utiliza productos como detergentes o disolventes.

Tabla 9-3. Tarjeta de mantenimiento para el panel solar

	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO				CÓDIGO	TM-004
					VERSIÓN	2017
	TARJETA DE MANTENIMIENTO				PÁGINA	1 de 1
RESPONSABLE	-		CÓDIGO		-	
EQUIPO	-		MARCA		-	
MODELO	-		SERIE		-	
INFORMACIÓN	Manuales		Planos		Repuestos	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO
	x		x		x	
PARTES	DESCRIPCIÓN					TIEMPO
Módulo	Inspección del estado y conexiones eléctricas					Diario
Módulo	Limpieza general					Semanal
Módulo	Control de batería					Trimestral
Soporte	Inspección					Anual

Realizado por: Kleber Chulde 2017.

Para las actividades de mantenimiento se recomienda inspeccionar los módulos de forma periódica con el propósito de identificar señales de daño, los módulos que se encuentren en estado deteriorado deben ser sustituidos de inmediato. Respecto a las conexiones eléctricas la persona quien se encuentre a cargo debe comprobar que los cables no presenten corrosión o humedad y estén bien sujetos.

La limpieza general del panel solar será realizada una vez por semana para evitar la acumulación de grandes cantidades de polvo, suciedad, hojas, ramas o insectos en la superficie del módulo para lo cual es necesario lavarlos con agua y no emplear limpiadores abrasivos o sustancias químicas ya que las acciones de estos desgastan las células fotovoltaicas teniendo como consecuencia la

falla total del panel. Se recomienda realizar esta actividad en hora de la tarde o noche para no perjudicar el panel.

El control de temperatura se realizará trimestralmente con el propósito mantener todos los puntos del panel en el rango de temperatura admisible por el fabricante y se verificará con mayor frecuencia en verano.

La estructura y los soportes del panel solar debe ser examinado una vez al año para comprobar que no haya deformidades o grietas, se verificará el estado de fijación de la estructura controlando el ajuste de los tornillos, si el elemento presenta defectos será necesario remplazarlo.

CONCLUSIONES

- Los sensores de humedad, temperatura, radiación ultravioleta y lluvia, conforman entre sí todos los instrumentos necesarios para llevar a cabo un monitoreo eficaz que permita controlar por completo la cantidad de agua suministrada al cultivo.
- El uso de la interfaz hombre máquina, permite al usuario un monitoreo constante de fácil entendimiento, por lo que se garantiza que cualquier persona pueda hacer uso del sistema.
- El sistema de riego por goteo parcial posee una uniformidad de riego óptima en comparación con otros sistemas, pues se comprobó que la uniformidad de riego del sistema implementado es del 90%, lo cual es un porcentaje óptimo para la producción agrícola.
- Los resultados recopilados de investigaciones en cuanto al método idóneo de riego de los cultivos de la ESPOCH, se determinó que el porcentaje de humedad idóneo es del 14% y el agua debe ser suministrada a la planta cada vez que haya consumido un 10% de su reserva.
- La implementación del sistema de riego automatizado, por medio de sensores de control de clima y humedad, se logró un ahorro del recurso “agua” equivalente al 40%. Haciendo relación con el consumo del sistema manual anterior.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda no exceder el porcentaje de humedad establecido como óptimo, el cual equivale al 14%, pues se ha determinado que este porcentaje es el óptimo para un correcto desarrollo del cultivo
- Se recomienda llevar a cabo las tareas de mantenimiento establecidas en el capítulo tres, debido a que con ellas se garantiza el correcto funcionamiento del sistema y un tiempo de vida adecuado del mismo
- Capacitar a los trabajadores, estudiantes del Centro Experimental del Riego que utilizaran el sistema automatizado de riego por goteo parcial a campo abierto, para un óptimo funcionamiento del sistema y no presente daños por incorrecta manipulación.
- A pesar de haber incorporado en el sistema la opción de cambiarlo a modo manual, se recomienda mantenerlo en automático debido a que en este modo se hace uso de todo el equipo sensorial para mantener un porcentaje de humedad adecuado
- Se recomienda almacenar un historial diario de los datos arrojados por el sistema de monitoreo, con el fin de poder llevar a cabo un control estadístico que permita detectar cualquier anomalía, o en su caso mejorar la calibración posteriormente.

BIBLIOGRAFÍA

Amézquita, Edgar. *Requerimientos de agua y nutrición de cultivo de flores.* Cali : CIAT, 2012, p. 237.

Gutiérrez, Joan Bocanegra. *Automatización industrial.* 2014. [Consulta: 2017-04-29]. Disponible en: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Automatizacion-industrial,-del-vapor-a-la-luz+98162>.

LEROY. *Productos de riego.* 2016. [En línea] . [Consulta: 2016-12-6]. Disponible en: http://www.leroymerlin.es/productos/jardin/riego/programadores_de_riego/como-elegir-programadores-de-riego.html.

León Ruiz, J., Benalcazar, P., Segovia, J., & Cevallos, J. *Influencia de tres niveles de humedad en el suelo para el cultivo de la papa (Solanum tuberosum) Var Victoria.* Riobamba, Chimborazo, Ecuador:E-COPYCENTER,2017,pp3-10.

OGATA, K. *Ingeniería de Control Moderno.* 3ª ed. Madrid-España : Pearson Prentice Hall, 1998, pp. 140-350.

Pardo Alonso, José Luis. *Montaje y puesta en marcha de sistemas robóticos y sistemas de visión.* Almeria : IC Editorial, 2013. pp. 54-57.

Rodríguez, A. *Conexiones Arduino.* 2014. [Consulta: 2016-12-6]. Disponible en: http://tcsindustrial.com/files/Arduino_PLC.pdf

Rodríguez, A. *My Robot Self.* 2016. Obtenido de Sensor de humedad del suelo. [Consulta: 2017-04-19]. Disponible en: <https://myrobotself.com/2016/07/23/sensor-de-humedad-del-suelo-modulos-y1-69-y-y1-38/>

Ruiz Canales, A., & Molina Martínez, J. M. *Automatización y telecontrol de sistemas de riego.* Barcelona: Marcombo. 2011. pp 15-22

SIEMENS. 2013. *Siemens HMI.* Obtenido de Visualización SIMATIC HMI. [Consulta: 2017-02-11]. Disponible en:http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/hmi/pages/simatic_hmi_1.aspx.

Vásquez, A & Vázquez, I. *Principios básicos del riego.* 2012. Lima: FIMART. pp 19-169.

ANEXOS

Introducción

El equipo de comunicación AD-XXX tiene como objetivo la realización de enlaces inalámbricos de forma simple y automática para cualquier equipo industrial o comercial que posea interfaz RS232 o RS485. Además, el equipo cuenta con una entrada especial de comunicación UART TTL por bornera de tal forma de poder adaptar la placa a sistemas embebidos con microcontroladores. Para la conexión de datos cuenta con un conector DB9 y también por bornera. La alimentación del equipo es de 5Vcc por conector plug y bornera.

Características generales

CARACTERÍSTICAS	ADC-200	ADC-802
GABINETE	OEM – SIN CAJA	
ALIMENTACION	5VCC (POR BORNERA O CONECTOR PLUG)	
CONSUMO	60mA	500mA
ALCANCE	1000 mts	3000 mts
MODULO APPCON	APC200	APC802
BUFFER DE DATOS	256 BYTES	
CONEXIÓN PARA ANTENA	SMA	
IMPEDANCIA ANTENA	50 OHM	
INTERFAZ COMUNICACIÓN	RS232 / RS485 / UART TTL	
CONEXIÓN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	DB9 / BORNERA	
INDICADORES	LED POWER	
FIJACION	RIEL DIN / 4 AGUJEROS PARA TORNILLOS DE 1/8	
MEDIDAS	8,4 cm x 6 cm	

Tabla 1

Características de RF

El AD-xxx tiene diferentes parámetros que controlan las características de sus enlaces de RF. Estos parámetros se configuran a través del software suministrado con el equipo. La tabla 2 indica los parámetros que se pueden programar.

PARAMETRO DE RF	AD-200	AD-802
FRECUENCIA	431 a 470 Mhz mas de 100 canales	418 a 455 Mhz mas de 100 canales
BAUDE RATE	2400 a 9600 bps	2400 a 19200 bps
POTENCIA	1-10 (10 = 20mW)	0-9 (9 = 500mW)
SOFTWARE	RF MAGIC V4.2	RF MAGIC V1.2

Tabla 2

El modelo AD-802 soporta el seteo on-line de parámetros al disponer del pin de SET. Lo cual le permite cambiar el valor de sus parámetros desde la propia aplicación del usuario. (Ver más adelante en "Programación de parámetros").

Características de interfaz

Los equipos AD-XXX disponen de distintas interfaces para la comunicación de datos con otros dispositivos electrónicos.

Las interfaces para la transferencia de datos son UART TTL, RS232, RS485. En la tabla 3 podemos ver sus características y sus parámetros de configuración para cada modelo.

PARAMETRO	AD-200	AD-802
UART TTL	SI	SI
RS232/485	Se selecciona por soft	Fijo por hardware (*)
BAUDE RATE	2400 a 19200 bps	2400 a 57600 bps
PARIDAD	PAR / IMPAR / SIN PARIDAD	

Tabla 3

(*) El modelo AD-802 viene en dos versiones diferentes, la versión AD802/232 y la AD802/485 las cuales tiene interfaces series RS232 y RS485 respectivamente.

El modelos AD200 utiliza los mismos bornes para RS232 y RS485 indicando a través del software RF MAGIC 4.2, el tipo de interfaz que se va a utilizar.

Los bornes de comunicación UART TTL son fijos y están presentes en todos los modelos.

IMPORTANTE!!! No pueden utilizarse en un mismo equipo la interfaz UART y la interfaz RS232/485 al mismo tiempo. Para el uso de una interfaz, los bornes de la que no se utiliza se deben mantener sin conectar.

Anexo A. Datasheet Apc200a



Anexo B. Rango de alcance, módulo de comunicación RF



Anexo C. Protector de Tablero de control

INDUSTRIAL SHIELDS

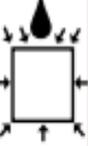
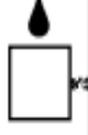
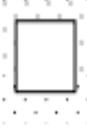
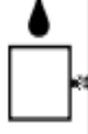
A compact PLC based in Open Source Hardware technology. With different Outputs Units.

Previous

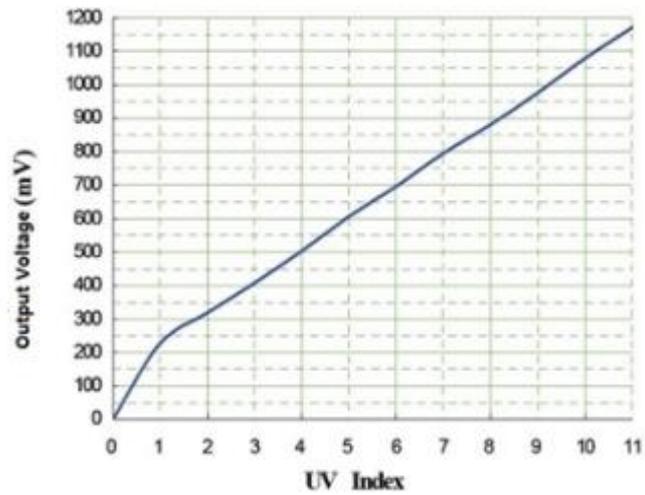
CONECTABLE PLC ARDUINO 24Vcc M-DUINO				
MODEL TYPE	21 I/Os	42 I/Os	58 I/Os	
Input Voltage	12- 24Vdc			Fuse protection (1A) Polarity protection
I max.	0,5A			
Size	101x119.5x70.1	101x119.5x94.7	101x119.5x119.3	
Clock Speed	16MHz			
Flash Memory	256KB of which 8KB used by bootlader			
SRAM	8KB			
EEPROM	4KB			
Communications	I2C ² - Ethernet Port - USB - RS485 - RS232 - SPI - (2x) Rx, Tx (Arduino pins)			Max232-Max485-W5100
TOTAL Input points	13	26	36	
TOTAL Output points	11	22	30	
Type of signals				
An/Dig Input 10bit (0-10Vcc)	6	12	16	0-10V Input Impedance: 39K Separated PCB ground
Digital Isolated Input (24Vcc)	7	14	20	5/12/24Vdc I min: 2/6/12 mA Galvanic ISOLATION
* Interrupt isolated Input HS (24Vcc)	2	4	6	5/12/24Vdc I min: 2/6/12 mA Galvanic ISOLATION
Analog Output 8bit (0-10Vcc)	3	6	8	0-10 Vdc I max: 40 mA Separated PCB ground
Digital Isolated Output (24Vcc)	8	16	22	5/12/24 Vdc I max: 0.3 A Galvanic ISOLATION Diode Protected for Relay
PWM Isolated Output 8bit (24Vcc)	3	6	8	5/12/24 Vdc I max: 0.3 A Galvanic ISOLATION Diode Protected for Relay
Expandability	I2C - 127 elements - Serial Port RS232/RS485			

Anexo D. Datasheet PLC Arduino

Calificaciones IP para gabinetes

Primer número		Segundo número	
IP	Prueba IP	IP	Prueba IP
0	 Sin protección	0	 Sin protección
1	 Protegido contra objetos sólidos de hasta 50 mm, p.ej. toque accidental con las manos	1	 Protegido contra gotas de agua que caen verticalmente, p.ej. condensación
2	 Protegido contra objetos sólidos de hasta 12 mm, p.ej. dedos	2	 Protegido contra el rocío directo de agua hasta 15° de la vertical
3	 Protegido contra objetos sólidos de más de 2.5 mm, p.ej. herramientas y alambres	3	 Protegido contra el rocío a 60° de la vertical
4	 Protegido contra objetos sólidos de más de 1 mm	4	 Protegido contra el rocío de agua desde todas las direcciones (se permite un ingreso limitado)
5	 Protegido contra el polvo (ingreso limitado, sin acumulación dañina)	5	 Protegido contra chorros a baja presión de agua desde todas las direcciones (se permite un ingreso limitado)
6	 Totalmente protegido contra el polvo	6	 Protegido contra chorros fuertes de agua
		7	 Protegido contra los efectos de inmersión entre 15 cm y 1 m

Anexo E. Calificaciones IP gabinetes



紫外线指数 UV Index	0	UV INDEX 1	UV INDEX 2	UV INDEX 3	UV INDEX 4	UV INDEX 5
Vout(mV)	<50	227	318	408	503	606
紫外线指数 UV Index		UV INDEX 6	UV INDEX 7	UV INDEX 8	UV INDEX 9	UV INDEX 10
Vout(mV)		696	795	881	976	1079
						1170+

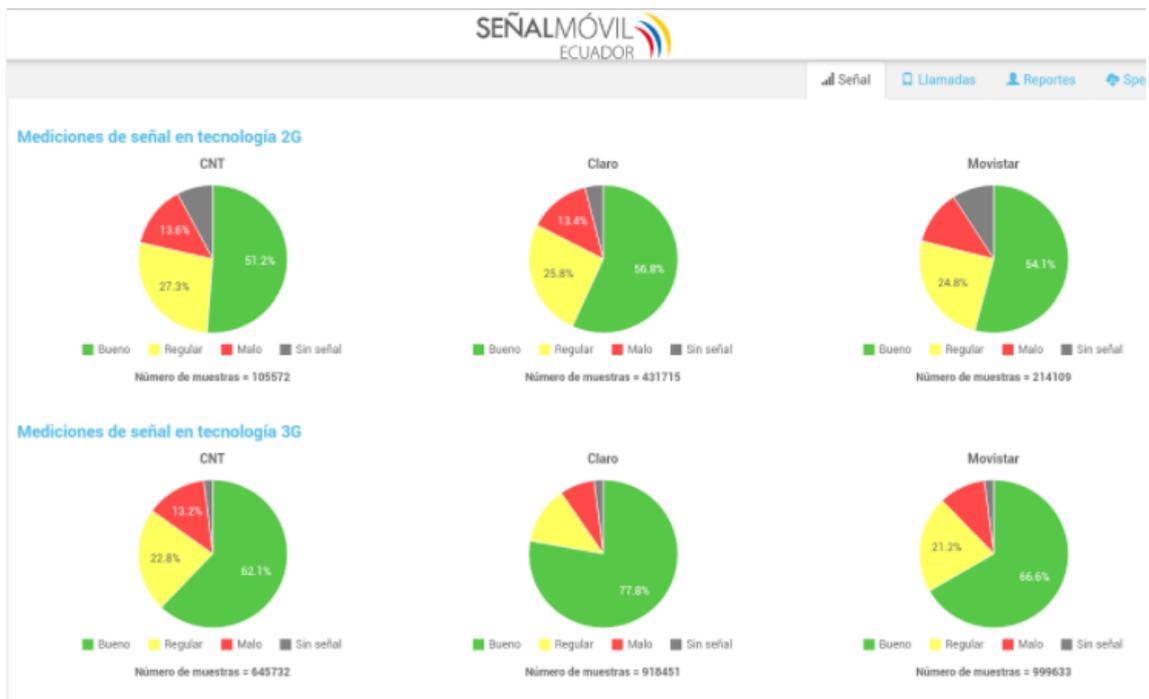
Anexo F. Parámetros sensor Rayos Uv



Anexo G. Controlador panel solar

Dimensiones				Área cm ²	Ejes Y-Y			Ejes X-X		
A mm	B mm	Espesor (e) mm	Peso Kg/m		I cm ⁴	W cm ³	i cm	I cm ⁴	W cm ³	i cm ³
20	40	1.2	1.09	1.32	2.61	1.30	1.12	0.88	0.88	0.83
20	40	1.5	1.35	1.65	3.26	1.63	1.40	1.09	1.09	0.81
20	40	2.0	1.78	2.14	4.04	2.02	1.37	1.33	1.33	0.79
25	50	1.5	1.71	2.10	6.39	2.56	1.74	2.19	1.75	1.02
25	50	2.0	2.25	2.74	8.37	3.35	1.75	2.80	2.24	1.01
25	50	3.0	3.30	4.14	12.56	5.02	1.74	3.99	3.19	0.99
30	50	1.5	1.88	2.25	7.27	2.91	1.80	3.32	2.21	1.21
30	50	2.0	2.41	2.94	9.52	3.81	1.80	4.28	2.85	1.21
30	50	3.0	3.30	4.21	12.78	5.11	1.74	5.66	3.77	1.16
30	70	2.0	3.03	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.48	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	60	1.5	2.29	2.91	14.90	4.97	2.26	7.94	3.97	1.65
40	60	2.0	3.03	3.74	18.08	6.13	2.22	9.81	4.90	1.62
40	60	3.0	4.48	5.41	25.31	8.44	2.16	13.37	6.69	1.57
30	70	1.5	2.34	2.91	18.08	5.17	2.49	4.76	3.17	1.28
30	70	2.0	2.93	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.25	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	80	1.5	2.76	3.74	31.75	7.94	2.91	10.77	5.39	1.70
40	80	2.0	3.66	4.54	37.32	9.33	2.87	12.70	6.35	1.67
40	80	3.0	5.42	6.61	52.16	13.04	2.81	17.49	8.75	1.63
50	100	2.0	4.52	5.74	74.94	14.99	3.61	25.65	10.26	2.11
50	100	3.0	6.71	8.41	106.34	21.27	3.56	35.97	14.39	2.07
50	150	2.0	6.17	7.74	207.45	27.66	5.18	37.17	14.87	2.19
50	150	3.0	9.17	11.41	298.35	39.78	5.11	52.54	21.02	2.15

Anexo H. Tubo estructural rectangular galvanizado



Anexo I. Señal móvil Ecuador 3G