



**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 FILTRADO  
Y PURIFICACIÓN DE AGUA PARA EL CENTRO EXPERIMENTAL DE  
RIEGO DE LA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES DE LA ESPOCH”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES  
INDUSTRIALES**

**AUTORES: CRISTHIAN JAVIER OÑA ALCIVAR**

**LINO FERNANDO FREIRE VALDIVIEZO**

**TUTOR: ING. ALBERTO ARELLANO**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2016**

©2016, Cristhian Javier Oña Alcivar, Lino Fernando Freire Valdiviezo

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 de Trabajo de Titulación certifica que: El proyecto técnico: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE FILTRADO Y PURIFICACIÓN DE AGUA PARA EL CENTRO EXPERIMENTAL DE RIEGO DE LA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES DE LA ESPOCH”, de responsabilidad de los señores Cristhian Javier Oña Alcivar y Lino Fernando Freire Valdiviezo, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna DECANO DE LA FIE	.....	.....
Ing. Fredy Chávez V. DIRECTOR: ESCUELA ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	.....	.....
Ing. Alberto Arellano A. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	.....	.....
Ing. Fernando Mejía MIEMBRO DEL TRIBUNAL.	.....	.....
NOTA	.....	

Nosotros, **CRISTHIAN JAVIER OÑA ALCIVAR** y **LINO FERNANDO FREIRE VALDIVIEZO** somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

.....  
CRISTHIAN JAVIER OÑA ALCIVAR

.....  
LINO FERNANDO FREIRE VALDIVIEZO

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación en primer lugar a Dios por darme la oportunidad de seguir vivo, a mis queridos padres quienes con su dedicación y su amor han estado conmigo guiándome y dándome fortaleza para continuar y han sido pilares fundamentales en mi formación académica. A mis hermanos por sus palabras de aliento y sus respaldos en toda adversidad. A mis maestros, amigos y a todas las personas que de una forma u otra me han ayudado en alcanzar esta meta.

Cristhian.

Dedico el presente trabajo de titulación en primer lugar a Dios por ser quien nos da la fuerza para seguir adelante cumpliendo todas las metas que nos planteamos en el transcurso de los días, a mis padres Lino y Olga quienes son el pilar fundamental en mi vida y son las personas que más admiro porque me han enseñado a ser persistente y no rendirme hasta lograrlo lo que me proponga. A mis hermanas Jahaira, Anita, Katty quienes con sus consejos me han enseñado y apoyado a tomar buenas decisiones, a mis sobrinos que son las personas que llenan de alegría mi vida. A mis abuelitos por todas sus Bendiciones y enseñanzas y a toda mi familia por el apoyo brindado. A mis maestros y amigos quienes me han brindado su amistad y todo su apoyo para alcanzar la meta.

Lino

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos agradecer a Dios por darnos la oportunidad de compartir junto a nuestros seres queridos cada triunfo que alcanzamos en nuestras vidas, como es lograr una meta académica muy importante para nosotros. Al Ing. Alberto Arellano por brindarnos todo su apoyo y conocimientos de una manera muy desinteresada, a todas las personas que forman parte de la Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales, a nuestros maestros por su dedicación y entrega para compartir sus conocimientos y poder desarrollarnos como excelentes profesionales. A la Facultad de Recursos Naturales y a su Centro Experimental de Riego, a los Ing. Juan León e Ing. Segovia por la apertura y colaboración para que este proyecto se desarrolle de la mejor manera obteniendo los resultados esperados.

Cristhian y Lino

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
TABLA DE CONTENIDOS .....	vii
INDICE DE TABLAS .....	xi
INDICE DE ILUSTRACIONES .....	xii
RESUMEN.....	xvi
SUMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I	
1 MARCO TEÓRICO .....	7
1.1 Introducción .....	7
1.2 Sistemas de filtración de agua .....	8
1.2.1 Filtración convencional .....	9
1.2.2 Filtración directa .....	10
1.2.3 Filtración lenta .....	10
1.3 Tipos de filtros .....	11
1.3.1 Hidrociclones .....	11
1.3.2 Filtros de arena .....	11
1.3.3 Filtros de malla .....	12
1.3.4 Filtros de anillas.....	13
1.4 Sistemas de riego por goteo automatizado .....	14
1.5 Conceptos generales de hidráulica .....	15
1.5.1 Caudal.....	15
1.5.2 Presión de fluido .....	16
1.5.3 Velocidad .....	16

1.6	Importancia de un riego por goteo automatizado .....	16
1.7	Sistemas eléctricos y electrónicos .....	17
1.7.1	Introducción.....	17
1.7.2	Transductores y sensores .....	17
1.7.3	Actuadores .....	25
1.7.4	Elementos eléctricos. ....	28
1.7.5	Sistemas y tipos de control .....	30
1.7.6	Controlador Arduino.....	33
1.7.7	Tecnología Xbee .....	37
1.7.8	HMI.....	41
<b>CAPITULO II</b>		
2	MARCO METODOLÓGICO .....	43
2.1	Diagnóstico de la planta .....	45
2.2	Etapas previas a la automatización del sistema de Filtrado para riego. ....	46
2.3	Etapas posteriores a la automatización del sistema de filtrado para riego. ....	47
2.4	Diseño de la estructura hidráulica .....	47
2.5	Diseño del sistema hidráulico. ....	48
2.5.1	Bomba hidráulica .....	49
2.5.2	Tuberías y Accesorios.....	50
2.5.3	Filtros .....	51
2.5.4	Fertirriego .....	51
2.5.5	Electroválvulas .....	53
2.6	Diseño del sistema electrónico. ....	55
2.6.1	Sensores. ....	55
2.7	Accionamiento de Electroválvulas .....	61
2.7.1	Proceso Automático .....	62
2.7.2	Proceso Manual .....	63



2.7.3	Auto lavado del filtro automático .....	63
2.8	Sistema de control ON – OFF con histéresis .....	64
2.9	Programación del controlador ARDUINO MEGA .....	67
2.9.1	Entorno de programación ARDUINO .....	68
2.9.2	Configuración y programación de la placa programadora .....	69
2.9.3	Código de programación Arduino .....	72
2.10	Análisis del entorno agrícola .....	81
2.11	Selección de elementos del sistema automático .....	81
2.11.1	Red WSN (Wireless Sensor Network) .....	82
2.12	HMI (Interfaz Humano Maquina) .....	88
2.12.1	HMI riego Automático .....	89
2.12.2	HMI riego Manual .....	89
2.12.3	Configuración HMI .....	91
2.12.4	Programación del HMI .....	92
2.12.5	Comunicación HMI Nextion y Arduino Mega 2560 .....	94
<b>CAPITULO III</b>		
3	<b>IMPLEMENTACIÓN, MARCO DE RESULTADOS Y ANÁLISIS.</b> .....	95
3.1	Implementación de los módulos nodo-sensor .....	95
3.1.1	Conformación física del nodo-sensor .....	95
3.1.2	Conformación electrónica del nodo-sensor .....	96
3.2	Implementación del sistema hidráulico .....	97
3.3	Implementación del control electrónico en el tablero de control .....	98
3.3.1	Dimensiones del tablero de control .....	99
3.3.2	Distribución interna y externa del tablero de control .....	100
3.3.3	Diagrama eléctrico del tablero de control.....	102
3.4	<b>CALIBRACIÓN DE SENSORES</b> .....	103
3.4.1	Calibración sensor de humedad HL-69 .....	103

3.4.2	Calibración sensor de presión.....	104
3.5	Adquisición de datos analógicos en Arduino .....	104
3.5.1	Sensor de humedad .....	104
3.5.2	Sensor de presión.....	105
3.6	Resultados del proceso de automatización.....	106
3.6.1	Pruebas tiempo de llenado del sistema de filtrado.....	106
3.6.2	Pruebas de llenado del sistema de riego por goteo (plantación de moras) .....	108
3.6.3	Pruebas de tiempo de riego de toda la plantación (sembrío de moras) .....	110
3.6.4	Pruebas de tiempo para el auto-lavado del filtro .....	114

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Tipos de Arduino .....	36
Tabla 2-1 Distribución de pines módulo XBee.....	39
Tabla 1-2 Características bomba hidráulica.....	49
Tabla 2-2 Características de las electroválvulas .....	54
Tabla 3-2 Especificaciones Sensor de humedad HL-69 .....	60
Tabla 4-2 Especificaciones técnicas ARDUINO MEGA .....	67
Tabla 5-2 Configuración nodo Coordinador .....	86
Tabla 6-2 Configuración nodo Sensor 1 .....	87
Tabla 7-2 Configuración nodo Sensor 2 .....	87
Tabla 1-3 Calibración De Los Sensores De Humedad .....	103
Tabla 2-3 Calibración De Los Sensores De Humedad .....	104
Tabla 3-3 Valores Analógicos de Humedad .....	105
Tabla 4-3 Valores Analógicos de Presión.....	106
Tabla 5-3 Tiempos de llenado del sistema.....	107
Tabla 6-3 Análisis Estadístico para tiempos de llenado del sistema de filtrado .....	108
Tabla 7-3 Tiempos de llenado del sistema de riego por goteo .....	109
Tabla 8-3 Análisis Estadístico para tiempos de llenado del sistema .....	110
Tabla 9-3 Tiempos de riego sistema sin automatizar.....	111
Tabla 10-3 Tiempos de riego sistema automatizado.....	112
Tabla 11-3 Análisis Estadístico para tiempos de riego de la plantación.....	113
Tabla 12-3 Tiempos del proceso de auto-lavado .....	115
Tabla 13-3 Análisis Estadístico para el proceso de auto-lavado.....	116
Tabla 14-3 Comparativa de medias. ....	117

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1-1 Tipo de filtro: Hidrociclones .....	11
Figura 2-1 Tipo de filtro: Arena.....	12
Figura 3-1 Tipo de filtro: Malla .....	13
Figura 4-1 Tipo de filtro: Anillas .....	14
Figura 5-1 Acondicionador de señal.....	18
Figura 6-1 Clasificación de los sensores.....	20
Figura 7-1 Funcionamiento sensor de presión .....	21
Figura 8-1 Instrumento de Bourdon.....	22
Figura 9-1 Sensor Electromecánico .....	23
Figura 10-1 Sensor Electrónico.....	23
Figura 11-1 Sensor de humedad resistivo .....	24
Figura 12-1 Sensor de humedad capacitivo .....	24
Figura 13-1 Representación gráfica electroválvula ON-OFF.....	26
Figura 14-1 Representación gráfica electroválvula proporcional .....	26
Figura 15-1 Funcionamiento Bomba Hidráulica .....	27
Figura 16-1 Elementos de mando. ....	29
Figura 17-1 Elemento de protección. ....	30
Figura 18-1 Arquitectura Arduino .....	34
Figura 19-1 Partes tarjeta arduino .....	34
Figura 20-1 Pulso de las E/S y PWM .....	35
Figura 21-1 Esquema de conexiones .....	38
Figura 22-1 Diagrama de pines XBee.....	38
Figura 23-1 HMI NEXTION .....	42
Figura 1-2 Diagrama del proyecto .....	44
Figura 2-2 Máquina de filtrado de agua Centro de Experimental de Riego-ESPOCH .	45
Figura 3-2 Etapas del sistema de Filtrado para riego por goteo en el Centro de Experimental de Riego-ESPOCH.....	46
Figura 4-2 Etapas automatizadas del sistema de Filtrado para riego por goteo en el Centro de Experimental de Riego-ESPOCH.....	47
Figura 5-2 Diseño de la modificación para sistema de filtrado de agua .....	48
Figura 6-2 Accesorios Para Tubería.....	51

Figura 7-2 Accesorios Para Tubería.....	52
Figura 8-2 Accesorios Para Tubería.....	53
Figura 9-2 Sistema de Filtrado.....	54
Figura 10-2 Sensor de Humedad HL-69 .....	56
Figura 11-2 Esquema de medición .....	56
Figura 12-2 Implementación como dieléctrico .....	57
Figura 13-2 Circuito de Control Sensor HL-69 .....	59
Figura 14-2 Conexión del circuito de control.....	60
Figura 15-2 Modulo accionador.....	61
Figura 16-2 Activación de electroválvulas proceso automático .....	62
Figura 17-2 Disposición electroválvulas .....	63
Figura 18-2 Activación de electroválvulas proceso auto lavado .....	64
Figura 19-2 Sistema de control.....	64
Figura 20-2 Sistema de control ON – OFF propuesto para la planta.....	66
Figura 21-2 ARDUINO MEGA 2560.....	67
Figura 22-2 Vista del entorno de programación Arduino V 1.6.8 .....	68
Figura 23-2 Creación de un nuevo sketch en ARDUINO .....	69
Figura 24-2 Selección del tipo de tarjeta a utilizar .....	70
Figura 25-2 Ingreso de variables de entradas y salidas.....	70
Figura 26-2 Topología Estrella Software X-CTU .....	84
Figura 27-2 Entorno de programación de Software X-CTU .....	85
Figura 28-2 Xbee Xplorer (placa programadora) .....	85
Figura 29-2 Lectura y parámetros de configuración del Xbee.....	86
Figura 30-2 Menú del HMI.....	88
Figura 31-2 Pantalla de riego automático .....	89
Figura 32-2 Pantalla de riego manual .....	89
Figura 33-2 Menú de ayuda riego manual .....	90
Figura 34-2 Selección HMI en Nextion Editor v0.35 .....	91
Figura 35-2 Selección de orientación HMI en Nextion Editor v0.35 .....	91
Figura 36-2 Entorno de programación HMI en Nextion Editor v0.35 .....	92
Figura 37-2 Zona de imágenes y fuentes en Nextion Editor v0.35 .....	93
Figura 38-2 Menú de páginas y toolbox en Nextion Editor v0.35.....	94
Figura 1-3 Case contenedor módulo nodo-sensor .....	95
Figura 2-3 Modulo Nodo-Sensor .....	96

Figura 3-3 Modulo Nodo-Sensor .....	97
Figura 4-3 Sistema de filtrado.....	98
Figura 5-3 Modulo Nodo-Sensor .....	99
Figura 6-3 Dimensiones Gabinete de Control .....	100
Figura 7-3 Gabinete de Control Parte Interna .....	100
Figura 8-3 Gabinete de Control Parte Externa.....	101
Figura 9-3 Diagrama Electrónico.....	102
Figura 10-3 Curva tiempos de llenado del sistema .....	107
Figura 11-3 Curva tiempos de llenado del sistema de riego por goteo.....	109
Figura 12-3 Pronóstico del tiempo “INAMHI” .....	111
Figura 13-3 Curva tiempos de riego plantación de moras .....	113
Figura 14-3 Curva tiempos del proceso de auto-lavado .....	116

## **ABREVIATURAS**

<b>A</b>	Amperios
<b>AC</b>	Corriente alterna
<b>CPU</b>	Unidad de Control de Procesos
<b>DC</b>	Corriente continua
<b>GRAF CET</b>	Gráfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones
<b>HMI</b>	Interfaz hombre máquina
<b>IP</b>	Protocolo de Internet
<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable
<b>SCADA</b>	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
<b>V</b>	Voltios
<b>VAC</b>	Voltaje de Corriente Alterna
<b>VDC</b>	Voltaje de Corriente Directa

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación implemento la automatización del proceso de filtrado y purificación de agua en el Centro Experimental de Riego de la ESPOCH para optimizar el tiempo de filtración de riego en la plantación de mora, para lo cual se optó por la implementación de un sistema de control por histéresis (ON - OFF) para la variable de presión en el sistema de filtrado y humedad del suelo para la activación del riego. El trabajo cuenta con un Interfaz Máquina – Humano (HMI) donde se visualiza las formas para operar el sistema de filtrado: Manual y Automática. Cuando el proceso es de forma automática, este empieza con la toma de mediciones de humedad mediante los módulos nodo de sensor de humedad ubicados en la plantación de mora, estos valores de humedad serán enviados al controlador ARDUINO y posteriormente mostrada en el HMI ubicado en la zona de filtrado, los datos de humedad serán enviados en un intervalo de tiempo de 10 minutos, al tener los valores de humedad por debajo de los límites óptimos para el cultivo de mora, se procede a la activación automática del sistema de filtrado y se realiza el riego en la plantación. Si se realiza el proceso de forma manual, el operario podrá activar las electroválvulas para realizar el riego de la plantación o el retro lavado del filtro. Una vez realizada la automatización se reduce los tiempos de riego en un 50% para la plantación de mora. Se recomienda que antes de la utilización del sistema se haga una verificación de las tuberías y llaves de paso del Centro Experimental de riego de la ESPOCH, de esta manera evitaremos pérdidas de presión y que el tiempo de riego de la plantación de moras no aumente.

**Palabras Clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, INGENIERÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS> <FILTRADO> <PRESIÓN DE AGUA> <HUMEDAD DE SUELO> <RIEGO POR GOTEIO>



## SUMMARY

The present graduation work implemented the automation of the water filtering and purifying process at the Experimental Irrigation Center of the ESPOCH to optimize the irrigation filtration time in the blackberry plantation. For this, the implementation of a control system through hysteresis (ON-OFF) for the pressure variable in the filtering system and the soil humidity for the irrigation activation, was selected. The work has an Interface Machine-Human (HMI) where the ways to operate the filtering system are displayed: handy and automatic. When the process is automatic, it starts with the measuring of humidity by the node modules of the humidity sensor located at the blackberry plantation. These humidity values will be sent to the ARDUINO controller and later displayed in the HMI located in the filtering zone. The humidity data will be sent in 10 minutes time intervals. Upon having the humidity values below the optimum limits for the blackberry culture, the automatic filtering system activation and the plantation irrigation are carried out. If the process is carried out manually, the operator will be able to activate the electro-valves to conduct the plantation irrigation or the retro-washing of the filter. Once the automation is carried out, the irrigation times are reduced by a 50% for the blackberry plantation. It is recommended that, before the system use, an inspection may be performed in the piping and stopcock of the ESPOCH Irrigation Experimental Center; this way pressure losses and the increase of the blackberry plantation time will be avoided.

**Key Words:** < TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <AUTOMATED CONTROL ENGINEERING>, < PROCESS AUTOMATION>, < FILTERING>, <WATER PRESSURE>, < SOIL HUMIDITY>, < DRIPPING IRRIGATION>

# INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

De acuerdo con el Consejo de Agua Mundial (World Water Council), existen seis grandes problemas relacionados con el agua: la escasez, la falta de acceso, el decremento en su calidad, la falta de conciencia por parte de autoridades y del público, la disminución en la asignación de recursos financieros y la fragmentación en su administración. Conflictos por agua. (Mariana Becerra Pérez, 2006)

Es necesario recalcar las múltiples funciones que cumple el riego en la esfera de las actividades humanas, tales funciones están relacionadas a los ámbitos productivo, social, ambiental y económico.

En el ámbito productivo, las contribuciones del riego son:

- Solución a los problemas de distribución espacial y temporal del agua
- Incremento y diversificación de la producción
- Mitigación de riesgos, particularmente de sequías y heladas

En el ámbito social, el riego tiene implicaciones importantes:

- Contribución a la estabilización de precios de los productos agrícolas
- Generación de empleo y atenuación de la migración rural
- Articulación de la organización y movilización social en el agro

Desde una perspectiva ambiental, el riego es o puede ser un factor que limita la expansión de la frontera agrícola hacia ecosistemas frágiles.

Visto desde otra perspectiva, el aporte de la actividad agrícola para el país es fundamental.

De modo aproximado, representa el 17% del PIB, así dimensionada la importancia de la agricultura para el Ecuador, se dimensiona mejor la importancia estrictamente económica

del riego pues, el valor de la producción bajo riego, se estima en el 70% de la producción agrícola total. (Nazareno, 2016) Así lo menciona Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). El riego en el Ecuador: problemática, debate y políticas. (Gasselin, 2009)

La facultad de recursos naturales de la ESPOCH posee un centro experimental de riego que provee de agua a todas las plantaciones de diversas clases sembradas en el área, estos sistemas de riego se realizan de manera manual, los datos de humedad del suelo son verificados por personas encargadas y ellos son los que toman las decisiones de la cantidad y tiempo de agua necesario para cada plantación.

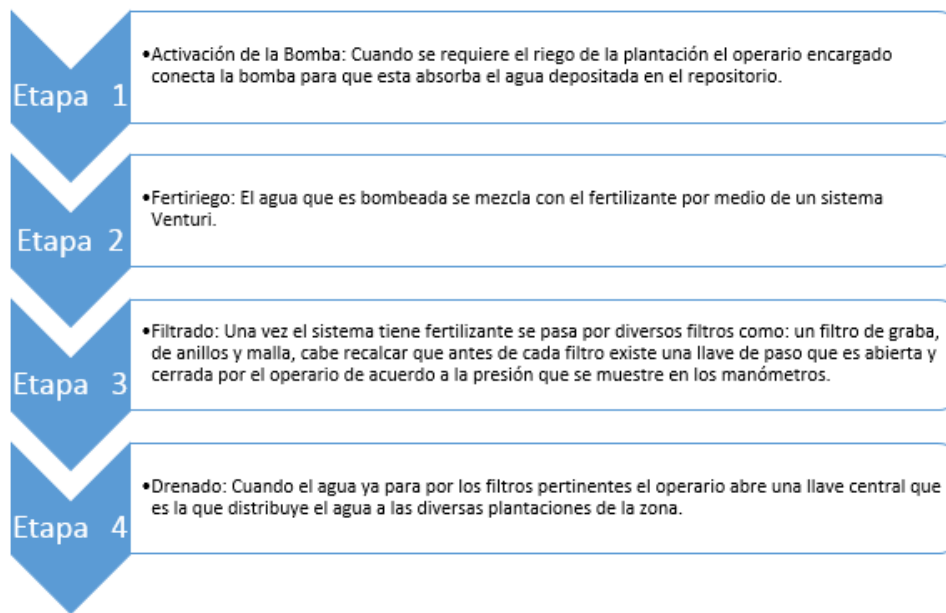
La facultad de recursos naturales presenta la necesidad de automatizar este proceso que comprende desde la purificación del agua, el mezclado con fertilizante y el riego automático para la plantación.

En la agricultura es crucial que la fuente de agua no esté contaminada, ya que existen un sin número de microorganismos que pueden afectar con la producción estropeando la buena calidad de esta, es por eso que se usan una variedad de filtros de agua y suavizantes que ayudan a la purificación de la misma, mejorando así su calidad para el riego.

Existen algunos estudios sobre procesos de automatización en la agricultura que han tenido resultados positivos con respecto al mejoramiento de producción y ahorro de recursos, el tema del riego de suelo es muy amplio y existen diferentes tecnologías que se pueden utilizar para controlarlo como es el caso de la tesis realizada por Camargo Garcia, M. R. (2013).

Sistema de control de riego automático mediante el monitoreo de humedad del suelo vía internet, de igual manera el artículo realizado por Castro, M. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro.

Estos trabajos se relacionan directamente con el tema planteado porque abordan temas como la automatización del riego, el control de humedad del suelo, y sistemas de comunicación hacia el controlador.



**Figura 1-0** Diagrama de procesos del centro experimental de riego ESPOCH

Realizado por: OÑA, Cristhian; FREIRE, Lino, 2016

### **Formulación del problema.**

¿Qué ventajas proporciona un sistema automático de filtrado y purificación de agua en el Centro Experimental de Riego de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH?

### **Sistematización del problema.**

¿Cómo se construirá el sistema de filtrado y purificación de agua?

¿Con qué tipo de componentes mecánicos y electrónicos se controlará el riego automático?

¿Qué tecnología de comunicación se utilizará para el envío de datos de la humedad del suelo al controlador de riego?

¿En qué medida se mejoró la eficiencia del consumo de agua en los cultivos del centro experimental de riego?

## **Justificación teórica**

Para poder llevar a cabo este proyecto se usarán diferentes tecnologías presentes en el mercado así como también dispositivos electrónicos que ayudarán con el desarrollo del mismo; entre los elementos a usar tenemos electroválvulas, sensores de humedad, módulos con tecnología WSN, y la plataforma de hardware libre Arduino.

Para la construcción del proceso de purificado y el riego se deben utilizar electroválvulas, ya que el agua pasa por diversos filtros para que esta pueda estar en condiciones aptas para el riego, se utilizarán electroválvulas on/off ya que el paso del agua es inmediato y no proporcional.

Para el monitoreo de las condiciones del suelo se usarán sensores de humedad, este tipo de sensores tienen un funcionamiento muy sencillo y son muy precisos al momento de determinar el grado de humedad del suelo, el sensor devuelve una tensión proporcional al nivel de humedad medido. (Ferreya, 2009).

Para el envío de los datos se empleará una red de sensores inalámbrica - Wireless Sensor Network (WSN) debido a que este tipo de tecnología está enfocada en el envío de datos específicos, como es el caso planteado; no así con la tecnología wi-fi que se enfoca en la conectividad de usuarios desperdiciando recursos. (Valenzuela, 2012).

El uso de un hardware libre Arduino abre un abanico de posibilidades dado que la versatilidad que presenta hace posible que esta tecnología se acople de una manera eficiente con los distintos dispositivos que se utilizarán para la implementación del proyecto.

## **Justificación aplicativa**

Al contar con un sistema automático de purificación y riego de agua se tendrán beneficios como: ahorro de recursos tanto materiales como humanos, se mejorará la calidad de la producción y tendremos datos más exactos sobre las condiciones del suelo que trabajamos pudiendo así mejorar las técnicas de riego y cosecha. Debemos tener en cuenta que la parte del riego del suelo es una de las más importantes en el proceso de la agricultura.

Con este proyecto se pondrán en práctica varias de las áreas vistas durante el transcurso de la carrera; comenzando con el proceso de purificación y filtrado, creando la red de sensores que proporcionarán los datos para el riego y estableciendo la forma en que la red de sensores tomará los datos del suelo.

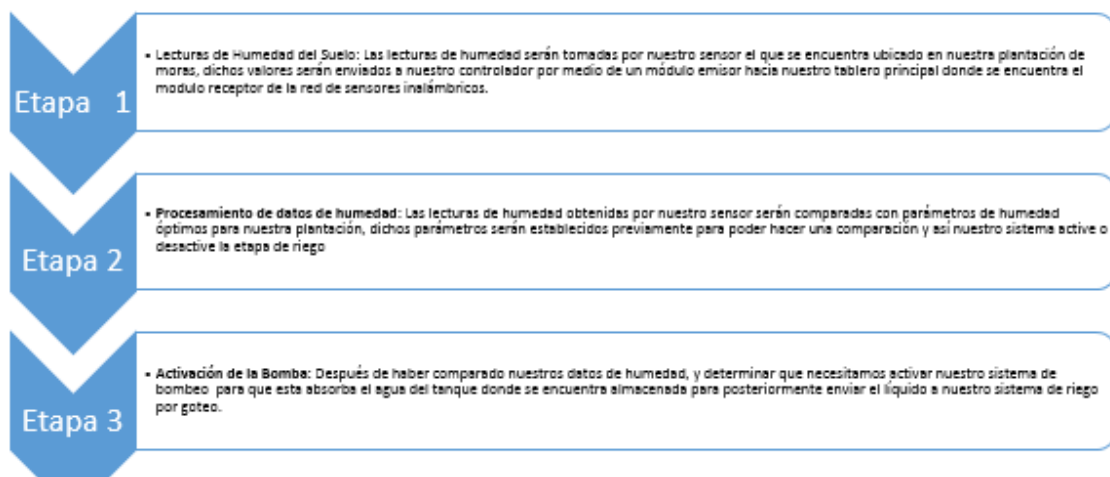
El sistema de automatizado de filtrado y purificado de agua contara con una red de sensores de humedad compuesta de dos nodos emisores, los que enviaran los datos del suelo a un nodo receptor, el cual será el encargado de enviar instrucciones al controlador para empezar con el proceso de filtrado.

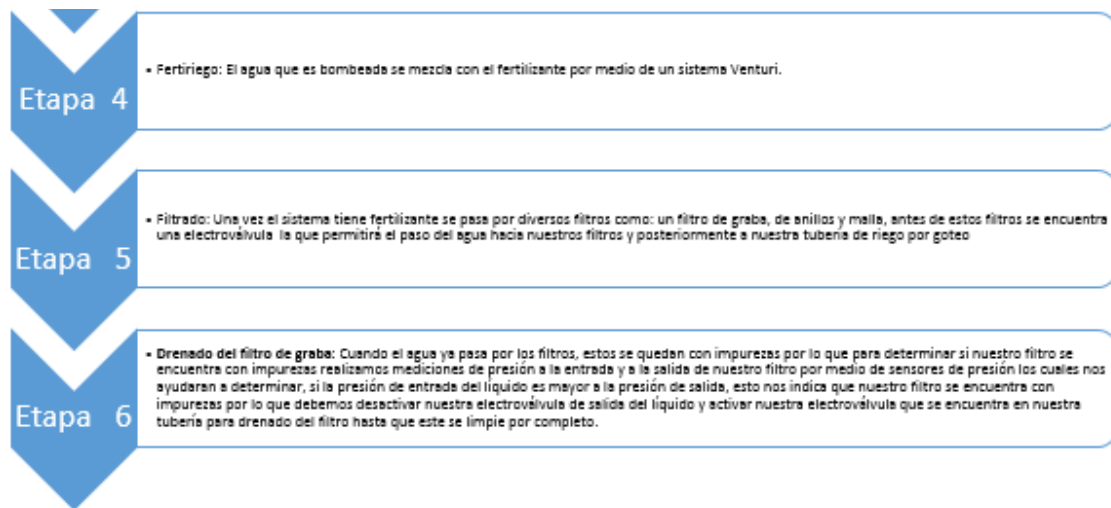
Este proceso de filtrado comprenderá desde el encendido automático de la bomba para el bombeo de agua desde el reservorio y realizando el proceso de fertiriego mediante el sistema venturi, una vez el agua ya se encuentre con fertilizante se abrirá una electroválvula la que permitirá el paso a los diferentes filtros del sistema.

El filtro de graba consta de dos manómetros, los cuales verifican la presión existente en el mismo, cuando uno de los manómetros exceda la presión del otro significa que el este se encuentra con exceso de impurezas y es necesario hacer una retroalimentación para su limpieza este proceso se hará automáticamente mediante el uso de electroválvulas y manómetros electrónicos.

Una vez el proceso de filtrado termine se empezara con el proceso de drenado hacia la zona de riego, de acuerdo con la condiciones establecidas previamente, el tipo de control a aplicar será un control por histéresis.

A continuación se detalla el diagrama del proceso automático para la planta.





**Figura 2-0** Procesos automatizados para el centro experimental de riego de la ESPOCH

Realizado por: OÑA, Cristhian; FREIRE, Lino, 2016

### **Objetivo general:**

Implementar un sistema automatizado de filtrado y purificación de agua para el centro experimental de riego de la Facultad de Recursos Naturales de la “ESPOCH”

### **Objetivos específicos:**

- Estudiar el funcionamiento de los sistemas de filtrado y purificación de agua.
- Seleccionar los componentes mecánicos y electrónicos más adecuados para la implementación del sistema
- Diseñar y Construir el Sistema de Filtrado y Purificación de agua en el Centro Experimental de Riego de la Facultad de Recursos Naturales.
- Desarrollar un conjunto de pruebas que permita verificar el adecuado funcionamiento del sistema implementado.

# CAPÍTULO I

## 1 MARCO TEÓRICO

### 1.1 Introducción

Todos sabemos el cambio que ha supuesto la introducción del riego localizado. Las ventajas para cultivos hortícolas y frutales sobretodo, suponen una eficiencia y ahorro de agua sin igual.

Los sistemas de filtración son mucha importancia al momento del riego en algún tipo de plantación ya que si el agua no consta de la pureza necesaria puede entorpecer el crecimiento de la plantación y hasta podría dañarla completamente.

De igual manera el agua que no se encuentre filtrada también puede causar problemas en los sistemas de distribución del riego causando taponamiento en los goteros y por consecuencia reduciendo la cantidad de agua que debería llegar a una zona específica y para evitar este tipo de inconvenientes los filtros son la solución.

Cuando hablamos de filtros, hablamos de redes de riego para explotaciones con objetivos claramente empresariales, no domésticos. Una red doméstica de riego por goteo para un huerto o un jardín, normalmente no supera los 200 metros de manguera con algunas decenas de goteros y las frecuencias de riego son algo menores suponiendo una menor probabilidad de obturaciones.

Por otro lado está la rentabilidad. Cuando en un jardín, huerto o finca privada se obstruyen 1, 10 ó 20 goteros, se ven, se limpian y en el peor de los casos, pinchamos goteros nuevos. Si además de esto tenemos en cuenta que para el jardín o balcón, solemos tirar a veces del agua de red, entonces ya los filtros no tienen ningún sentido como podréis suponer.



Los filtros son sistemas caros de mantener dependiendo del tipo de filtro y de la frecuencia de su mantenimiento.

Por el otro lado tenemos las grandes explotaciones donde tenemos cientos de kilómetros de tuberías, miles de goteros y aguas de balsas o pozos que, sin ninguna duda, tendrán cantidades importantes de partículas en suspensión y demás elementos que impiden un riego uniforme y la obturación de cientos o incluso miles de goteros. En estos casos, la rentabilidad de un buen sistema de filtrado está más que demostrada y no es uno, sino varios los filtros necesarios para evitar situaciones de obturación cada dos por tres. Uno de los factores que más afectan a la uniformidad de riego es precisamente, la eficiencia del equipo de filtrado. Veamos algunos filtros importantes para redes de riego. (Agromática, 2013)

## **1.2 Sistemas de filtración de agua**

Antes de hablar de los sistemas de filtración tenemos que entender el termino filtrar y la diferencia entre filtrar y purificar. Filtrar es una acción mecánica que utiliza un elemento filtrante o malla que retiene partículas sólidas. El acto de filtración se puede ejemplificar como cuando utilizamos un colador en la cocina para preparar alimentos.

Los dos sistemas de filtración de agua más comunes son los filtros de sedimentos y los de membranas. Y los dos se combinan a menudo. Los filtros de sedimentos generalmente retienen elementos de acuerdo al tamaño de 1 a 100 micras. Las membranas pueden retener contaminantes microscópicos menores a una micra, algunos virus y bacterias, productos farmacéuticos disueltos y hasta minerales no deseados.

La diferencia entre las dos es que un proceso de purificación que elimina impurezas no deseadas del agua por absorción, destilación, radiación UV o intercambio iónico como ya lo mencionamos, mientras que un proceso de filtración sólo impide que las partículas sólidas pasen a través de él.

Los filtros de membrana muy finas (microfiltración, ultrafiltración u ósmosis inversa) pueden retener virus, bacterias, sales y minerales, también se le puede llamar

“purificación” porque la mayoría de las impurezas presentes se eliminan, a pesar de que es a través de un proceso de filtración estrictamente.

Si la diferencia todavía parece un poco turbia, lo es. En resumen cuando hay elementos naturales o añadidos ya sea disueltos o microscópicas en el agua como un contaminante, se considera purificación, y cuando hay sedimentos o impurezas sólidas se considera filtración.

Ahora entendido esto podemos empezar con los sistemas de filtración y que elementos lo comprendes así mismo como las técnicas de filtración existentes en estos momentos. Los sistemas de filtración tratan el agua pasándola a través de lechos de materiales granulares (p.ej., arena) que retiran y retienen los contaminantes.

Los sistemas de filtrado convencionales, directos, lentos de arena y de tierra diatomácea hacen todos un buen trabajo al eliminar la mayoría de protozoos, bacterias y virus (si se usa la coagulación). Usualmente, los filtros de bolsa y cartucho no eliminan los virus y muy pocas bacterias. (Toala, 2015)

### ***1.2.1 Filtración convencional***

La filtración convencional es una operación de varias etapas. Primero, se agrega un coagulante químico como sales de hierro o de aluminio al agua fuente. Después, se agita la mezcla para inducir la unión de las partículas pequeñas en suspensión para formar grumos más grandes o “flóculos” más fáciles de retirar.

Estas masas coaguladas, o “flóculos”, se dejan asentar fuera del agua, para que se lleven consigo muchos contaminantes. Al terminar estos procesos, el agua se pasa a través de filtros de manera que las partículas restantes se adhieran por sí mismas al material de filtro. (Toala, 2015)

### ***1.2.2 Filtración directa***

La filtración directa es similar a la filtración convencional, excepto que después de agregar el coagulante, y después de agitar la mezcla, no hay una fase separada para la sedimentación. En vez de ello, las partículas en suspensión son desestabilizadas por el coagulante y así se adhieren con mayor facilidad al material de filtro cuando el agua se filtra posteriormente. (Toala, 2015)

### ***1.2.3 Filtración lenta***

Los sistemas de filtración lenta en arena no tienen fase de coagulación y, usualmente, tampoco tienen un paso de sedimentación. Se induce el paso lento y descendente del agua a través de un lecho de arena de dos a cuatro pies (0,6 a 1,2 metros) de profundidad. Una capa biológicamente activa se forma a lo largo de la superficie superior del lecho de arena, atrapando así partículas pequeñas y degradando algunos contaminantes orgánicos.

La filtración biológica en arena (Biosand) es un sistema de filtración en el punto de uso análogo a la filtración lenta en arena, pero su eficacia está mucho menos establecida que ésta última.

La filtración con tierra diatomácea usa como material de filtro las conchas fosilizadas de diminutos organismos marinos a través de los cuales se hace pasar el agua sin tratamiento. La tierra filtra físicamente los contaminantes particulados del agua.

Los filtros de bolsa y cartucho son sistemas sencillos y fáciles de usar que utilizan una bolsa tejida o un cartucho de filamento enrollado o un filtro fruncido para filtrar físicamente los microbios y sedimento del agua fuente.

Los filtros de cerámica se utilizan principalmente en aplicaciones de punto de uso. En los países en vías de desarrollo, éstos se fabrican localmente, algunas veces en microempresas autofinanciadas.

La mayoría de los sistemas de filtración usan el “retrolavado” para limpiar el sistema. Esto produce aguas de desecho que se deben manejar adecuadamente. (Toala, 2015)

## 1.3 Tipos de filtros

### 1.3.1 Hidrociclones

Su mismo nombre indica lo que va a hacer. Provocar un movimiento rotacional en el interior del depósito. Para conseguir este movimiento rotacional, la entrada de agua se hace de forma tangencial generando una fuerza centrífuga que desplaza las partículas sólidas hacia la pared del hidrociclón. Las partículas caerán en un acumulador de sedimentos en la parte inferior mientras que el agua saldrá limpia por la parte superior del mismo gracias a esa fuerza centrífuga. Este tipo de filtrado es muy utilizado en extracciones de agua de pozo. No supone una gran pérdida de carga en la red y la eficacia es muy notable. De forma media se consiguen separar casi el 98% de partículas menores de 100 micrómetros. (Agromática, 2013) La figura 1-1 muestra los elementos de un filtro de Hidrociclones.



**Figura 1-1** Tipo de filtro: Hidrociclones

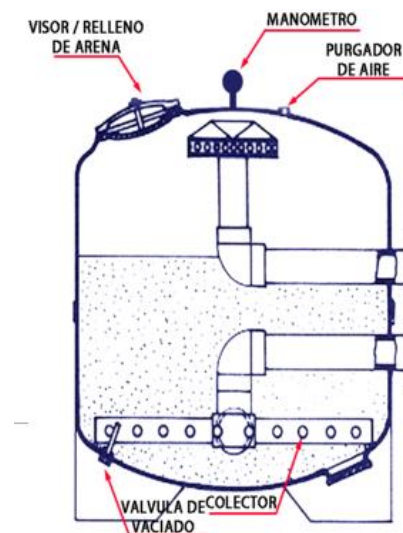
Fuente: <http://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/hidrociclón>

### 1.3.2 Filtros de arena

Los hay más o menos complejos, con diseños propios de cada empresa que los hace más o menos efectivos, pero la base y el fundamento de funcionamiento de todos es el mismo.

Un lecho o cama de arena filtrante (normalmente de sílice entre otros componentes) que permiten que el agua vaya recorriendo el lecho lentamente, dejando a su paso multitud de partículas, principalmente orgánicas.

Por ello son muy útiles y necesarios cuando el contenido en materias orgánicas en el agua de riego es elevado o se quiere una filtración realmente fina. La ventaja es que la superficie de contacto con las partículas del lecho de filtración es muy elevada consiguiendo una filtración muy efectiva. Las pérdidas de carga evidentemente son mayores (hasta 3 m de pérdida de carga) y pueden llegar a ser el doble si la cama de filtrado no está limpia y en condiciones óptimas. Son caros y requieren un mantenimiento (limpiar la cama). La forma de saber cuándo hacerlo es instalando manómetros antes y después de la unidad de filtrado. Las diferencias de presión nos darán el momento de limpieza. (Agromática, 2013) La figura 2-1 muestra un filtro de arena con sus respectivas partes.



**Figura 2-1** Tipo de filtro: Arena

Fuente: <http://www.piscinasfibra.com/61/filtro-de-arena.html>

### **1.3.3 Filtros de malla**

En esto consiste. En mallas. Suelen ser cartuchos o carcasas que llevan en su interior mallas metálicas o de plástico con diferentes diámetros de luz. En la figura 3-1 se puede ver un filtro tipo malla. (Agromática, 2013)



**Figura 3-1** Tipo de filtro: Malla

Fuente: <http://www.riegotec.net/Gallery.html>

#### ***1.3.4 Filtros de anillas***

Se oye mucho hablar de los filtros de anillas. Eso es porque la efectividad de filtrado es aceptablemente buena en comparación con el precio. Los filtros de arenas suelen ser caros y no resultan rentables si la explotación no es lo suficientemente grande y los caudales no son demasiado altos.

La amortización y mantenimiento de los filtros de arena es más costosa. Los filtros de anillas suelen ser sustitutivos de los de arena en instalaciones más pequeñas. También se instalan como elementos de filtración secundarios. Se compone de un cartucho con anillas o discos estriados por las dos caras. Al superponerse unos con otros forman los conductos por donde pasa el agua. Retienen una gran cantidad de sedimentos.

Como todo filtro deben lavarse cuando se obstruyen. Se hace de forma manual o por retrolavado aunque también existen los de tipo automático siendo mucho más cómodos y eficientes al lavarse en el momento óptimo. (Agromática, 2013) La figura 4-1 detalla un los componentes de un filtro de anillas.



**Figura 4-1** Tipo de filtro: Anillas

Fuente: <http://galeon.com/elregante/anillas.html>

Estos sistemas de filtrado son los más utilizados. Aquí os dejamos una clasificación general de los filtros en función de las partículas presentes en el agua. Hay que tener en cuenta que a la hora de diseñar una instalación de riego se debe ahondar más en el tipo de instalación, tamaño de la red, características del agua, tamaño de la explotación, caudales, pérdidas de carga, mantenimiento, limpieza y muchas variables más para elegir correctamente el o los sistemas de filtrado. (Agromática, 2013)

#### 1.4 Sistemas de riego por goteo automatizado

El Sistema de Riego por Goteo, ha sido introducido en el agro desde hace algunos años y fue adoptado debido a su alto grado de eficiencia ya que, con este sistema se logra minimizar las pérdidas por infiltración profunda y lo más importante, se reduce el escurrimiento superficial. Así, el agua aplicada es solamente la que el cultivo requiere para su crecimiento y producción. (Nazareno, 2016)

El riego por goteo ha sido utilizado desde la antigüedad cuando se enterraban vasija de arcilla llenas de agua con el fin de que el agua se infiltrara gradualmente en el suelo. El riego por goteo se desarrolló en Alemania hacia 1860 cuando los investigadores comenzaron a experimentar la subirrigación con ayuda de tuberías de arcilla para crear una combinación de irrigación y de sistemas de drenaje.

En los años 1920, tuberías perforadas fueron utilizadas en Alemania, después de O.E. Robey experimento el riego por tubería porosa de tela en la universidad de Michigan.

Con este sistema de riego se puede hacer producir mejor los suelos o terrenos pedregosos o con contenido salino, lo que tal vez no sería factible de lograr con los sistemas.

Con el Sistema de Riego por Goteo sólo se humedece una parte del suelo, de donde la planta podrá obtener el agua y los nutrientes que necesita e implica riegos más continuos. Estas características del riego por goteo nos dan una serie de ventajas tanto agronómicas como económicas.

Sin embargo un riego por goteo mal implementado también puede presentar pérdidas importantes es por tal razón que este tipo de sistemas se usan de manera automatizada, de esta manera se reducen dichas perdidas, logrando un equilibrio técnico y práctico.

## 1.5 Conceptos generales de hidráulica

### 1.5.1 Caudal

Según Giles, 1962, p. 11 el caudal  $q$  es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente. Así por ejemplo en las tuberías de agua los litros por hora que circulan a través de un plano transversal de la tubería.

Ecuaciones de dimensiones:  $[Q] = [L]^3[T]^{-1}$  EC.1

$$1Q = 1m^3/s \text{ SI} \quad \text{EC. 2}$$

Si la velocidad de corriente  $V$  es paralela a la superficie  $A$  vertical o también inclinada, pero paralela a la superficie, el caudal que pasa es nulo. Si la velocidad  $V$  tiene cualquier otra dirección descomponiendo  $V$  según tres ejes, dos paralelos a la superficie y el tercero normal  $V_n$  produce caudal.

Si la superficie a través de la cual se calcula el caudal es finita es evidente que la dirección de la velocidad puede variar de un punto a otro de la misma, y además la superficie puede no ser plana. Llamando  $dA$  al elemento infinitesimal de área, siendo  $C_n$  la componente de velocidad normal a ese elemento se tendrá:

$$dQ = V_n dA \quad \text{EC.3}$$



$$dQ = \int VndA \quad \text{EC. 4}$$

Si  $v$  es la velocidad media normal a la sección  $A$ , de la ecuación anterior se deduce:

$$Q = vA \quad \text{EC. 5}$$

### ***1.5.2 Presión de fluido***

La presión de fluido se transmite con la misma intensidad en todas las direcciones y actúan normalmente a cualquier superficie plana. En el mismo plano horizontal, el valor de la presión en un líquido es igual en cualquier punto. Las medidas de presión se realizan con los manómetros, que pueden ser de diferentes formas. De no advertir lo contrario, a través de todo el libro las presiones serán relativas o manométricas. Las presiones manométricas representan el valor de la presión con relación a la presión atmosférica. (Giles, 1962, p. 15)

### ***1.5.3 Velocidad***

Nos indica que la rapidez promedio de las partículas de un fluido al pasara por un punto determinado o la distancia promedio que viajan las partículas por unidad de tiempo. Se mide en pies sobre segundos (ft/s), metros sobre segundos (m/s). (Saldarriaga, 2007, p. 45).

## **1.6 Importancia de un riego por goteo automatizado**

La automatización está jugando un papel muy importante en diversos campos de la industria, marcando una diferencia entre lo convencional y lo moderno, logrando así mejorar procesos de producción en los que se reduce el consumo de diversos recursos, y como consecuencia perfeccionando la calidad del mismo.

El campo de la automatización es muy amplio y se ha visto reflejado en diversas industrias manufactureras y de producción, sin embargo en el campo agroindustrial no ha tenido la

misma fuerza que se ve en las anteriores. Si hablamos específicamente de la filtración de agua para riego este tipo de procesos se realizan de manera manual o muy convencional siendo este proceso algo muy rudimentario que puede entorpecer la calidad de la producción.

Es de suma importancia diseñar nuevos sistemas automatizados orientados a la agroindustria que sean más seguros y mucho más eficientes, tomando en cuenta el manejo responsable del agua, cuidando el medio ambiente, mejorando la calidad del producto, pero sobre todo ahorrar tiempo al trabajador.

La mayoría de los jardines no tienen control automático para las diferentes variables a controlar en el riego de jardines y plantaciones. (García, 2005, p.56).

## **1.7 Sistemas eléctricos y electrónicos**

### ***1.7.1 Introducción***

Los sistemas eléctricos y electrónicos son tan comunes hoy en día en la industria y en la implementación de un sin número de aplicaciones ya sea en la automatización de procesos y de maquinaria. Un sistema eléctrico y electrónico está formado por varios componentes en los que se pueden nombrar los sensores, actuadores, elementos de mando, elementos de control, elementos de seguridad y autómatas programables.

### ***1.7.2 Transductores y sensores***

Se denomina transductor a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta. Dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y químicas, cualquier dispositivo que convierta una señal de un tipo en una señal de otro tipo debería ser considerado un transductor, y la señal de salida podría ser de cualquier forma física útil. (Areny, 2003)

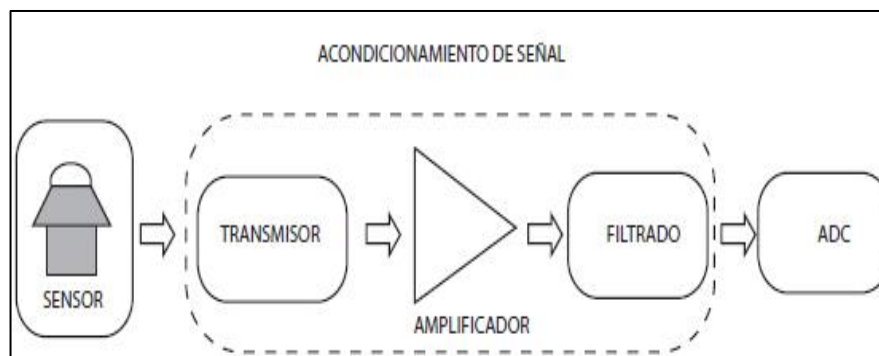
Un sensor es un dispositivo que a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida que es función de la variable medida. (Areny, 2003, p. 38).

En la actualidad se emplea el procesamiento y acondicionamiento electrónico por lo que es casi necesario que las magnitudes de salida de los sensores sean de tipo eléctricas, ya sea que nos suministren una corriente o un diferencial de voltaje correspondiente a la variación del parámetro medido.

Actualmente se confunde el término transductor y sensor y se los toma como sinónimos siendo la correspondencia adecuada como: sensor actualmente se relaciona como un transductor de entrada y el término actuador es utilizado para designar a un transductor de salida.

#### 1.7.2.1 Acondicionamiento y presentación.

Los acondicionadores de señal, adaptadores o amplificadores, en sentido amplio son los elementos del sistema de medida que ofrecen, a partir de la señal de salida de un sensor electrónico, una señal apta para ser presentada o que permita un procesamiento posterior mediante un equipo o instrumento estándar. Consisten normalmente en circuitos electrónicos que ofrecen entre otras funciones las siguientes: amplificación, filtrado, adaptación de impedancia y modulación o demodulación. (Areny, 2003) La figura 5-1 detalla el acondicionamiento de una señal.



**Figura 5-1** Acondicionador de señal

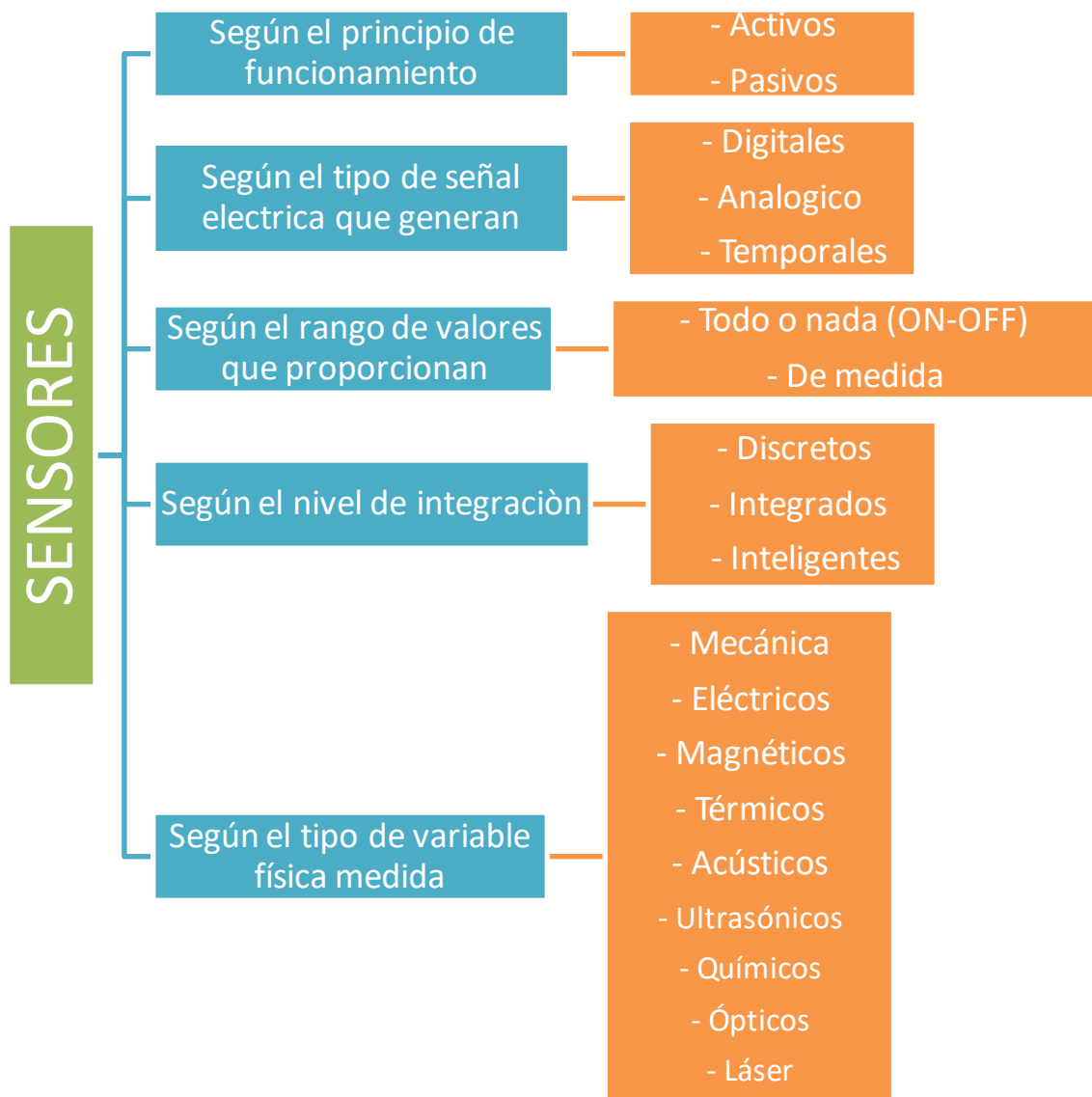
**Fuente:** (Herrera et al. 2006, <http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php>)

Según (Gonzales Avid Roman, p. 27), los acondicionadores se pueden clasificar en:

- Cambios en niveles de señal
  - Amplificación
  - Atenuación
  - Eliminación de offset
- Linealización
- Interface digital
  - Multiplexores
  - Muestreo y mantenimiento
  - Conversión A/D
  - Conversión D/A
- Filtrado y ajuste de impedancia. Conversiones de señales
  - Conversión corriente / presión
  - Puente de Wheanstone
- Transmisión de señal
  - Conversión tensión / corriente
  - Conversión corriente / tensión
  - Conversión tensión / frecuencia
  - Modulación

#### *1.7.2.2 Clasificación*

Es complicado poder tener una clasificación exacta y única para los sensores debido a la gran cantidad y características que poseen cada uno de ellos por lo que se les puede agrupar en ciertos grupos que se identifican de mejor manera como se observa en la figura 6-1.



**Figura 6-1** Clasificación de los sensores

**Fuente:** (SENSORES, <http://thelastlabproject.blogspot.com/2010/12/clasificacion-de-los-sensores.html>)

Se puede realizar una clasificación sencilla de los sensores como **ACTIVOS** y **PASIVOS**; los sensores activos pueden generar la señal sin la necesidad de una fuente de alimentación, mientras que los pasivos necesitan de una fuente de alimentación para poder efectuar su función.

Además por su manufactura se pueden clasificar en:

- Sensores mecánicos.
- Sensores eléctricos
- Sensores magnéticos

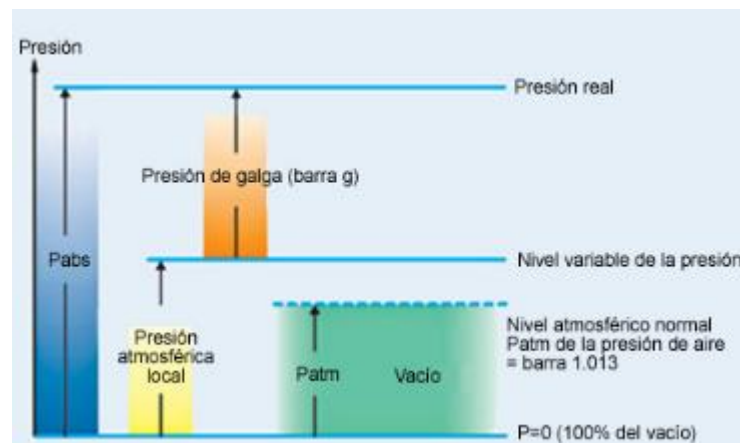
- Sensores térmicos
- Otros tipos.

### 1.7.2.3 Sensores de Presión

Los sensores de presión o transductores de presión, son muy habituales en cualquier proceso industrial o sistema de ensayo. Su objetivo es transformar una magnitud física en una eléctrica, en este caso transforman una fuerza por unidad de superficie en un voltaje equivalente a esa presión ejercida.

#### a) Funcionamiento

Los sensores de presión responden a la presión de un vacío perfecto (sensores de presión absoluta), a la presión atmosférica (sensores de presión manométrica), o a la presión de un segundo sistema (sensores de presión diferencial), tal como la presión dentro de un serpentín o filtro. La presión puede ser generada por un ventilador, una bomba o condensador, una caldera u otros medios. Los sensores de presión miden la presión de un gas o líquido. (Cosco, 2010). La figura 7-1 nos indica el funcionamiento de un sensor de presión.



**Figura 7-1** Funcionamiento sensor de presión

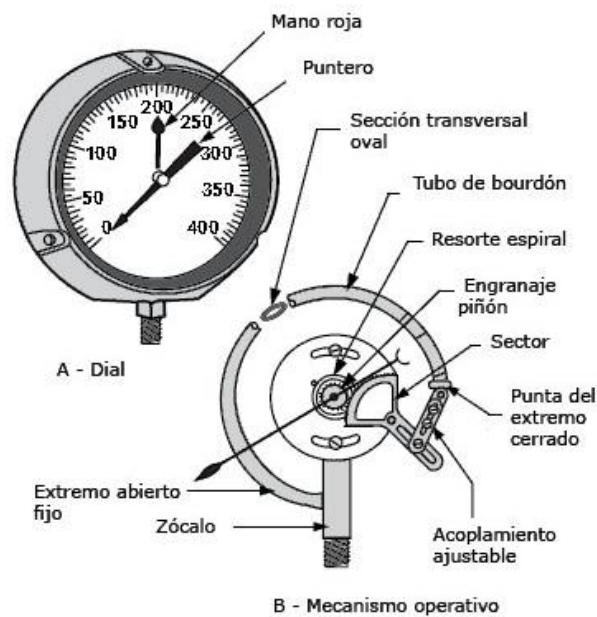
Fuente: <http://slideplayer.es/slide/27210/>

#### b) Clasificación

Los sensores de presión se clasifican en:

- Mecánicos

- Electromecánicos
- Electrónicos
- Sensores Mecánicos: El principio de funcionamiento consiste en un tubo de sección en forma de eclipse. Al ser sometido a presiones resultantes sobre las distintas áreas del bourbon tienden a darle forma circular produciendo un movimiento del extremo del bourbon que es función de la presión, (Bayas, et al., 2013) como se muestra en la figura 8-1.

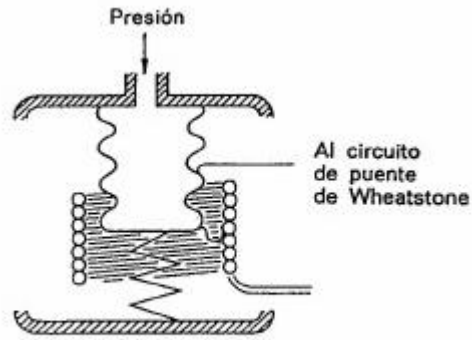


**Figura 8-1** Instrumento de Bourdon

Fuente: <http://serge.bertorello.free.fr/vidео/vacio/vacio.html>

- Sensor Electromecánico: Consisten en un elemento elástico que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. Este está conectado a un puente de Wheaton.

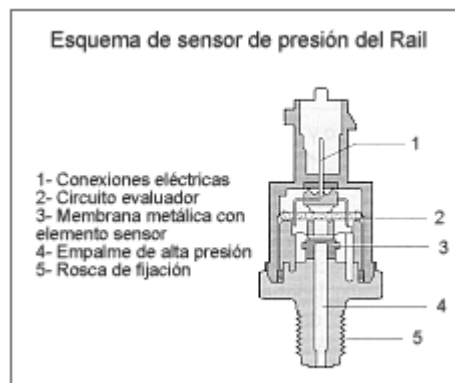
La presión provoca el desplazamiento de un cursor sobre una resistencia, actuando como un potenciómetro que modifica su valor proporcionalmente a la presión soportada. (Bayas, et al., 2013) La figura 9-1 indica el funcionamiento del sensor electromecánico.



**Figura 9-1** Sensor Electromecánico

Fuente: <http://es.slideshare.net/Marjo3Elizabeth/sensores-de-presion-29365981>

- Sensor Electrónico: los sensores de presión electrónicos se usan para registrar distintas presiones en las instalaciones fluídicas. (Bayas, et al., 2013) La figura 10-1 nos muestra los componentes de un sensor electrónico.



**Figura 10-1** Sensor Electrónico

Fuente: <http://es.slideshare.net/Marjo3Elizabeth/sensores-de-presion-29365981>

#### 1.7.2.4 Sensor de Humedad

##### a) Funcionamiento

Al introducir una pequeña corriente A.C. a través de un suelo o sustrato mediante una diferencia de potencial entre dos electrodos se presenta una impedancia opuesta al paso de la corriente. Esta impedancia es inversamente proporcional a la humedad del medio y



la corriente eléctrica que pasa, es directamente proporcional al contenido volumétrico de humedad del sustrato o suelo.(Calderón, 2000, p.80).

b) Clasificación

- Sensor Resistivo: Los sensores de humedad resistivos están hechos sobre una delgada tableta de un polímero capaz de absorber agua, sobre la cual se han impreso dos contactos entrelazados de material conductor metálico o de carbón. El parámetro que se mide es la resistencia eléctrica a través del polímero, que cambia con el contenido de agua. (Carletti, 2009, [http://robots-argentina.com.ar/Sensores\\_humedad.htm](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_humedad.htm)). En la figura 11-1 se indica un sensor de humedad resistivo.



**Figura 11-1** Sensor de humedad resistivo

Fuente: [http://robots-argentina.com.ar/Sensores\\_humedad.htm](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_humedad.htm)

- Sensor capacitivo: Son quizás los más difundidos en la industria y meteorología, pues son de fácil producción, bajos costos, y alta fidelidad. El principio en el cual se basa este tipo de sensores, es en el cambio que sufre la capacidad (C en [Farad]) de un condensador al variar la constante dieléctrica del mismo. (Glaría, 2001). La figura 12-1 muestra un sensor de humedad capacitivo.



**Figura 12-1** Sensor de humedad capacitivo

Fuente: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/sensor-de-humedad-capacitivo>

### **1.7.3 Actuadores**

Existen una gran variedad de actuadores eléctricos que se pueden adaptar a las necesidades y requerimientos de cualquier proceso entre los cuales podemos nombrar: relés, electroválvulas, motores CC, motores AC, motores paso a paso, servomotor, etc.

#### **1.7.3.1 Electroválvulas**

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoide. (Mola Morales, 2004, p. 68)

Las electroválvulas resultan del acoplamiento de un sistema electromecánico (solenoide–electroimán de accionamiento) a una válvula de distribución neumática elemental convirtiéndola a una de accionamiento eléctrico. (Bengott, 2009, p. 78)

##### **a) Funcionamiento**

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

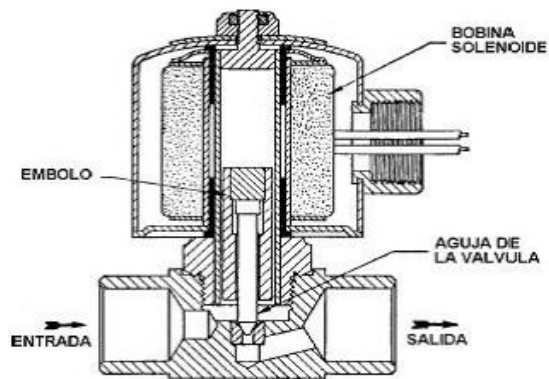
Existen varios tipos de electroválvulas. En algunas electroválvulas el solenoide actúa directamente sobre la válvula proporcionando toda la energía necesaria para su movimiento. Es normal que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un muelle y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del muelle. Esto quiere decir que el solenoide debe estar activado y consumiendo energía mientras la válvula deba estar abierta.

También es posible construir electroválvulas biestables que usan un solenoide para abrir la válvula y otro para cerrar o bien un solo solenoide que abre con un pulso y cierra con el siguiente. (Saldariaga, 2000, p. 56)

##### **b) Tipo de Electroválvulas**

- **Electroválvulas ON-OFF:** Las válvulas de solenoide permiten un control ON – OFF mediante variaciones de corriente eléctrica en su bobina. Son utilizadas ampliamente en control de flujo en sistemas neumáticos.

En muchas aplicaciones es necesario controlar el paso de algún tipo de flujo, desde corriente eléctrica hasta gases o líquidos. Esta tarea es realizada por válvulas. En particular, las accionadas por solenoides permiten su implementación en lugares de difícil acceso y facilitan la automatización del proceso al ser accionadas eléctricamente. (Vasquez, et al., 2010). La figura 13-1 indica los componentes de una electroválvula.



**Figura 13-1** Representación gráfica electroválvula ON-OFF

Fuente: <http://sistemasdinamicos2010ii.blogspot.com/2010/11/electrovalvulas-on-off-las-valvulas-de.html>

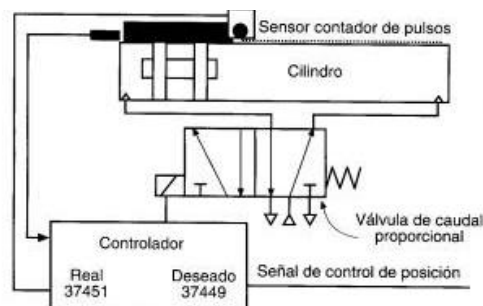
- Electroválvulas Proporcionales: las electroválvulas proporcionales producen una salida proporcional a la señal de entrada, pueden ajustarse a distancia por medios electrónicos. Las electroválvulas son accionadas por un solenoide proporcional teniendo:

Presión variable

Caudal variable

Dirección y caudal variables

La figura 14-1 muestra los componentes de una electroválvula proporcional.



**Figura 14-1** Representación gráfica electroválvula proporcional

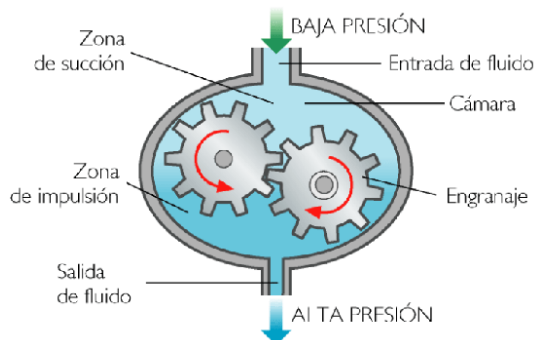
Fuente: [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

### 1.7.3.2 Bomba Hidráulica

Máquina que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. El fluido puede ser líquido, o una mezcla de líquidos y sólidos como el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel. (avidaz, 2008)

#### a) Funcionamiento

El movimiento del agua y otros líquidos y gases se hace creando una diferencia de presión entre dos puntos por succión, compresión, vacío, empuje y otros medios. El accionamiento de las bombas puede ser con energía humana (bomba manual), humana o animal (noría), animal (malacate), motor eléctrico (turbina y otras), eólica (molino de viento), o incluso con la energía de una corriente de agua (ariete, molino de agua). La figura 15-1 muestra dicho funcionamiento.



**Figura 15-1** Funcionamiento Bomba Hidráulica

Fuente: <http://m.exam-10.com/medicina/26825/index.html>

#### b) Tipos de bombas

Existe una ambigüedad en la utilización del término bomba, ya que generalmente es utilizado para referirse a las máquinas de fluido que transfieren energía, o bombean fluidos incompresibles, y por lo tanto no alteran la densidad de su fluido de trabajo, a diferencia de otras máquinas como lo son los compresores, cuyo campo de aplicación es la neumática y no la hidráulica.

Pero también es común encontrar el término bomba para referirse a máquinas que bombean otro tipo de fluidos, así como lo son las bombas de vacío o las bombas de aire. (avidaz, 2008)

Para la clasificación de las bombas existen dos criterios:

***Según el principio de funcionamiento:***

- **Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico:** En ellas que el principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan:
- **Bombas volumétricas:** En caso de poder variar el volumen máximo de la cilindrada se habla de bombas de volumen variable. Si ese volumen no se puede variar, entonces se dice que la bomba es de volumen fijo.

***Según el tipo de accionamiento:***

- **Electrobombas:** Genéricamente, son aquellas accionadas por un motor eléctrico, para distinguirlas de las motobombas, habitualmente accionadas por motores de explosión
- **Bombas neumáticas:** Son bombas de desplazamiento positivo en las que la energía de entrada es neumática, normalmente a partir de aire comprimido.
- **Bombas de accionamiento hidráulico:** Como la bomba de ariete o la noria.
- **Bombas manuales:** Un tipo de bomba manual es la bomba de balancín. (avidaz, 2008)

***1.7.4 Elementos eléctricos.***

Se definen los siguientes elementos que se pueden observar dentro de en un sistema de control eléctrico:

#### 1.7.4.1 Elementos de mando.

Para poder dar paso a la corriente eléctrica y alimentar a un circuito u otro, necesitamos de elementos que nos permitan dirigir estas maniobras. (Menéndez 2006, p. 108). La figura 16-1 muestra los elementos de mando.



**Figura 16-1** Elementos de mando.

Fuente: (Menéndez 2006, p. 108)

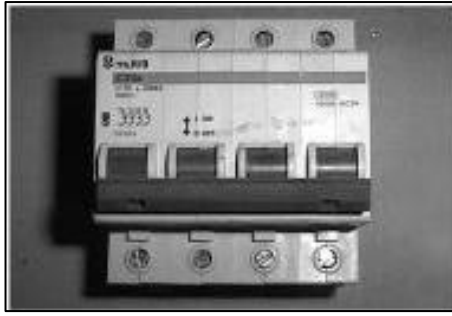
- Interruptores: son dispositivos que abren o cierran un circuito de forma permanente. Al accionarlo hacemos que varíe su posición.
- Pulsadores: son dispositivos que cuando se oprimen permiten el paso de la corriente eléctrica y cuando se dejan de oprimir vuelve a su posición inicial e interrumpen el paso de la corriente.
- Conmutadores: es un interruptor doble que actúa sobre dos circuitos.

#### 1.7.4.2 Elementos de protección.

Los elementos de protección protegen a las personas y los que protegen a las máquinas.

- Protección de aparatos: fusible, relé magnético, relé térmico, relé magneto térmico.
- Protección de personas: diferencial.

La figura 17-1 muestra un elemento de protección.



**Figura 17-1** Elemento de protección.

**Fuente:** (Menéndez 2006, p. 108)

- Fusible: es un dispositivo que tiene una resistencia casi despreciable y que se utiliza como protección a sobrecargas elevadas o durante un tiempo largo o cortocircuitos.
- Relé magnético: protege ante la posibilidad de que se presente un cortocircuito. La intensidad excesiva que circula debido al cortocircuito actúa por acción electromagnética sobre un núcleo de hierro, haciendo que este atraiga hacia él unos contactos cuya misión principal es la de abrir el circuito.
- Relé térmico: protege de sobrecargas. Produce un calentamiento del dispositivo, actuando sobre una placa bimetal y haciéndole que esta se doble, accionando una serie de contactos.
- Relé magnetotérmico: engloba las propiedades del relé magnético y del relé térmico.
- Interruptor diferencial: es un dispositivo que protege ante la posibilidad de que se presente una intensidad de defecto. Los hilos conductores activos mantienen unas intensidades de corriente iguales, pero al existir una derivación en el circuito, la corriente de salida es menor que la de entrada y esa diferencia existente es la que activa al dispositivo. (Menéndez 2006, p. 112)

## ***1.7.5 Sistemas y tipos de control***

### ***1.7.5.1 Generalidades de un Sistema de Control***

Un sistema de control puede ser representado gráficamente por un diagrama de bloques, tales diagramas de bloques indican la interrelación existente entre los distintos componentes del sistema.

### 1.7.5.2 Elementos de un sistema de control automático

Este sistema de control va a actuar independiente del operario y va a determinar por sí mismo los mejores valores para las señales de control.

- **CONTROLADOR:** Es aquel instrumento que compara el valor medido con el valor deseado, en base a esta comparación calcula un error (diferencia entre valor medido y deseado), para luego actuar a fin de corregir este error. Tiene por objetivo elaborar la señal de control que permita que la variable controlada corresponda a la señal de referencia.
- **ACTUADOR:** Es aquel equipo que sirve para regular la variable de control y ejecutar la acción de control, es conocido como elemento final de control.
- **PROCESO:** Esta referido al equipo que va a ser automatizado, por ejemplo puede ser una bomba, tolva, tanque, compresor, molino, intercambiador de calor, horno, secador, chancadora, caldera, etc.
- **SENSOR:** Es un elemento de medición de parámetros o variables del proceso.

### 1.7.5.3 Métodos de control clásico

Los métodos de control clásico son aquellos que esperan a que se produzca un error para luego realizar una acción correctiva. El error se presenta a causa de la diferencia de lectura entre la variable de salida sensada y la señal de referencia, este error está presente en todo momento, y la finalidad es minimizarlo.

Los métodos de control clásico pueden ser:

- **CONTROL ON-OFF:** Este método solo acepta dos posiciones para el actuador: encendido (100%) y apagado (0%). La lógica de funcionamiento es tener un punto de referencia, si la variable es mayor el actuador asume una posición, y si la variable es menor el actuador asume la otra posición.
- **CONTROLADOR PROPORCIONAL (P):** Es un control que se basa en la ganancia aplicada al sistema, se basa en el principio de que la respuesta del controlador debe ser proporcional a la magnitud del error. No corrige ni elimina perturbaciones, puede atenuar o aumentar la señal de error. Se representa a través del



parámetro  $K_p$  y define la fuerza o potencia con que el controlador reacciona frente a un error.

- **CONTROLADOR INTEGRAL (I):** Conocido como RESET. Este tipo de controlador anula errores y corrige perturbaciones, mediante la búsqueda de la señal de referencia, necesita de un tiempo  $T_i$  para localizar dicha señal. Se representa mediante el término  $K_i$  que es el coeficiente de acción integral y es igual a  $1/T_i$ .
- **CONTROLADOR DERIVATIVO (D): Conocido como RATE.** Este controlador por sí solo no es utilizado, necesita estar junto al proporcional y al integral. Sirve para darle rapidez o aceleración a la acción de control. Necesita de una diferencia  $l$  de tiempo  $T_d$  para alcanzar la señal de referencia, se representa mediante el término  $K_d$  que es el coeficiente de acción derivativa y es igual a  $1/T_d$ .
- **CONTROLADOR PROPORCIONAL-INTEGRAL (PI):** Actúa en forma rápida, tiene una ganancia y corrige el error, no experimenta un offset en estado estacionario. La aplicación típica es en el control de temperatura.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_n \cdot s} \right) \quad \text{EC. 6}$$

- **CONTROLADOR PROPORCIONAL-DERIVATIVO (PD):** Es estable, y reduce los retardos, es decir es más rápido. Es usado típicamente para el control de flujo de minerales.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_v \cdot s) \quad \text{EC. 7}$$

El control derivativo mide la pendiente instantánea de  $e(t)$ , prediciendo que tan grande será el sobre impulso aplicando las correcciones apropiadas antes de que se presente ese sobre impulso. Donde  $T_v$  se denomina duración predicha.

- **CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID):** Este controlador es el más completo y complejo, tiene una respuesta más rápida y estable siempre que esté bien sintonizado.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_n \cdot s} + T_v \cdot s \right) \quad \text{EC. 8}$$

### ***1.7.6 Controlador Arduino***

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware libre, flexible y fácil de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquier interesado en crear entornos, proyectos u objetos interactivos.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada, para esto se puede usar toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores.

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing).

Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectarlo a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, MaxMSP).

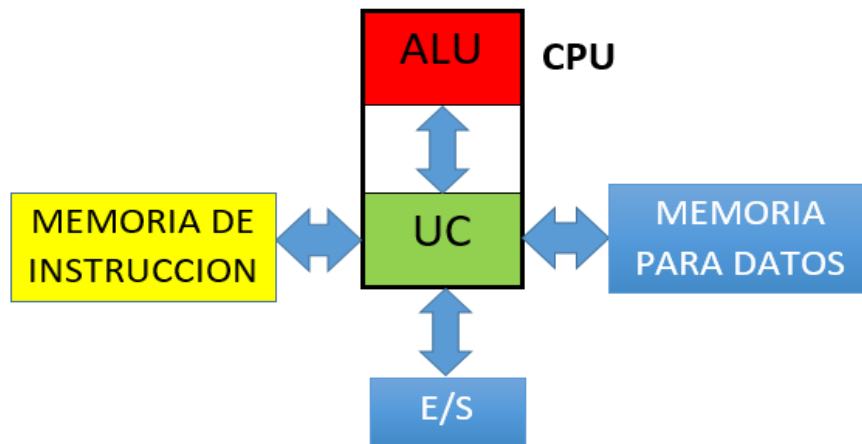
Las placas pueden ser hechas a mano o comprarse montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, así pues es libre de ser adaptado a cualquier necesidad.

#### ***1.7.6.1 Arquitectura Arduino***

Un microcontrolador llamado MCU (Micro Controller Unit), es básicamente un ordenador integrado en un solo chip. Un microcontrolador tiene en su interior las tres unidades básicas de un ordenador, es decir, memoria, CPU y periféricos E/S.

La mayoría de los microcontroladores modernos pueden llegar a tener muchas más partes: memoria RAM, memorias flash, temporizadores, decodificadores, conversores A/D y D/A, controladores (DMA, USB, Ethernet, PCI, etc.), UARTs (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Por su versatilidad están presentes en muchos aparatos cotidianos,

incluso en las máquinas y robots industriales. La figura 18-1 detalla la arquitectura del arduino.

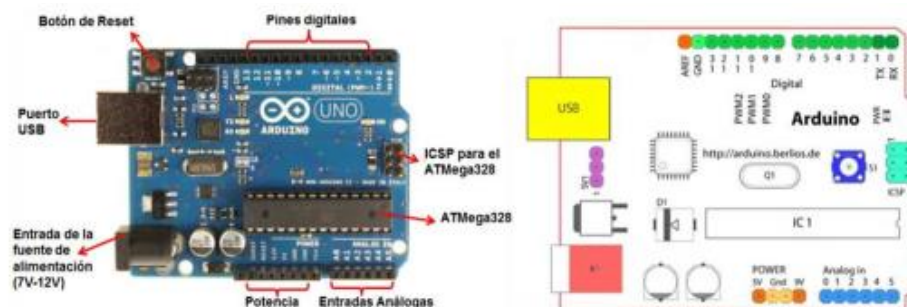


**Figura 18-1** Arquitectura Arduino

Fuente: <http://arquitectologia.blogspot.com.es/2013/09/curso-practico-gratuito-y-sencillo-de-ht ml>

### 1.7.6.2 Partes de la tarjeta Arduino

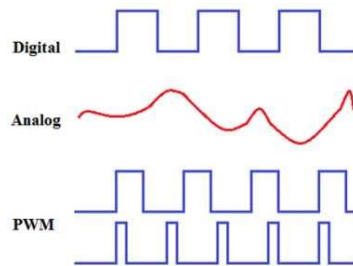
Para que funcione necesitamos la placa de Arduino, un cable USB para conectarla al PC, el software de desarrollo, una fuente de alimentación y los periféricos, sean analógicos o digitales. La figura 19-1 detalla los componentes de la tarjeta arduino.



**Figura 19-1** Partes tarjeta arduino

Fuente: <http://es.slideshare.net/tefayanez/arduino-42996209>

Las conexiones analógicas de la placa permiten trabajar con valores intermedios, ya que el sistema digital solo reconoce un valor bajo (interpretando como cero) o el valor alto (interpretado como 1), todo dependerá del umbral de voltaje de la familia lógica empleada por el chip. En cambio, las conexiones analógicas son capaces de identificar todos los posibles valores que pueda haber entre el voltaje máximo y el mínimo.



**Figura 20-1** Pulso de las E/S y PWM

Fuente: <http://arquitectura.blogspot.com.es/2013/09/curso-practico-gratuito-y-sencillo-de.htm>

El microcontrolador transforma esos valores en formato binario para trabajar internamente con ellos. Para ello emplea un código de 10 bits, oscilando entre 0 y 1023 para representar los posibles valores entre 0 y 5V. Otro pin es AREF, que proporciona un voltaje de referencia para los pines analógicos. Rx es para recibir y Tx para transmitir datos a través de un puerto serie TTL. Reset es capaz de resetear la memoria del microcontrolador.

### 1.7.6.3 Tipos de Arduino

En la actualidad existen diferentes versiones de placas o módulos Arduino. En la Tabla 1-1 se detallan las placas de mayor relevancia dentro de la plataforma Arduino.

**Tabla 1-1** Tipos de Arduino

Modelo de placa Arduino	Características
UNO	Con un microcontrolador ATmega328P a 16 Mhz, puerto USB, alimentación de 5 voltios, SRAM de 2 Kb, 32 Kb de flash, 1 Kb de EEPROM, 14 pines digitales, y 6 con PWM, así como 6 salidas analógicas
DUE	Microcontrolador AT91SAM3X8E basado en ARM a 84 MHz, alimentación de 3.3 voltios, flash de 512 Kb, SRAM de 96 Kb y no contiene EEPROM. Las entradas digitales ascienden a 54, 12 con PWM y las analógicas son 12.
MEGA	Un microcontrolador ATmega 2560 a 16 MHz, alimentación de 5 voltios, 4Kb de EEPROM, 8 Kb de SRAM y 256 Kb de flash. Las entradas digitales son iguales al Due solo que posee dos más con PWM y 16 analógicas.
LILYPAD	Microcontrolador ATmega 328V a 8 MHz, alimentación de 5.5 voltios, 16 Kb de flash, 0.5 de EEPROM y 1 de SRAM. Las entradas digitales son 14, 6 con PWM y 6 analógicas. Lo más peculiar es su reducido tamaño y que la placa es flexible

Fuente: (Mena, Rodríguez 2014, p. 37)

#### 1.7.6.4 Lenguaje de programación Arduino

El lenguaje Arduino (Arduino Programming Language) es un lenguaje de programación de alto nivel similar a otros lenguajes de programación, pero muy sencillo y fácil de aprender. Se basa en Wiring, una plataforma de código abierto que a su vez se apoya sobre el lenguaje de programación Processing.

## ***1.7.7 Tecnología Xbee***

### *1.7.7.1 Módulos Xbee*

De acuerdo a Digi, los módulos XBee son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Estos módulos utilizan el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 para crear redes FAST POINT-TO-MULTIPOINT (punto a multipunto); o para redes PEER-TO-PEER (punto a punto).

Fueron diseñados para aplicaciones que requieren de un alto tráfico de datos, baja latencia y una sincronización de comunicación predecible. Por lo que básicamente XBee es propiedad de Digi basado en el protocolo Zigbee. En términos simples, los XBee son módulos inalámbricos fáciles de usar. (XBee, s.f.)

### *1.7.7.2 Funcionamiento de los módulos Xbee*

Los módulos tienen 6 convertidores análogo-digital y 8 entradas digitales además de Rx y Tx. Trabajan a 2.4 GHz y generan una red propia a la que puedes conectarte o desconectarte. Entre otras características a tener en cuenta hay que decir que son módulos microprocesados con lo cual tienes solucionados los problemas de fallo de trama, ruidos, etc.

Los módulos, se comunican con un dispositivo RS232 a niveles TTL con lo cual la comunicación necesita un adaptador intermedio en el caso de un PC, pero pueden conectarse directamente a una placa de desarrollo como es Arduino.

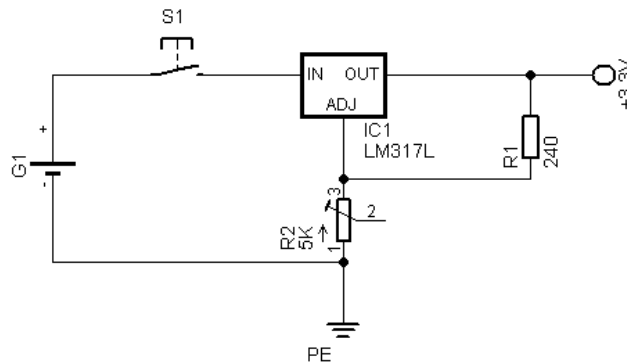
### *1.7.7.3 Conexión Básica*

Para el funcionamiento correcto del módulo XBee se necesita un regulador de voltaje. El regulador de voltaje utilizado requiere que la diferencia entre tensión de entrada y salida

sea de al menos 3V. Como la salida es de 3,3V, la tensión de entrada debe ser de al menos 6,3 V. Una opción es utilizar baterías de 9 V.

El circuito no incluye capacitores de filtro porque supone que la tensión de entrada de las baterías es muy estable. De ser necesario se pueden incluir a la entrada y la salida del LM317L. (Martínez, 2009)

La figura 21-1 muestra el esquema de conexiones del módulo xbee.



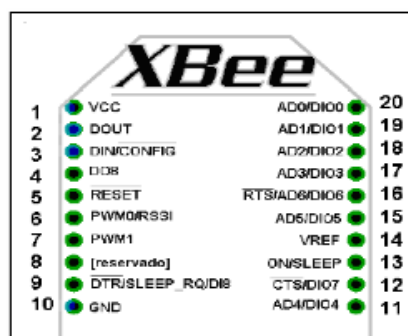
**Figura 21-1** Esquema de conexiones

Fuente: <https://qubits.wordpress.com/2009/04/04/esquematico-de-conexionado-y-montaje-de-modulos-xbee/>

#### 1.7.7.4 Configuración de pines del módulo Xbee

En la siguiente figura, se muestra un diagrama del dispositivo Xbee de vista superior para facilitar la ubicación de los pines.

La figura 22-1 detalla la configuración de pines del módulo xbee.



**Figura 22-1** Diagrama de pines XBee

Fuente: [https://www.electronicaestudio.com/sparkfun\\_producers.htm](https://www.electronicaestudio.com/sparkfun_producers.htm)

## DETALLE DE PINES MÓDULO Xbee

**Tabla 2-1** Distribución de pines módulo XBee

Pin	Nombre	Dirección	Descripción
1	Vcc	-	Alimentación
2	Dout	Salida	Salida UART
3	Din	Entrada	Entrada UART
4	DIO12	E/S	Entrada-Salida Digital E/S 12
5	Entrada	Módulo de Reinicio	
6	PWM0/RSSI/DIO10	E/S	PWM Salida/Indicador de Intensidad de señal recibida/Digital E/S
7	DIO11	E/S	Digital E/S 11
8	Reservado	-	No conectar
9	Sleep_RQ/DIO8	E/S	Pin Sleep Control line o digital E/S 8
10	GND	-	Tierra
11	DIO4	E/S	Digital E/S 4
12	DIO7	E/S	Control de flujo Clear-too-Send o Digital E/S 7, CTS s se encuentra habilitado este es una salida.
13	ON	Salida	Indicador del estado del módulo o Digital E/S 9
14	Vref	Entrada	No se utiliza en este módulo por compatibilidad con otros Xbee, se recomienda conectar este pin a un voltaje referencial, si el muestreo analógico se desea. De lo contrario, conectarse a GND
15	Asociado/DIO5	E/S	Indicador asociado, Digital E/S 5



16	DIO6	E/S	Control de flujo Request-to-Sent, Digital E/S 6. RTS si se encuentra habilitado este es una entrada.
17	AD3/DIO3	E/S	Entrada analógica 3 o Digital E/S 3
18	AD2/DIO2	E/S	Entrada analógica 3 o Digital E/S 2
19	AD1/DIO2	E/S	Entrada analógica 3 o Digital E/S 1
20	AD0/DIO0	E/S	Entrada analógica 3 o Digital E/S 0 o Botón de puesto en servicio.

Fuente: PALATAFORMA ZIGBEE, Configuración de los módulos Xbee, Junio 2012,

<http://plataformazigbee.blogspot.com/2012/05/practica-1-configuracion-v.conceptos.html>

#### 1.7.7.5 Modos de operación

Existen diferentes modos de operación que nos permiten trabajar con los módulos Xbee:

- Modo recibir/transmitir

Se encuentra en este modo cuando al dispositivo le llega algún paquete RF a través de la antena (modo Receiver) o cuando se manda información serial al buffer del pin 3 (UART Data in) que luego será transferida (modo Transmit).

La información transferida puede ser Directa o Indirecta:

Para el modo directo la información se envía inmediatamente a la dirección de destino mientras que para el modo Indirecto la información es retenida durante un período de tiempo y es enviada sólo cuando la dirección de destino la solicita.

Además es posible enviar información por Unicast y Broadcast. Para el primer modo la comunicación es desde un punto a otro, y es el único modo que permite respuesta de quien recibe el paquete RF, es decir, quien recibe debe enviar un ACK (acknowledgement) (paquete llamado así, y que indica que recibió el paquete, el usuario no puede verlo, es interno de los dispositivos) a la dirección de origen.

Quien envió el paquete, espera recibir un ACK, en caso de que no le llegue, reenviará el paquete hasta 3 veces o hasta que reciba el ACK. En el modo Broadcast la comunicación es entre un nodo y a todos los nodos de la red. En esta condición, no hay confirmación por ACK.

- Modo Peer-to-peer

Cada dispositivo habla con cualquier otro dispositivo, emitiendo broadcasts o direccionando un dispositivo remoto. Esto requiere que todos los dispositivos tengan su receptor continuamente encendido, dado que cualquiera puede recibir un mensaje en cualquier instante, pero permite mantener mensajes entre todos los dispositivos. (cika, 2008)

- Modo con coordinador

Uno de los dispositivos se configura para el rol de ordenador y está siempre alerta, logrando los remotos permanecer modalidad de bajo consumo por un tiempo determinado, el que se calcula para minimizar el gasto. Todas las comunicaciones de los remotos son hacia el coordinador. Éste, puede almacenar hasta dos mensajes para un remoto, hasta que este último, al reanudarse al funcionamiento normal, interroga al coordinador si tiene algún mensaje para él. (cika, 2008)

La configuración de los dispositivos se realiza mediante comandos AT, logrando operar fundamentalmente en uno de dos modos:

- Modo transparente

El arreglo en este modo se la realiza mediante comandos AT. (cika, 2008)

- Modo API

(Application Programming Interface). En este modo no existe modo datos, ni modo comando, se utiliza una regla para establecer la comunicación. (cika, 2008)

### **1.7.8 HMI**

Una HMI (Human Machine Interface), es un dispositivo o sistema que permite la interfaz entre personas y máquinas. Tradicionalmente estos sistemas consisten en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina o proceso, de manera virtual que están desarrollados sobre pantallas programadas; en general las HMI poseen puertos de comunicación, que permiten una conexión más sencilla y económica con los procesos o máquinas.

Las HMI son Terminal de Operador, generalmente construido para ser instalado en ambientes agresivos, con el fin de generar despliegues numéricos, o alfanuméricos o gráficos. Poseen además pantalla táctil (touch screen). Los HMI poseen softwares de modo de cumplir la función lógicas de supervisión y control.

Estos softwares permiten entre otras cosas las siguientes funciones: Interfaces gráfica de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas, también es normal que dispongan de otras herramientas.

Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el HMI un software de ejecución (Run Time). Por otro lado, este software puede comunicarse directamente con los dispositivos externos. (Chingo, 2016) La figura 23-1 muestra la HMI NEXTION.



**Figura 23-1** HMI NEXTION

**Fuente:** [http://www.monkeyboard.org/shop/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=250](http://www.monkeyboard.org/shop/index.php?main_page=product_info&products_id=250)

## CAPITULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

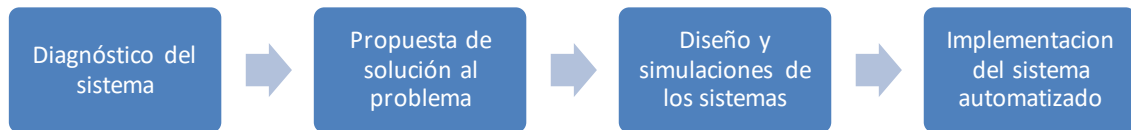
Previo a la implementación del sistema automático para el control por histéresis para el sistema de filtrado y riego automático se procedió a realizar una evaluación del proceso como se lo realiza de manera manual por parte del operario encargado del regadío en el centro experimental, y así recoger datos sobre niveles de humedad y tiempos duración de riego.

Para lograr que el proceso de filtrado y riego cumpla con los objetivos planteados se realizó una modelación en software SOLIDWORK del nuevo sistema a implementarse, teniendo en cuenta las especificaciones del sistema anterior que son: caudal de la bomba, diámetro de la tubería, tipos de filtro y presión de apertura requerida por las electroválvulas, todo esto se explicará de mejor manera en el apartado de diseño hidráulico.

Después se procedió a verificar si el diagrama del proceso automatizado de filtrado está diseñado correctamente, lo que nos ayudó a mejorar los tiempos de riego ya que al tener el sistema de filtración libre de impurezas, nos ahorramos tiempos de verificación por parte del operador si nuestro filtro debe ser drenado.

Al realizar las simulaciones se pudo optimizar los recursos en los diferentes sistemas de control, electrónicos, comunicación y sistemas similares por lo que se obtuvo el correcto funcionamiento de todos los sistemas que conforman nuestro proceso, por lo que se desarrolló el diagrama que utilizará nuestro sistema. Figura 1-2.

Los diseños y simulaciones han sido realizados en base al problema y sistema al que pertenecen, permitiendo así tener una mayor perspectiva de lo que será el proceso en la parte real.



**Figura 1-2** Diagrama del proyecto

**Realizado por:** FREIRE, Lino; OÑA, Crithian, 2016

Se evaluó el estado y funcionamiento de nuestro sistema de filtrado midiendo los tiempos que lleva realizar cada actividad.

La primera prueba que se realizó es el tiempo de filtrado de agua, es decir el tiempo que conlleva que esta pase por los tres filtros desde el reservorio hasta las salidas de riego a las plantaciones.

Como resultado de esta prueba se obtuvo que este proceso tomaba un tiempo aproximado de diez minutos, estas pruebas se realizaron con la ayuda de un cronometro y midiendo el tiempo desde el inicio del sistema hasta que este llegue a cumplir su función tomando un total de 10 muestras de cada proceso.

Durante los siete minutos que toma realizar el filtrado, el operario debe realizar diferentes actividades como son: la activación de la bomba de agua, cierre de las llaves de paso de agua para que el filtro de grava se llene y así alcanzar la presión requerida por el sistema, una vez alcanzada dicha presión el operario debe realizar la apertura de las llaves de paso para realizar el riego por goteo.

Como se muestra en la figura 2-2 se puede observar las condiciones en las que se encontraba el sistema de filtrado en el Centro Experimental De Riego.



**Figura 2-2** Máquina de filtrado de agua Centro de Experimental de Riego-ESPOCH

**Fuente:** FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016

## 2.1 Diagnóstico de la planta

Antes de la implementación del trabajo de titulación se realizó un diagnóstico del equipo para identificar los principales problemas que este presenta, con la principal característica que todo el proceso que se realiza manera manual, empezamos por elaborar el diagrama del proceso actual que rige en la planta, Figura 3-2.

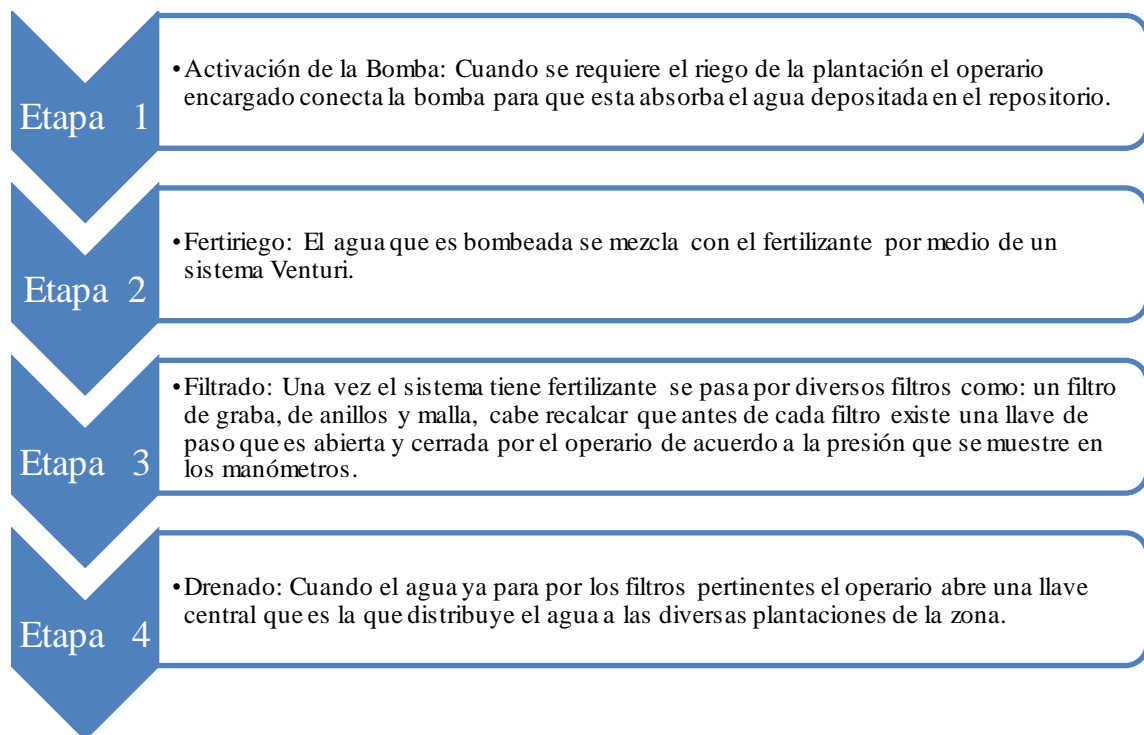
Descubriendo que el proceso tiene un bajo índice de eficiencia en cuanto a tiempo de filtración y drenado, lo que conlleva a que la optimización de recursos sea baja, debido a que en el proceso de filtración y riego no interviene ninguna herramienta tecnológica que facilite y agilite el proceso.

Uno de los principales problemas detectados es que el operador encargado del sistema de riego debe verificar constantemente los niveles de humedad para poder decidir si la plantación necesita o no ser regada, otro de los inconvenientes al momento de realizar el proceso de filtrado, es que el operador debe estar acercándose constantemente a la caseta donde se realiza el proceso de filtrado para verificar que los niveles de presión que ingresa al filtro de anillos sea la misma presión de salida del filtro de agua, en este proceso

podemos indicar que existe un alto índice de error tanto en las tomas de mediciones de humedad en el suelo, así como en las mediciones de presión ya que no se las realiza en los momentos indicados. En base a la información obtenida en las etapas de prueba previa a la implementación del proyecto se determinó que los sistemas necesarios a implementar para que el proceso pueda mejorar son los sistemas de control, electrónico, mecánico comunicación inalámbrica, mecánicos, tomando en cuenta que estos sistemas nos ayudan en el desarrollo tecnológico de nuestro proceso.

## 2.2 Etapas previas a la automatización del sistema de Filtrado para riego.

Después de realizar un análisis al proceso como se lo venía desarrollando de manera manual, se pudo determinar subprocesos, que nos ayudó a determinar como el operador interactuaba al momento de realizar cada una de las etapas del proceso como podemos observar en la Figura 3-2



**Figura 3-2** Etapas del sistema de Filtrado para riego por goteo en el Centro de Experimental de Riego-ESPOCH

Fuente: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016

En la figura se puede observar que el proceso se lo ejecuta en cuatro etapas, todas estas etapas se las realiza de manera manual con la intervención de un operario.

### 2.3 Etapas posteriores a la automatización del sistema de filtrado para riego.

Con la automatización del proceso de filtrado y riego automático se buscó mejorar cada una de las etapas antes descritas, para lo cual se desarrollaron varios mecanismos, sistemas electrónicos para el control de dichas etapas que posteriormente se irán explicando con mayor detalle.

La figura 4-2 detalla los procesos de automatización del sistema de filtrado.



**Figura 4-2** Etapas automatizadas del sistema de Filtrado para riego por goteo en el Centro de Experimental de Riego-ESPOCH

**Fuente:** FREIRE, Lino; OÑA, Crithian, 2016

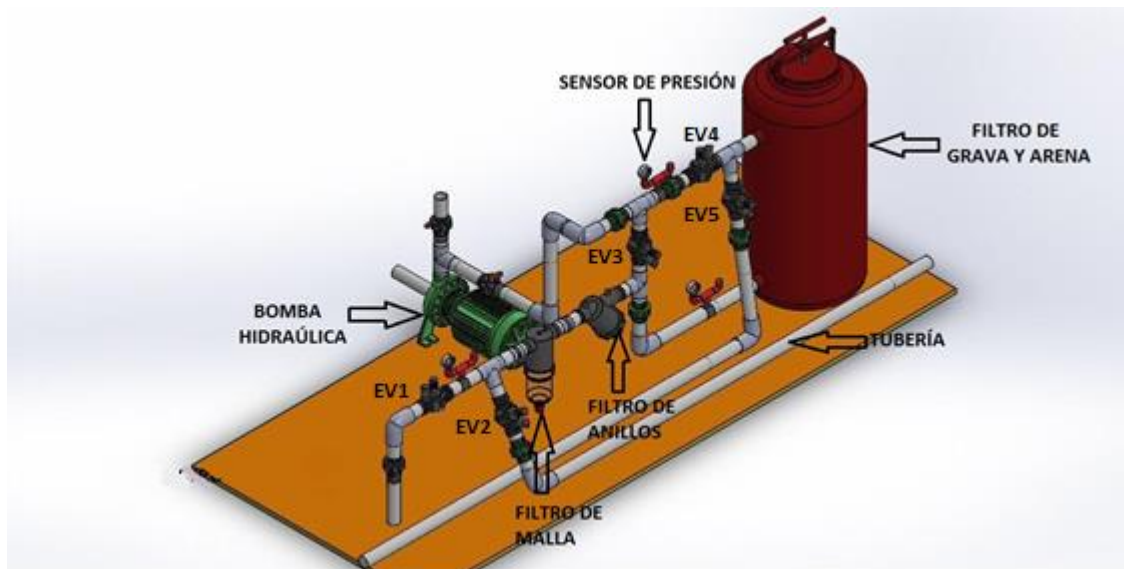
### 2.4 Diseño de la estructura hidráulica

El diseño de la estructura mecánica es una de las partes más importantes del proyecto puesto que en base a la estructura mecánica los otros sistemas de nuestro proceso funcionaran de manera correcta, el software que se utilizó para este diseño de la estructura mecánica es SOLIDWORKS 2014.

Es un programa de diseño mecánico para crear geometría usando sólidos paramétricos y que está enfocado al diseño del producto ya que al ser muy potente el diseño se lo puede realizar en 3D integrado e intuitivo, ayudando a maximizar la productividad del diseño y la producción, posee un módulo inteligente de detección de errores de diseño y módulos para diseño sustentable acompañado de diferentes herramientas que nos permite simular las condiciones y análisis del diseño en situaciones reales para optimizar su desempeño.



Se tomó como base el sistema de filtración manual que se encontraba implementado en el Centro de Riego de la ESPOCH ya que el nuevo sistema se debe acoplar al diámetro del filtro de grava así como los diámetros de entradas y salidas de los diferentes filtros. La figura 5-2 muestra el diseño del sistema de filtrado de agua.



**Figura 5-2** Diseño de la modificación para sistema de filtrado de agua

*Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016*

## 2.5 Diseño del sistema hidráulico.

En esta aparato se describe el sistema hidráulico utilizado para la automatización del proceso de filtrado y purificación de agua para riego automático, se especifica los dispositivos empleados según los requerimientos del Centro Experimental De Riego De La ESPOCH.

Previo a la selección y dimensionamiento de los dispositivos que se van a utilizar, se especificó cuáles son todos los requerimientos de presión de agua necesaria, los niveles de humedad óptimos para el cultivo y así para poder realizar el riego automático por goteo correctamente.

### 2.5.1 Bomba hidráulica

Uno de los equipos principales en nuestro sistema de riego es nuestro equipo de bombeo, ya que por medio de estos equipos producimos el movimiento de nuestro líquido hacia las diferentes tuberías para así lograr que nuestro líquido recorra el sistema de filtración y posteriormente circule por las tuberías para realizar el riego a nuestro cultivo.

Al momento de seleccionar el equipo de bombeo se tomó en cuenta el área de nuestro cultivo que vamos a regar así como la longitud de nuestra tubería al momento de realizar la etapa de filtrado, las pérdidas en los accesorios de la tubería y la presión necesaria que necesitamos para la activación de las electroválvulas puesto que necesitan una presión mínima para que se puedan activar.

La tabla 1-2 detallan las características técnicas de la bomba a ser utilizada para el sistema de bombeo.

**Tabla 1-2** Características bomba hidráulica

Parámetro	Valor
Potencia	3 hp
Numero de Fases	1
Voltaje	110 / 220 V
Corriente	28 / 16,20 A
Frecuencia	60 Hz
Tipo de arranque	Por capacitor
Factor de potencia	0,76
Capacitancia	518 uf
Caudal max	90 l/min
Diámetro de succión y descarga	2" y 2"

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016

### 2.5.2 Tuberías y Accesorios

Las tuberías son una de la parte más importante al momento de realizar sistemas de riego ya que permiten conducir el líquido hacia los diferentes puntos de aplicación sin que existan pérdidas de agua y evitando dar un mantenimiento a los canales o sequias.

Los tipos de tuberías más utilizados para el riego son: tubería PVC y tubería de Polietileno.

La tubería de tipo PVC es una de las más utilizadas para la conducción de agua en sistemas de riego ya sea para las líneas principales así como los ramales secundarios, siendo la de la línea principal de mayor diámetro.

Para seleccionar el diámetro de la tubería debemos tomar en cuenta tres parámetros muy importantes como son:

- La cantidad de Caudal que se va a conducir por la tubería
- Para tener pérdidas mínimas en el sistema la tubería debe ser de mayor diámetro
- De acuerdo al diámetro de la tubería los costos varían, a menor diámetro menor costo

De acuerdo a los parámetros antes mencionados se escogió implementar el sistema de filtrado con tubería de 1 ½ pulgadas de diámetro para las líneas principales y lo que nos ayuda a evitar pérdidas en el caudal y la presión en nuestro sistema de filtración, mientras tanto que para las líneas secundarias se utiliza manguera de ½ pulgada.

En base a los parámetros de costos se decidió utilizar tubería plástica pegable de presión, puesto que en comparación a la tubería roscable de plástico y tubería roscable de metal galvanizado, esta tubería tiene un menor costo en comparación a las anteriores.

Los accesorios nos ayudan a unir las tuberías de acuerdo a la geometría de la instalación que estamos realizando, los accesorios utilizados en nuestro sistema de riego son:

- Codos
- Uniones
- Uniones universales
- T

- Tapones
- Bushing
- Collarines



**Figura 6-2** Accesorios Para Tubería

Fuente: <http://riegosvisan.com/accesorios-tuberia-de-pvc>

### 2.5.3 *Filtros*

Para nuestro sistema se utilizaron filtros de arena debido que vamos a utilizar agua que se encuentra almacenada a la intemperie donde en dicha agua se forman partículas orgánicas como algas por lo que al no utilizar un sistema de filtrado nuestras tuberías se taponarían por lo que, hemos determinado que nuestro líquido pasará primero por un filtro de grava y arena, puesto que este filtro está diseñado específicamente para el filtrado de partículas orgánicas, una vez pasado por el filtro de arena el líquido pasara por un filtro de anillos y de mallas, la función de estos filtros es filtrar las partículas minerales como arcilla y arena que pueden venir de nuestro filtro de arena.

### 2.5.4 *Fertirriego*

El Fertirriego es uno de los métodos que nos ayuda a aumentar el rendimiento y así poder mejorar la calidad en nuestros cultivos puesto que se distribuye uniformemente los fertilizantes, esto podemos lograr con una correcta dosificación de los fertilizantes que

necesita nuestro cultivo ya que dicha aplicación se la realiza en el agua de riego que ya se encuentra filtrada.

Al aplicar Fertirriego en a nuestro cultivo podemos aumentar la eficiencia de los nutrientes que nuestras plantas necesitan, así como optimizando la fertilización directa a las raíces y reduciendo la contaminación del agua que se va a utilizar para el riego de nuestro cultivo.

Al nosotros utilizar el Fertirriego ahorramos costos de mano de obra al igual que tiempos en fertilización puesto que colocamos directamente el fertilizante en nuestra agua de riego.

Para realizar el Fertirriego el centro experimental de riego posee un sistema inyector de fertilizante el cual no necesita de una fuente de energía externa para su activación, es decir que, utiliza la misma presión que proporciona nuestra bomba hidráulica de nuestro sistema de riego para realizar la fertilización en nuestras plantaciones.

La principal ventaja de estos sistemas inyectores de fertilizante es que evitan la pérdida de carga de presión en nuestro sistema. La figura 7-2 muestra un sistema de fertirriego.



**Figura 7-2** Accesorios Para Tubería

Fuente: <http://riegosvisan.com/accesorios-tuberia-de-pvc>

### 2.5.5 *Electroválvulas*

Al realizar la automatización del sistema de filtrado necesitamos que nuestro sistema hidráulico actúe de forma inmediata evitando pérdidas de presión y por ende que el caudal sea el necesario para realizar el riego. Las electroválvulas en el sistema de filtrado son la parte más importante, puesto que permitirán el paso del líquido a las diferentes etapas en nuestro sistema de filtrado y riego automático.

El seleccionamiento de las electroválvulas se lo realizó en base a los diámetros de entrada y salida de nuestro filtro, puesto que, el filtro utilizado y las tuberías en el sistema están seleccionadas de acuerdo a los niveles de caudal y la presión necesarios para realizar el riego por goteo en las distintas parcelas.

Las electroválvulas utilizadas en nuestro sistema de filtrado son de marca Hi – Flow modelo VYR – 6150 cuyas características se detallan a continuación.

La figura 8-2 muestra la electroválvula utilizada para este proyecto.



**Figura 8-2** Accesorios Para Tubería

**Fuente:** <http://www.vyrsa.com/es/catalogo/productos/electro-valvulas-hi-flow-vyr-6150/>

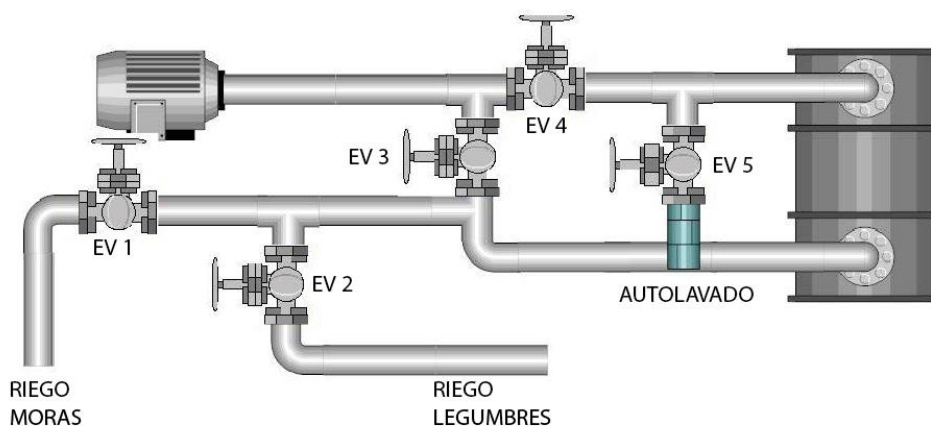
La tabla 2-2 detalla las especificaciones técnicas de la electroválvula VYR – 6150.

**Tabla 2-2** Características de las electroválvulas

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
<b>Diámetro disponibles</b>	1", 1 1/2", 2" y 3"
<b>Tipo de rosca</b>	Hembra
<b>Tipo de apertura</b>	Manual y Automática
<b>Material de fabricación</b>	Nylon y Fibra de Vidrio
<b>Limpieza</b>	Permanente por medio de un filtro de malla incorporado
<b>Tipo de diafragma</b>	EPDM reforzado con tela
<b>Activación</b>	24 V.ac.
<b>Temperatura de trabajo</b>	Entre 2 y 80 °C
<b>Presión de trabajo</b>	Recomendada de 1 a 12 bars
<b>Respuesta de apertura y cierre</b>	0,5 segundos
<b>Regulador de caudal</b>	Incorporado
<b>Rango de caudal</b>	38 y 240 l/min
<b>Altura</b>	29 cm
<b>Anchura</b>	29 cm
<b>Peso</b>	190 gr

Fuente: <http://www.vyrsa.com/es/catalogo/productos/electro-valvulas-hi-flow-vyr-6150/>

En el sistema de filtración mostrado en la figura 9-2, se encuentran 5 electroválvulas las cuales tienen el siguiente funcionamiento en el sistema de filtrado



**Figura 9-2** Sistema de Filtrado

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016

- Electroválvula 1: el funcionamiento de esta electroválvula es permitir la salida del agua ya filtrada hacia el sistema de riego por goteo de la plantación de mora.
- Electroválvula 2: La función de la electroválvula número dos es habilitar el paso de agua hacia las plantaciones de legumbres puesto.
- Electroválvula 3: la electroválvula se activará para realizar el retro lavado del filtro, mientras tanto permanecerá cerrada hasta que el filtro se encuentre y exista una diferencia de presiones.
- Electroválvula 4: esta electroválvula permite el paso hacia nuestro filtro de grava, por lo que esta se activará siempre que se necesite realizar el riego en cualquiera de nuestras plantaciones.
- Electroválvula 5: cuando el sistema de filtrado necesite realizar el retro lavado del filtro, esta electroválvula se activará y permitirá la salida del agua con impurezas acumuladas en nuestro filtro.

## **2.6 Diseño del sistema electrónico.**

En esta sección se detallarán todos los elementos electrónicos que se utilizarán, comenzando con los sensores y la interfaz gráfica que permite un fácil uso del sistema de filtrado y purificación de agua para riego automático.

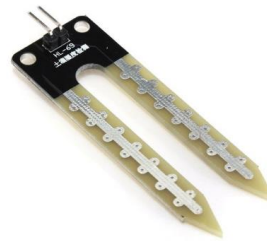
### **2.6.1 Sensores.**

Los sensores son dispositivos que transforman magnitudes físicas, químicas, mecánicas en magnitudes eléctricas. Estas señales nos permitirán obtener señales y posteriormente serán tratadas por el controlador para un respectivo control, además proveerán señales de verificación que nos proveerá de seguridad tanto para la parte del proceso como para la parte humana previniendo posibles accidentes.



### 2.6.1.1 Sensor de Humedad

Existen diferentes tipos de sensores de humedad, cada uno con funcionamiento diferente de acuerdo a su necesidad y al ambiente donde se vaya a manejar. En este caso nosotros usaremos un sensor de humedad específicamente para suelo modelo HL-69. La figura 10-2 muestra el sensor de humedad HL-69.

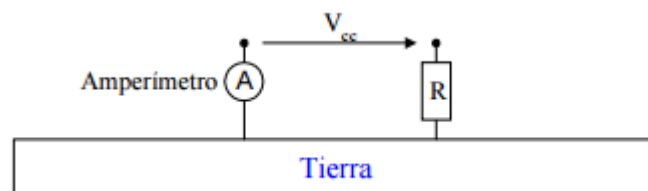


**Figura 10-2** Sensor de Humedad HL-69

Realizado por: OÑA, Crsthian, FREIRE, Lino, 2016

- Funcionamiento.

Se trata de utilizar la conductividad de la muestra (tierra), la cual va a ser mayor mientras más sea la cantidad de agua presente en ella. Se introducen dos electrodos separados por cierta distancia, para luego ser sometidos a una diferencia de potencial constante. La corriente circulante será entonces proporcional a la cantidad de agua presente en la muestra. (Fernández, 2005) La figura 11-2 muestra el esquema de medición.

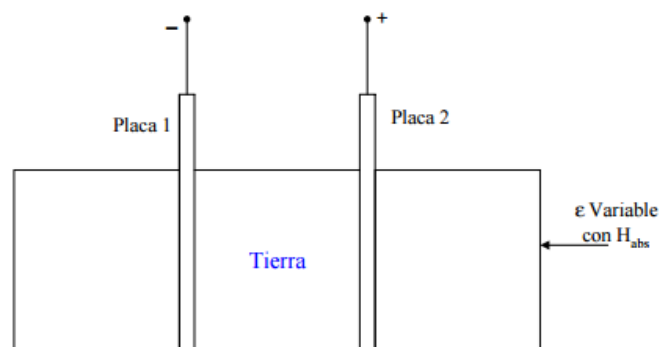


**Figura 11-2** Esquema de medición

Fuente: (Jaime Garcia, 2001, p.16)

R es sólo una medida de protección en caso de corto circuito. La desventaja de este método es que si se agregan fertilizantes, o cambia la constitución de la mezcla, se tendrá que volver a calibrar el instrumento. Se recomienda además aplicar tiempos de medición cortos, dado a que los electrodos se pueden deteriorar. O para prevenir esta situación utilizar voltajes alternos, sin embargo se requerirá transformar la corriente alterna medida a una señal continua, en vista que la mayoría de los sistemas de adquisición de datos trabajan en modo cc. (Fernández, 2005)

Otra forma es utilizar la tierra (con agua) como dieléctrico, en este caso se deberán introducir las placas del condensador paralelamente en la muestra. La constante dieléctrica de la mezcla será directamente proporcional a la cantidad de agua presente en ella, variando de esa manera el valor  $C$  del condensador. Siguiendo el mismo procedimiento ya explicado, basta con transformar el cambio de  $C$  a una señal de voltaje (puentes, osciladores o circuitos resonantes). La figura 12-2 ilustra una posible implementación.



**Figura 12-2** Implementación como dieléctrico

Fuente: (Jaime Gracia, 2001, p.17)

Las celdas de carga pueden tener diferentes configuraciones del puente dependiendo si se lo realiza con una galga, con dos o con cuatro galgas. Si se lo realiza con dos o con cuatro galgas extensiométricas la celda poseerá una mayor sensibilidad y además permitirá compensar la medida por variaciones de temperatura. Todo esto se lo podrá ver en las características que da el fabricante de las celdas de carga.

### 2.6.1.2 Técnicas de Calibración

En general cualquiera de los sensores, necesita ser calibrado, para ello existen variados procedimientos, y su eficacia va a depender para que tipo de propósito se desea emplear el sensor. Cabe señalar que cualquier sensor de humedad existente en el mercado, que venga con calibración garantizada, serviría para calibrar un instrumento nuevo, sin embargo, como se pretende ahorrar costos, conviene conocer algunas formas prácticas para lograr el cometido.

#### a) Calibración por variación de masa:

Es la forma más lógica de calibrar un instrumento. Se basa en la idea de pesar una muestra antes y después de extraer el vapor de agua de la misma, es decir, se pesa la muestra con agua incluida, luego es calentada para extraer toda molécula de H<sub>2</sub>O presente (lo máximo posible), se vuelve a pesar ahora la muestra seca. La resta de ambas indica la masa de agua presente.

Luego la razón entre la masa de agua obtenida y el volumen inicial de la mezcla corresponde a la Habs. Este procedimiento es bastante utilizado para calibrar sensores de humedad de tierra u otras sustancias sólidas.

#### • Efectos negativos sobre la calibración:

Un dispositivo correctamente calibrado no permanecerá en ese estado para siempre, de hecho existen varios factores que se deben considerar para mantener un sensor en correcto funcionamiento:

#### b) Contaminantes:

Resulta obvio proteger el sensor de todo tipo de impurezas, que puedan alterar su funcionamiento. Lo anterior resulta muy importante en los sensores de tipo capacitivos, ya que la presencia de materiales extraños podría alterar la constante dieléctrica del mismo. También se debe tener especial cuidado en los sensores que utilizan materiales higroscópicos, puesto que se puede alterar la composición química de la sal empleada, induciendo así errores no deseados.

En general, se recomienda calibrar y realizar la mantención de los sensores cada cierto intervalo de tiempo, ello va a depender tanto del tipo de sensor empleado como el uso que se le dé en la práctica.

### 2.6.1.3 Circuito de control sensor de humedad HL-69

El circuito de control es el que posee las resistencias limitadoras de corriente y es el encargado de alimentar el módulo HL-69. Posee un amplificador operacional, específicamente el circuito integrado LM392. Este es el encargado de amplificar el pequeño diferencial de voltaje que se genera al existir presencia de agua en las terminales del sensor. Aquí es donde se genera la señal de salida que puede ser del tipo analógica o digital. La señal digital oscilará entre los valores HIGH y LOW dependiendo de si hay agua o no sobre las pistas de la placa HL-69. La figura 13-2 muestra el circuito de control del sensor de humedad HL-69.



**Figura 13-2** Circuito de Control Sensor HL-69

*Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Crishian, 2016*

La salida analógica entregará un nivel de voltaje que variará dependiendo de la cantidad de agua que haya sobre el módulo.

Para utilizar el módulo basta con conectar el circuito de control a los pines que se indican en la imagen de arriba (la salida analógica a A0 y la salida digital al pin 10). El código a utilizar es muy sencillo.

### 2.6.1.4 Especificaciones técnicas.

La tabla 3-2 detalla las especificaciones técnicas del sensor humedad HL-69

**Tabla 3-2** Especificaciones Sensor de humedad HL-69

Especificaciones		
<b>General</b>	Tipo	Módulo de sensor de humedad
<b>Conectividad</b>	Puerto	DO
<b>Componentes electrónicos</b>	Voltaje de operación	3.3 – 5 V
	Peso del producto	0.006 Kg
<b>Tamaño y peso</b>	Peso del paquete	0.050 Kg
	Tamaño dl producto	4.30 X 1.40 X 0.80 cm
	Tamaño del paquete	6 X 3 X 2 cm

Fuente: OÑA Crsthian, FREIRE Lino

La figura 14-2 detalla las conexiones del circuito de control del sensor de humedad HL-69.



**Figura 14-2** Conexión del circuito de control

Fuente: (Antony GARCIA, 2014)

En el circuito de control existen diferentes elementos que ayudan al manejo adecuado del sensor de humedad. El circuito tiene un conjunto de resistencias que dan protección al mismo en contra de algún cortocircuito, además de un amplificador operacional que es el encargado de amplificar el pequeño diferencial de voltaje que se genera cuando una gota de agua cae sobre las pistas del módulo. También cuenta con un potenciómetro que nos ayuda a ajustar la sensibilidad del sensor. El circuito de control cuenta con dos tipos de salida analógica y digital.

## 2.7 Accionamiento de Electroválvulas

Las electroválvulas al ser los principales elementos de nuestro sistema requieren de un accionamiento controlado y muy estable, tiene que ser un accionamiento rápido que permita una respuesta inmediata a las solicitudes del controlador. También es de suma importancia que el circuito accionador tenga un método de protección para sí mismo, para las electroválvulas y para el controlador.

Una de las mejores formas de lograr este aislamiento es con un opto acoplador o un aislador acoplado ópticamente, este es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor que se activa por un pulso de luz, esta luz es emitida por un LED, el mismo que activa el componente en forma de una fototransistor.

Para la activación de las electroválvulas decidimos utilizar un módulo con relés, el mismo que cuenta con todas las protecciones necesarias para nuestros elementos electrónicos. El módulo que seleccionamos cuenta con un bloque de 8 relés de 10 Amperios y 220 VAC, cada relé cuenta con un opto acoplador. El módulo tiene una sección de 10 pines dos de ellos para su alimentación que cabe mencionar se realiza con 5 VDC y los pines restantes son pines de activación para los relés. La figura 15-2 muestra el módulo accionador de las electroválvulas.



**Figura 15-2** Módulo accionador

Realizado por: OÑA Crsthian, FREIRE Lino, 2016

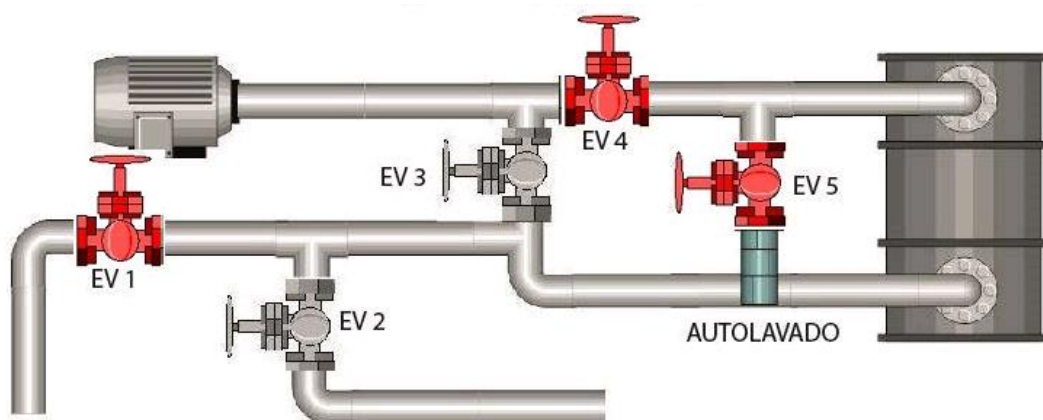
El accionamiento de las electroválvulas ocurrirá por tres eventos diferentes y se accionaran siempre en una configuración diferente para cada evento. El sistema cumple con tres funciones únicamente: Proceso Automático, Proceso Manual y Auto lavado del filtro automático.

### 2.7.1 Proceso Automático

El proceso automático dependerá únicamente de los sensores humedad al existir una diferencia de resistencia producida por el agua existente en la tierra, esta diferencia será entre los dos terminales del sensor que presentes en el sistema.

El proceso ocurrirá cuando los sensores indiquen un rango de humedad bajo, lo que producirá el accionamiento de las electroválvulas hacia la tubería respectiva para que se produzca el riego por goteo, hasta que los mismos sensores marquen un porcentaje adecuado para la plantación y se dejen de accionar las electroválvulas. Este al ser el proceso automático se estará ejecutando continuamente.

La figura 16-2 indica las electroválvulas que se encuentran activas en el proceso automático en donde las electroválvulas en color rojo son las activadas y las de color gris las desactivadas.

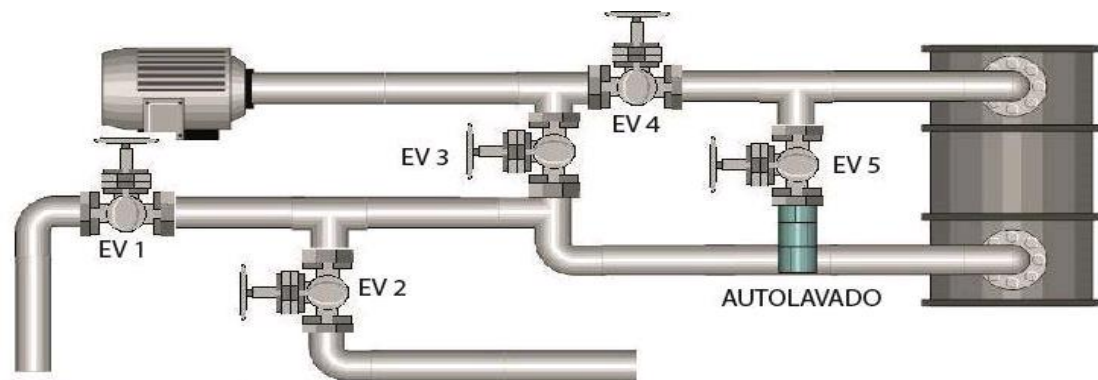


**Figura 16-2** Activación de electroválvulas proceso automático

Realizado por: OÑA Cristhian, FREIRE Lino, 2016

### 2.7.2 *Proceso Manual*

El proceso manual ocurrirá únicamente cuando algún operario lo seleccione en el sistema, mediante la interfaz HMI, este proceso le permite al operario regar dos zonas diferentes de la plantación y realizar el auto lavado del filtro, todas estas al mismo tiempo o puede realizarlas por separado. La figura 17-2 muestra la disposición de las electroválvulas del sistema del filtrado.



**Figura 17-2** Disposición electroválvulas

Realizado por: OÑA Crithian, FREIRE Lino, 2016

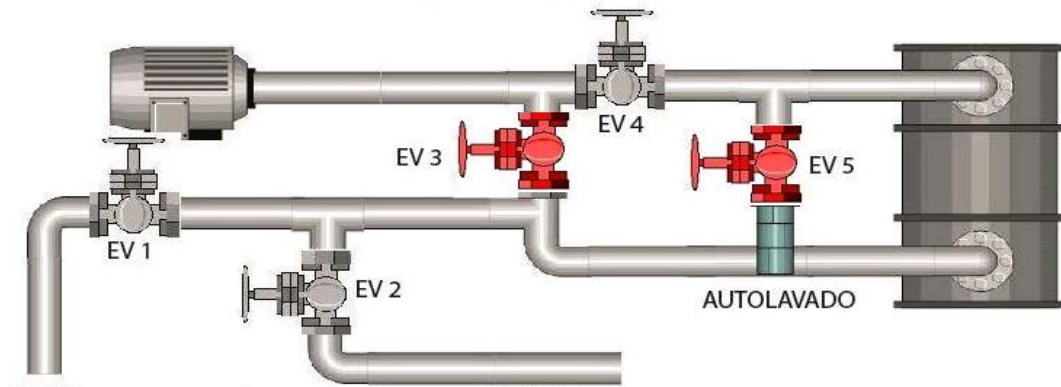
### 2.7.3 *Auto lavado del filtro automático*

El filtro de graba presente en el sistema, cuenta con dos manómetros analógicos, uno a la entrada de líquido del mismo y otro a la salida, estos manómetros cumplen una función importante, ya que son los encargados de avisar al sistema, que el filtro se encuentra con demasiadas impurezas y no está cumpliendo su función primordial de filtrar agua para el riego.

Cuando existe una diferencia considerable de presión entre los dos manómetros se activa el proceso de auto lavado, este proceso dura aproximadamente 5 min.

De la misma manera que en el proceso automático, las electroválvulas tienen una configuración diferente para el auto lavado, la figura 18-2 muestra dicha configuración:





**Figura 18-2** Activación de electroválvulas proceso auto lavado

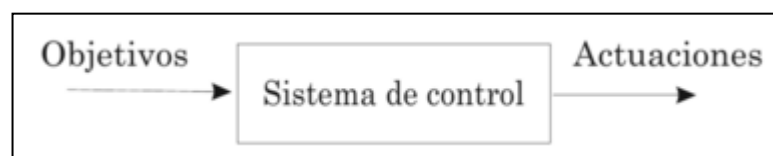
Realizado por: OÑA Crithian, FREIRE Lino, 2016

## 2.8 Sistema de control ON – OFF con histéresis

Para la implementación del sistema de control hemos tomado en cuenta las variables que necesitamos controlar, y así poder considerar como establecer una estructura correcta de nuestro sistema de control.

Las principales etapas que componen nuestro proceso fueron analizadas previamente para que su implementación sea la correcta y así se evitó que los problemas que se tenía antes de realizar la automatización sean corregidos, implementando un sistema de control on – off por histéresis en el cual se aplicó a las variables a controlar como la presión en nuestro sistema de filtrado, así como la humedad la cual controlamos para la activación de nuestro sistema de riego, en estas etapas fueron donde se detectó los principales problemas.

La figura 19-2 muestra el tipo de sistema de control.



**Figura 19-2** Sistema de control

Fuente: ÑECO, Ramón, 2003, p. 4

El control ON – OFF es uno de los sistemas más utilizados a nivel de procesos industriales, estos sistemas de control utilizan una base de una señal de nuestro sensor previamente establecida la cual activa o desactiva nuestros actuadores cuando nuestros sensores alcanzan el valor que se estableció.

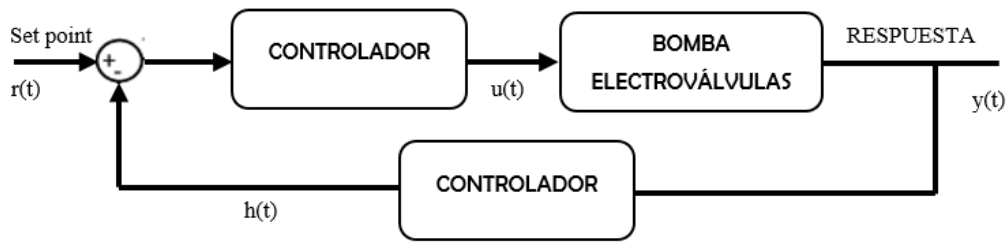
El momento en que se realizó la implementación física de nuestro sistema se determinó que nuestros actuadores reaccionarán con el sistema de control que hemos implementado en nuestro arduino al cual llegan las señales desde nuestros sensores de humedad y de presión, los cuales nos ayudaran a determinar la respuesta que debe enviar nuestro arduino a los diferentes actuadores.

Al momento que se realizó la implementación física del proyecto, se definió los componentes de nuestro sistema de control que necesitamos para poder controlar el proceso de filtrado así como el riego automático.

Para controlar los niveles de humedad se ha optado por establecer un set point, dicho valor del set point será ingresado por el operador a través de un Touch Panel marca NEXTIUM, en dicho touch panel se procedió a realizar la respectiva programación de una interfaz Hombre – Máquina (HMI). El controlador que se eligió para la implementación del proyecto es un ARDUINO modelo MEGA 2560, ya que cumple con las necesidades del sistema en cuanto a entradas y salidas que se necesitaron para poder implementar nuestro proyecto.

Los actuadores de nuestro sistema son electroválvulas las cuales van ubicadas en nuestra tubería para permitir el paso de agua para la activación del riego cuando nuestro sembrío lo requiera.

Las señales que recibe nuestro controlador es una señal analógica la que es enviada por nuestro sensor inalámbrico. La figura 20-2 la función de transferencia propuesta para el sistema.



**Figura 20-2** Sistema de control ON – OFF propuesto para la planta

**Realizado por:** FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016

La principal ventaja del sistema de control que se presenta en la figura 20-2 es la pronta reacción de las medidas obtenidas por los sensores y comparadas con nuestro valor del set point independientemente de la fuente de perturbación ya sea en la humedad o en la presión,

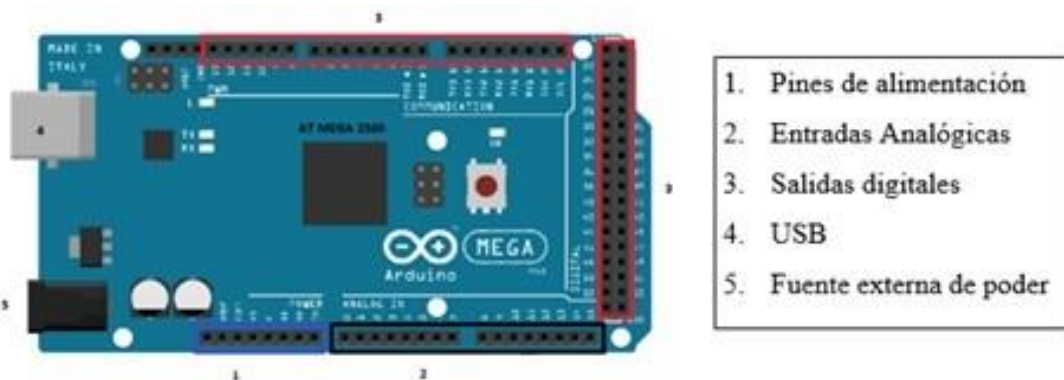
En todo sistema de control aparecen claramente diferenciados una serie de elementos característicos al mismo que es necesario clarificar.

- Variable a controlar, generalmente se la conoce como señal de salida a la cual deseamos que adquiera ciertos valores determinados. En este proyecto las señales de salida o variable a controlar son el nivel de humedad del suelo y la presión que tenemos a la entrada y salida de nuestro filtro.
- Planta, son todos los elementos que forman parte de nuestro sistema, los cuales realizan una función en específico para que tanto el sistema de filtrado como el de riego automático funcionen correctamente.
- Sensor, es elemento que permite captar el valor de la variable a controlar en determinados instantes de tiempo, se ha utilizado tres sensores de humedad de suelo los cuales envían la señal al controlador para determinar el grado de humedad así como también dos sensores de presión que me ayudan a determinar la presión a la entrada y salida del filtro y así determinamos si el filtro debe ser drenado.
- Set point, es el valor que deseamos que adquiera la señal de salida, como lo antes mencionado se ha utilizó un touch panel para ingresar dicho valor.
- Actuador, es aquel que actúa sobre el sistema modificando de esta manera la señal de salida, para esto se ha considerado una bomba de agua de 1 HP así como cinco electroválvulas de una pulgada y media.
- Controlador, es el elemento que controla al actuador en función de la señal de referencia siendo un Arduino nuestro controlador.

## 2.9 Programación del controlador ARDUINO MEGA

El controlador que se utilizó es un ARDUINO MEGA, este controlador nos ayudó a controlar nuestro sistema automatizado con una mayor flexibilidad ya que este controlador posee un microprocesador atmega, una fuente de alimentación integrada, 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador.

La figura 21-2 muestra los pines de alimentación, entradas analógicas, entradas y salidas digitales de la placa arduino.



**Figura 21-2 ARDUINO MEGA 2560**

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

La tabla 4-2 detalla las especificaciones técnicas del Arduino Mega.

**Tabla 4-2** Especificaciones técnicas ARDUINO MEGA

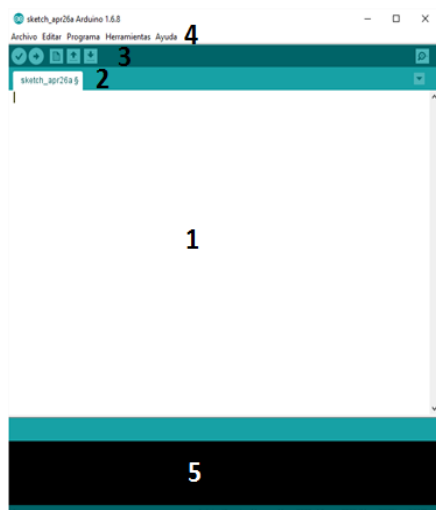
Microcontrolador	<u>Atmega2560</u>
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
E / S digitales prendedores	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	dieciséis

<b>Corriente continua para Pin I / O</b>	20 mA
<b>Corriente CC para Pin 3.3V</b>	50 mA
<b>Memoria flash</b>	256 KB, 8 KB utilizado por el gestor de arranque
<b>SRAM</b>	8 KB
<b>EEPROM</b>	4 KB
<b>Velocidad de reloj</b>	16 MHz
<b>Longitud</b>	101.52 mm
<b>Anchura</b>	53,3 mm
<b>Peso</b>	37 g

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>

### 2.9.1 Entorno de programación ARDUINO

El entorno que nos proporciona Arduino es de fácil manejo para programar nuestra placa controladora, así como la configuración de la comunicación con el HMI y también nos ayuda a tener una mejor conexión de nuestra red de sensores inalámbricos, este software nos proporciona distintas ayudas al momento de realizar nuestro proyecto. La figura 22-2 muestra la vista del entorno de programación.



- |                            |
|----------------------------|
| 1. Entorno de programación |
| 2. Pestaña de programas    |
| 3. Barra de herramientas   |
| 4. Barra de herramientas   |

**Figura 22-2** Vista del entorno de programación Arduino V 1.6.8

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristian

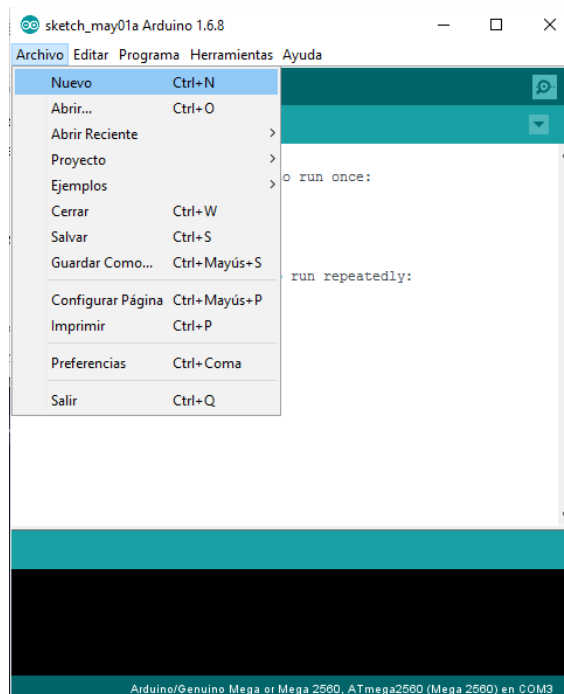
## 2.9.2 Configuración y programación de la placa programadora

Antes de llevar a cabo la programación de la placa controladora arduino es necesario saber el proceso correcto que va a utilizar nuestro sistema para proceder con la programación de cada una de las etapas ya que es de suma importancia cada detalle del proceso para que no interfiera en su correcto desempeño.

Luego de tener claro el proceso que se va a realizar, así como las variables de entrada y nuestras salidas, estas variables las ingresamos en nuestro entorno de programación, se puede utilizar cualquier estilo de programación que nos permita nuestro entorno ARDUINO.

Se ha optado por realizar la programación en forma de bloques estructurando cada uno de los procesos a ser realizados para tener una secuencia correcta de nuestro programa.

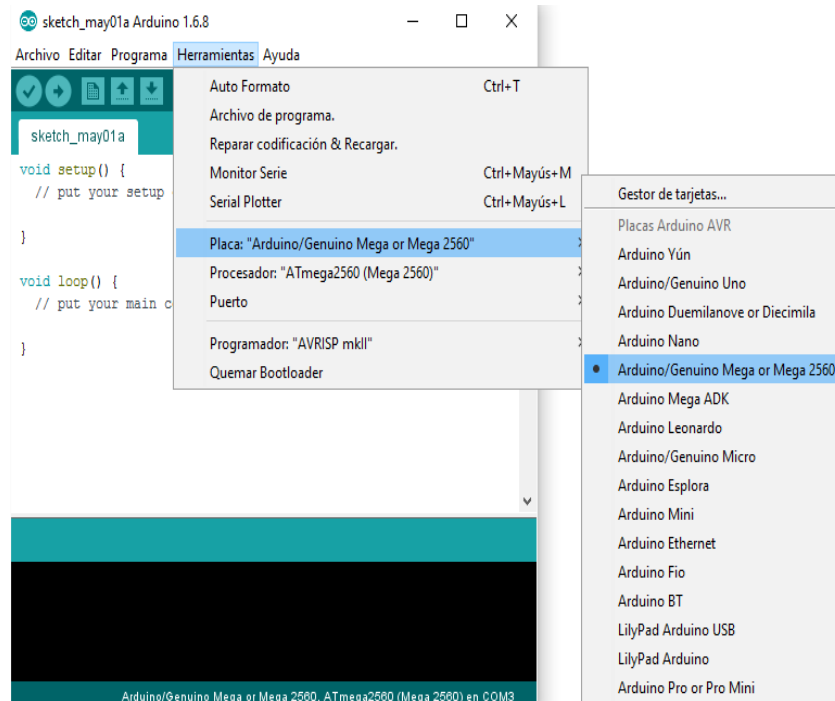
La figura 23-2 muestra el proceso que se llevó a cabo para programar nuestro ARDUINO MEGA empieza con la creación de un nuevo SKETCH el cual genera un archivo de origen necesario para la respectiva configuración y programación.



**Figura 23-2** Creación de un nuevo sketch en ARDUINO

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016

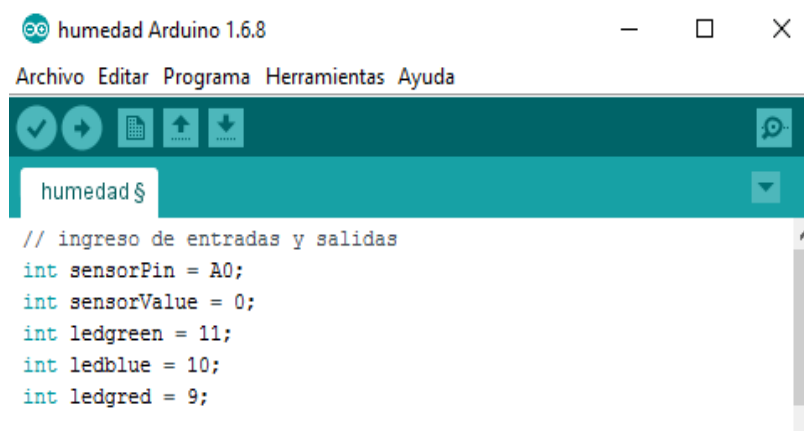
Una vez ya creado nuestro proyecto el programa nos despliega una ventana la cual es nuestro entorno de programación, en donde escogemos el tipo de tarjeta controladora que vamos a utilizar y configurar del dispositivo en nuestro caso utilizamos la placa ARDUINO MEGA, tal como se muestra en la figura 24-2.



**Figura 24-2** Selección del tipo de tarjeta a utilizar

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016

El siguiente paso luego de configurar nuestra tarjeta controladora es ingresar nuestras variables con sus respectivas direcciones, e identificando de que tipo va a ser nuestra variable a utilizar en el proceso de programación como se muestra en la figura 25-2.



**Figura 25-2** Ingreso de variables de entradas y salidas

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016

Una vez declaradas las variables que se va a utilizar en el programa, se puede proceder a realizar la programación para nuestro proceso.

El programa esta llevado al lenguaje de programación arduino siguiendo cada etapa consecutivamente, es decir empieza con los botones de nuestra HMI del tablero de control, INICIO, PARO, RESET, AUTOMÁTICO y MANUAL que cada uno cumple su respectiva función, pulsando INICIO se da inicio al bucle del programa, en el cual se realizan todas las lecturas de nuestros sensores y actuadores detectando que se encuentran en correcto funcionamiento.

En nuestro sistema hemos optado por tener un selector el cual utilizamos para escoger realizar el riego de forma automática o manual, ya que el sistema de filtrado y riego automático es utilizado para el riego de diferentes parcelas en el centro de experimental de riego.

Al nosotros seleccionar realizar el riego manual, el operario puede activar nuestra bomba de agua y dependiendo el lugar donde se va a realizar el riego se activará nuestra electroválvula, al igual que las lecturas de presión en nuestro filtro de grava que se muestra en nuestro HMI y cuando el filtro se encuentre con impurezas el operario podrá drenar cuando el crea conveniente.

En la etapa de automático nuestro sistema actuara de forma independiente, sin necesidad de la intervención del operario puesto que, nuestro sistema realizará las lecturas de humedad y si nuestro cultivo necesita ser regado, este activará nuestra bomba de forma automática al igual que nuestra electroválvula que permitirá el paso del agua a nuestro cultivo a ser regado.

De igual forma si nuestro filtro se llena de impurezas lo que es detectado por medio de la diferencia de presión medida en nuestros sensores ubicados a la entrada y salida de nuestro filtro los que determina el momento que el filtro debe ser drenado de manera automática hasta que se encuentre limpio y así podremos continuar con nuestro riego hasta alcanzar la humedad óptima medida por nuestro sensores de humedad ubicados en la plantación.

Estos datos son enviados por nuestro módulo WSN hacia nuestro tablero principal el cual determina que nuestra plantación de Mora se encuentra con la humedad necesaria y así



evitar la acumulación de humedad y presencia de enfermedades como la pudrición de las raíces de nuestras plantas.

### ***2.9.3 Código de programación Arduino***

```
    /***PROGRAMA PARA EL SISTEMA DE FILTRADO Y RIEGO
        AUTOMÁTICO***/

//DECLARACIÓN DE VARIABLES

int a;

byte b;

//string c;

char d;

int charflag=0;

int char1;

int char2;

int char3;

int val;

int val1;

int val2;

int val3;

int val4;

int val5;

int presion;
```

```

void setup() {

  Serial1.begin(9600);

  pinMode(9, OUTPUT);

  pinMode(10, OUTPUT);

  pinMode(11, OUTPUT);

  pinMode(12, OUTPUT);

  pinMode(13, OUTPUT);

  pinMode(24, OUTPUT);

  pinMode(25, OUTPUT);

  pinMode(26, OUTPUT);

  pinMode(27, OUTPUT);

  pinMode(28, OUTPUT);

}

void loop() {

  // wait for a second

  delay(200);

  if (Serial1.available()>0)

  // lecturas de presión

    val = analogRead(0)/10;

    val1 = analogRead(1)/10;

    val2 = analogRead(2)/10;

```

```
// LECTURA HUMEDAD

val3 = analogRead(3);

val4 = analogRead(4);

//promedio de humedad

val5 = ((val3 + val4)/2);

delay(100);

if(val5 >= 800) //inicio riego

{

    digitalWrite(9,HIGH);

    digitalWrite(10,HIGH);

    digitalWrite(11,HIGH);

    digitalWrite(12,LOW); // activación electrovalvula 4

    digitalWrite(13,HIGH);

    digitalWrite(24,LOW);

    digitalWrite(25,LOW);

    digitalWrite(26,LOW);

    digitalWrite(27,HIGH);

    digitalWrite(28,LOW);
```

```
if(val = val2) //activación riego moras
```

```
{
```

```
    digitalWrite(9,LOW);
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    digitalWrite(11,HIGH);
```

```
    digitalWrite(12,LOW);
```

```
    digitalWrite(13,HIGH);
```

```
    digitalWrite(24,HIGH);
```

```
    digitalWrite(25,LOW);
```

```
    digitalWrite(26,LOW);
```

```
    digitalWrite(27,HIGH);
```

```
    digitalWrite(28,LOW);
```

```
}
```

```
presion = val - val1;
```

```
//retrolavado
```

```
if(presion <= 20)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(9,HIGH);
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    digitalWrite(11,LOW);
```

```
    digitalWrite(12,HIGH);
```

```
    digitalWrite(13,LOW);

    digitalWrite(24,LOW);
    digitalWrite(25,LOW);
    digitalWrite(26,HIGH);
    digitalWrite(27,LOW);
    digitalWrite(28,HIGH);
}
}

if(val5 <= 300) //fin riego
{
    digitalWrite(9,HIGH);
    digitalWrite(10,HIGH);
    digitalWrite(11,HIGH);
    digitalWrite(12,HIGH);
    digitalWrite(13,HIGH);

    digitalWrite(24,LOW);
    digitalWrite(25,LOW);
    digitalWrite(26,LOW);
    digitalWrite(27,LOW);
    digitalWrite(28,LOW);
}
```

```
// visualización de datos

Serial1.print("z0.val=");

Serial1.print(val);

Serial1.write(0xff);

Serial1.write(0xff);

Serial1.write(0xff);

Serial1.print("z1.val=");

Serial1.print(val1);

Serial1.write(0xff);

Serial1.write(0xff);

Serial1.write(0xff);

Serial1.print("z2.val=");

Serial1.print(val2);

Serial1.write(0xff);

Serial1.write(0xff);

Serial1.write(0xff);

Serial1.write("t0.txt=");

Serial1.write(0x22);

Serial1.print(val5);

Serial1.write(0x22);

Serial1.write(0xff);

Serial1.write(0xff);
```

```

Serial1.write(0xff);

{

if (charflag)

{

char2=Serial1.read(); //lee el puerto serial y almacena el dato en char2

if (char2==2)

{

char3=Serial1.read();

Serial1.println(char3);

if (char3==2)

{

digitalWrite(9,LOW);

digitalWrite(24,HIGH);

}

if (char3==3)

{

digitalWrite(9,HIGH);

digitalWrite(24,LOW);

}

if (char3==4){

digitalWrite(10,LOW);

```

```
    digitalWrite(25,HIGH);  
  
}  
  
if (char3==5)  
{  
  
    digitalWrite(10,HIGH);  
  
    digitalWrite(25,LOW);  
  
}
```

```
if (char3==6)  
{  
  
    digitalWrite(11,LOW);  
  
    digitalWrite(26,HIGH);  
  
}
```

```
if (char3==7)  
{  
  
    digitalWrite(11,HIGH);  
  
    digitalWrite(26,LOW);  
  
}
```

```
if (char3==8)  
{
```



```
    digitalWrite(12,LOW);  
  
    digitalWrite(27,HIGH);  
  
}  
  
if (char3==9)  
{  
  
    digitalWrite(12,HIGH);  
  
    digitalWrite(27,LOW);  
  
}  
  
  
  
if (char3==10)  
{  
  
    digitalWrite(13,LOW);  
  
    digitalWrite(28,HIGH);  
  
}  
  
if (char3==11)  
{  
  
    digitalWrite(13,HIGH);  
  
    digitalWrite(28,LOW);  
  
}  
  
  
  
}  
  
charflag=0;  
  
}
```

```

else

{

char1=Serial1.read();

//Serial.println(char1);

if(char1==0x65) charflag=1;

}

}

}

```

## **2.10 Análisis del entorno agrícola**

La zona en donde se instalaran los sensores de humedad junto con los módulos Xbee para la red inalámbrica que activaran el proceso automático de riego, se encuentra ubicada en la facultad de recursos naturales de las ESPOCH, el área de cultivo que se cubrirá es de  $400m^2$ , está dedicada al cultivo agrario de plantas de mora, al ser una zona pequeña y despejada de cualquier tipo de edificación no existe algún tipo de pérdidas en la transmisión. En la zona se colocaran dos módulos cada uno con un sensor de humedad.

## **2.11 Selección de elementos del sistema automático**

La automatización de un proceso se la realiza integrando diferentes sistemas y subsistemas como pueden ser: sistemas eléctricos, hidráulicos, electrónicos, neumáticos, electromecánicos etc., los cuales nos ayudan a facilitar las diferentes operaciones a ser realizadas y así permitir cumplir nuestro proceso de forma correcta optimizando recursos y reduciendo la intervención humana en dichas operaciones.

A continuación se detallará cada uno de los sistemas que conforman nuestro proceso para realizar el sistema de purificación y filtrado de agua en el centro experimental de riego en la Facultad De Recursos Naturales de la ESPOCH, identificando cada uno de los

elementos utilizados, mostrando sus principales características técnicas e identificando su selección para su implementación en el proceso automático.

### ***2.11.1 Red WSN (Wireless Sensor Network)***

La zona en donde se instalarán los sensores de humedad junto con los módulos Xbee para la red inalámbrica, se encuentra ubicada en la facultad de recursos naturales de las ESPOCH, el área de cultivo que se cubrirá es de  $400m^2$ , está dedicada al cultivo agrario de plantas de mora, en el área se colocaran dos nodos o motas sensoriales con una distancia de 5 metros de separación entre si y con una distancia de 50 metros de separación entre el nodo central y los nodos sensoriales. Al ser una zona pequeña y despejada de cualquier tipo de edificación y al no cubrir distancias extensas no existe algún tipo de pérdidas en la transmisión.

#### ***2.11.1.1 Fuente de Energía***

Dado que los sensores no incrementan significativamente el consumo de nuestra red no serán tomados en cuenta para el cálculo del consumo eléctrico de la misma. Para establecer la forma y la fuente de energía de la red es necesario saber cuánto tiempo vamos a necesitar que nuestros módulos Xbee estén activos al momento de tomar las lecturas de los sensores.

En el caso del nodo coordinador y el arduino siempre van a necesitar estar activos por lo que la alimentación para ambos será por medio del Power Jack del arduino que soporta de 9 a 12 V en corriente continua.

Cada módulo Xbee tiene un consumo individual de aproximadamente 80 mA activos, para lo cual utilizaremos su pin de 5V para alimentarlo, por lo que su consumo durante el tiempo de actividad es de  $0.08 \times 5 \text{ V} = 0.4 \text{ Watt}$ .

Para mejorar la eficiencia energética de nuestros dispositivos es necesario tomar mediciones cada cierto tiempo en este caso se realizaran mediciones cada 10 minutos,

quiere decir que si la lectura del sensor nos toma 10ms la circuitería solo estará activa durante 1 segundo, tomando en cuenta el tiempo de encendido del boot-up, por lo que la media de consumo es de  $1s/600 s \times 0.4 W = 0.666 mW$ .

El regulador que usaremos para cada módulo XBee se alimenta de 5V pero nos entrega los 3.3 V necesarios para su activación, aunque la potencia necesaria para activar de nuevo la placa hará que un 85% sea eficiente, lo que hace que el consumo del módulo XBee sea realmente de  $0.666/0.85 = 0.783$

Al usar baterías AA para la alimentación tenemos 2.5 Watt/hora por cada batería, hemos decidido usar 4 baterías alcalinas teniendo un 10 Wh. Para el cálculo de duración de las baterías usaremos las variables ya calculadas anteriormente:

$$\frac{10.000 \frac{mW}{h}}{0.783 mW} = 12.771,3921 h \quad EC.9$$

Aproximadamente 16 meses de vida para las baterías.

#### *2.11.1.2 Diseño de la Red WSN*

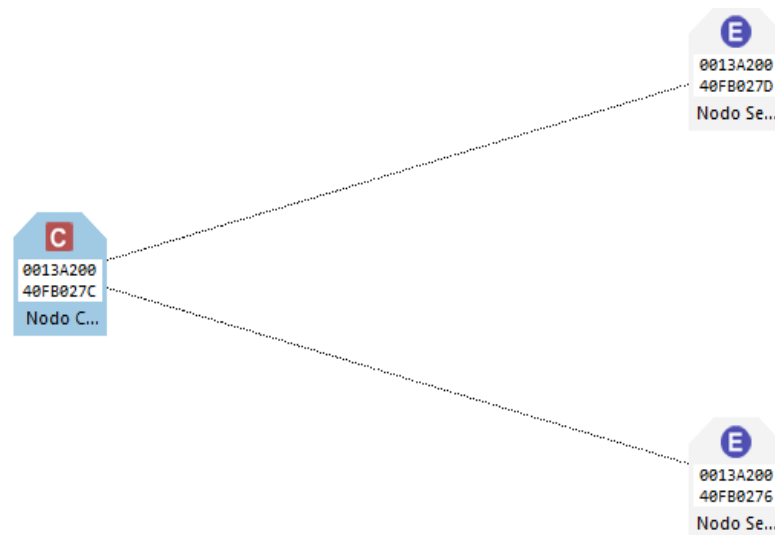
El diseño de la red consta de dos sensores de humedad HL-69, tres módulos XBee dos de ellos servirán como nodos finales y el restante como nodo coordinador lo que hace un total de 5 dispositivos dentro de la red.

Los nodos finales constaran cada uno con un sensor de humedad los que son indispensables para la medición de la humedad presente en el suelo y de manera inmediata mandar esta información al nodo coordinador y que el controlador pueda tomar acciones al respecto.

#### *2.11.1.3 Topología de Red*

La topología que se eligió para el sistema es una topología en estrella, esta nos permite tener un punto central o Host, el mismo que se comunica con los nodos finales. Esta topología es muy utilizada para este tipo de aplicaciones por su eficiencia y simpleza. El

punto central o Host es el que lleva el mayor trabajo ya que recibe la información de los nodos finales y la procesa junto con el controlador, también tiene la ventaja de que si un nodo final falla, el sistema sigue funcionando normalmente con el resto de nodos finales. La figura 26-2 muestra la configuración tipo estrella, con dos nodos finales y un nodo coordinador.



**Figura 26-2** Topología Estrella Software X-CTU

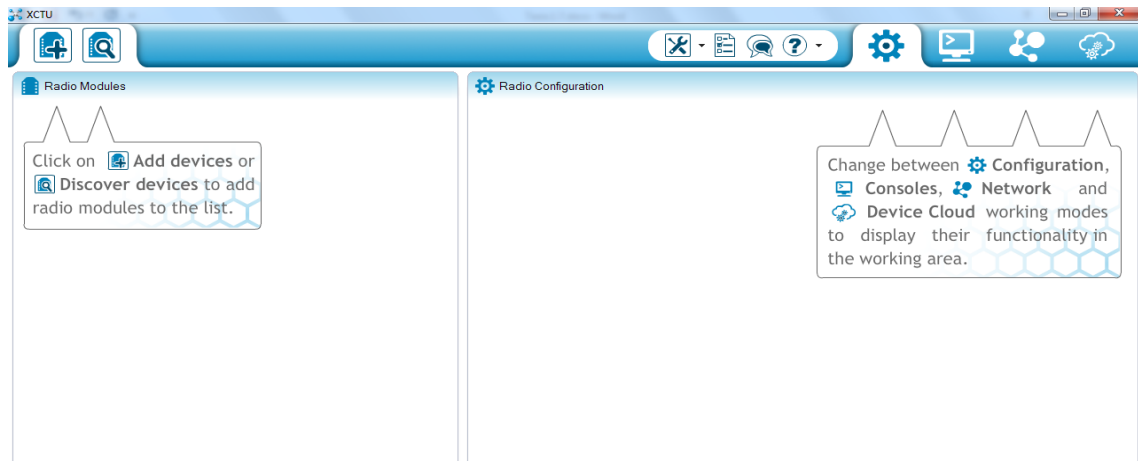
Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

#### 2.11.1.4 Configuración de los dispositivos Xbee

Para la configuración de los dispositivos Xbee se necesita tener en claro la topología a usarse, en este caso se utilizara una topología en estrella lo que quiere decir que tendremos que configurar dos dispositivos finales y un dispositivo como coordinador.

La configuración de los dispositivos Xbee se la puede realizar de diferentes maneras, la que se utilizó para este proyecto es el uso del software X-CTU de DIGI ELECTRONICS específicamente la versión v6.0.1, aunque existen versiones anteriores que son completamente funcionales, esta nueva versión nos permite tener algunas otras opciones de configuración y visualización de la conexión entre los XBee, como una consola donde se verifica el envío de tramas en tiempo real entre los dispositivos conectados a la red y una consola de trabajo de la red donde se visualiza en modo grafico como está dispuesta de la red, como se aprecia en la figura 27-2.

Este software nos proporciona una interfaz muy intuitiva y de fácil programación, siempre y cuando se tengan claros los conceptos y parámetros para el funcionamiento adecuado de los Xbee.



**Figura 27-2** Entorno de programación de Software X-CTU

**Realizado por:** FREIRE, Lino; OÑA, Crishtian

Para empezar con la programación de los dispositivos se necesita contar con un Xbee Explorer o un Shield de arduino, estas placas programadoras nos permiten el reconocimiento de los dispositivos Xbee mediante los puertos COM de nuestra computadora, en este caso para nuestro proyecto estamos utilizando un Xbee Explorer de la marca “Sparkfun electronics” como el de la figura 28-2.

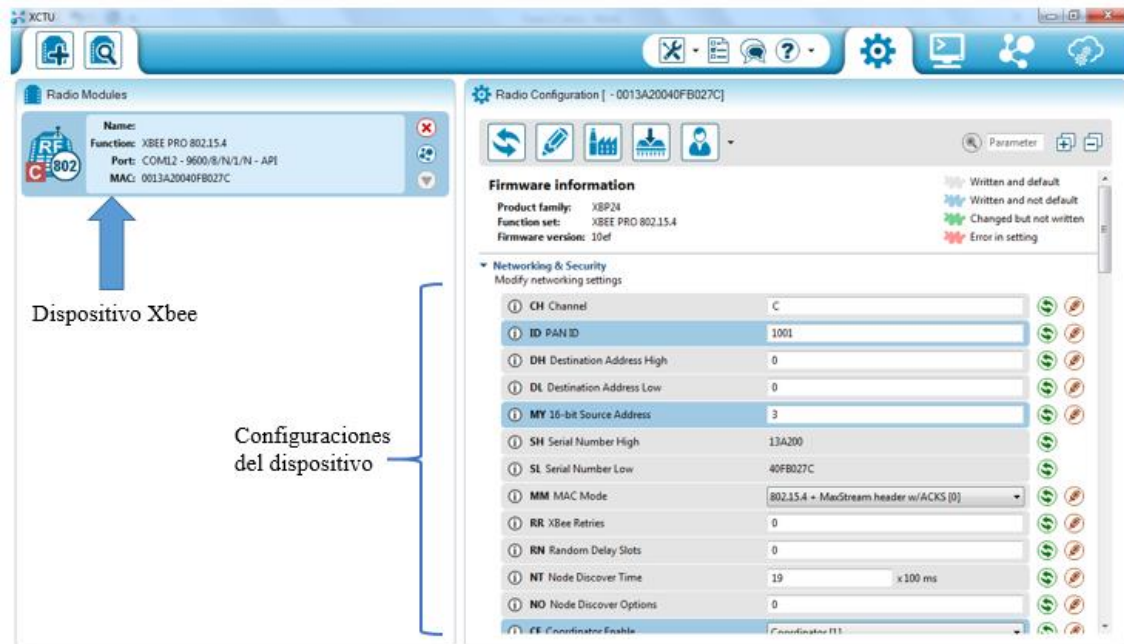


**Figura 28-2** Xbee Explorer (placa programadora)

**Realizado por:** FREIRE, Lino; OÑA, Crishtian

Una vez que se ha conectado el Xbee a la placa programadora se procede a la verificación del puerto y se configuran los parámetros con los cuales se buscara el dispositivo Xbee entre estos parámetros esta: velocidad de transmisión, paridad, tamaño de los datos, entre otras.

Cuando ya se haya configurado estos parámetros se procede a la búsqueda y se cargan las configuraciones con las que se encuentre el Xbee. La figura 29-2 muestra la lectura del dispositivo y los parámetros del mismo.



**Figura 29-2** Lectura y parámetros de configuración del Xbee

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

### 2.11.1.5 Configuración nodo Coordinador

La configuración del nodo coordinador es bastante simple, en éste se establecen parámetros de conexión con los dispositivos finales y una salida tipo PWM para la adquisición de datos mediante el controlador arduino. La tabla 5-2 detalla las configuraciones del nodo coordinador.

**Tabla 5-2** Configuración nodo Coordinador

NODO COORDINADOR		
Función	Comando	Parámetro
Channel	ATCH	C
PAN ID	ATID	1001
MY Address	ATMY	3

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016

### 2.11.1.6 Configuración nodo-sensor

Los dispositivos finales tienen una configuración muy similar entre sí, en estos dos dispositivos se habilitarán las entradas del convertidor analógico/digital propias del Xbee, para la conexión de los sensores de humedad, también tendrán otras configuraciones respecto a tiempos de transmisión y tiempos en el que el dispositivo se mantendrá dormido.

Las tablas 6-2 y 7-2 detallan las configuraciones para los nodos sensor 1 y sensor 2 respectivamente.

**Tabla 6-2** Configuración nodo Sensor 1

NODO SENSOR 1		
Función	Comando	Parámetro
Channel	ATCH	C
PAN ID	ATID	1001
Destination address high	ATDH	13A200
Destination address low	ATDL	40FB027C
MY ADDRESS	ATMY	1
Sample Rate	ATIR	14 (20ms, 14 hex)
Cordinador Enable	ATCE	0 (End device)
Sleep Mode	ATSM	4 (Cyclic Sleep Remote)
Time before Sleep	ATST	A8C0(43200seg=12horas)
Cyclic Sleep Period	ATSP	BB8 (30 seg)

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016

**Tabla 7-2** Configuración nodo Sensor 2

NODO SENSOR 2		
Función	Comando	Parámetro
Channel	ATCH	C
PAN ID	ATID	1001
Destination address high	ATDH	13A200
Destination address low	ATDL	40FB027C
MY ADDRESS	ATMY	2



Sample Rate	ATIR	14 (20ms, 14 hex)
Cordinador Enable	ATCE	0 (End device)
Sleep Mode	ATSM	4 (Cyclic Sleep Remote)
Time before Sleep	ATST	A8C0(43200seg=12horas)
Cyclic Sleep Period	ATSP	BB8 (30 seg)

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian, 2016

## 2.12 HMI (Interfaz Humano Maquina)

La HMI es una de las partes fundamentales del sistema de filtrado y riego, en ella podemos elegir de un menú que tipo de filtrado requerimos: un filtrado automático en el que nos permite monitorear las presiones del sistema, la presión de salida hacia el riego y el porcentaje de humedad en el que se encuentre la plantación y un filtrado manual en el que podemos activar la electroválvula que desee de acuerdo a la actividad a realizar. La figura 30-2 muestra el menú de selección de tipo de riego presente en la HMI.



**Figura 30-2** Menú del HMI

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

### 2.12.1 HMI riego Automático

La parte automática de la HMI, sirve específicamente para el monitoreo de los sensores presentes en el sistema tal como muestra la figura 31-2, en este parte se visualizara la presión existente en todo el sistema por medio de manómetros analógicos, los cuales nos proporcionan información sobre la presión de entrada al filtro de graba, la presión de salida del filtro del graba, cabe recordar que estas presiones juntas tienen un papel importante, ya que nos indicaran el momento en el que el filtro se encuentre con impurezas y sea necesaria su limpieza.

También nos indicara la presión de salida del sistema es decir la presión con la que se realiza el riego. En la pantalla además se mostrara el porcentaje de humedad del suelo.



**Figura 31-2** Pantalla de riego automático

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Crithian

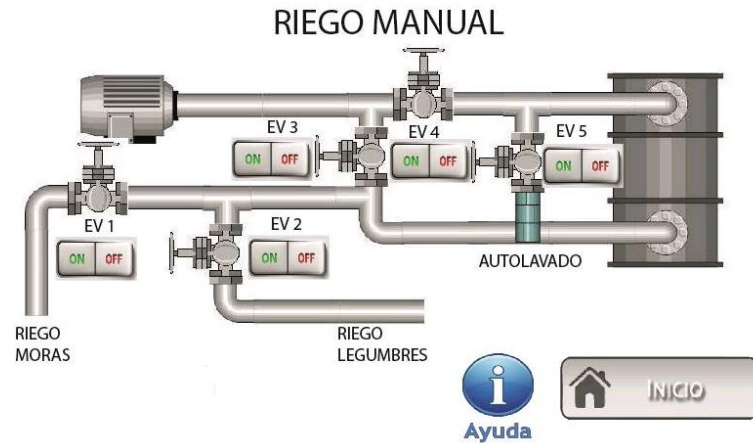
### 2.12.2 HMI riego Manual

La HMI cuenta con un riego manual en esta pantalla se visualizan las electroválvulas y como están dispuestas en el sistema real, se puede accionar cada una de ellas de acuerdo a la actividad que se desea realizar. Recordemos que el sistema puede cumplir con varios propósitos:

- Riego sembrío de moras

- Riego sembrío de legumbres
- Lavado del filtro

La figura 32-2 muestra la pantalla de riego manual presente en la HMI.



**Figura 32-2** Pantalla de riego manual

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

La parte manual cuenta también con un menú de ayuda en el cual se detalla la función de cada una de las electroválvulas y cuál de ellas activar según la actividad deseada. La figura 33-2 muestra el menú de ayuda.



**Figura 33-2** Menú de ayuda riego manual

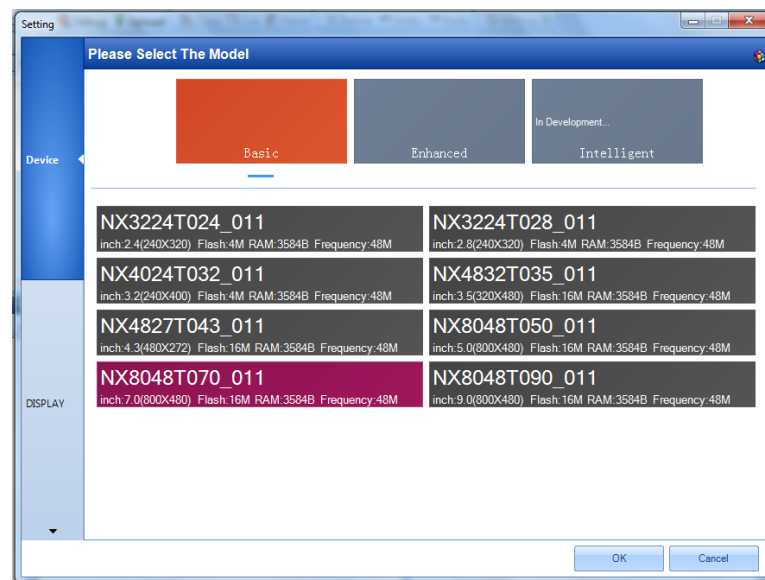
Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

### 2.12.3 Configuración HMI

La configuración de la pantalla HMI NEXTION NX8048T070\_011 se realiza mediante el software libre “Nextion Editor” v0.35, en él se realiza toda la parte visual de la pantalla es decir aquí se diseñan los menús, se agregan toolbox como: botones, cuadros de texto, figuras, barras, punteros, entre otros.

Como primera configuración tenemos el seleccionamiento del modelo de HMI en el cual se detalla el tamaño de la pantalla y la calidad de imagen, en este caso estamos utilizando una pantalla de 7 pulgadas con una calidad de imagen de 800x480 pixeles.

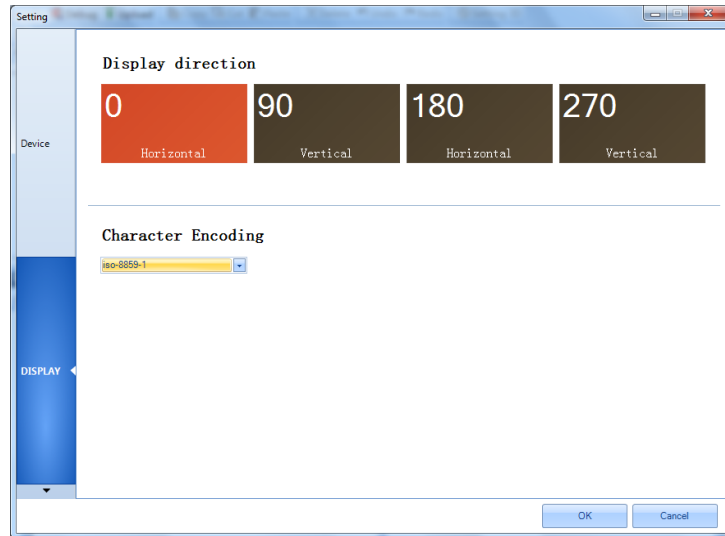
La figura 34-2 muestra el menú de selección del tipo de pantalla HMI.



**Figura 34-2** Selección HMI en Nextion Editor v0.35

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

Subsiguientemente tenemos que seleccionar la orientación del display pudiendo elegir entre cuatro opciones: Horizontal a 0 grados, Vertical a 90 grados, Horizontal a 180 grados y Vertical a 270 grados, como se muestra en la figura 35-2. Para nuestra HMI seleccionamos Horizontal a 0 grados que es la que recomienda el fabricante para este tipo de pantalla por su tamaño y la calidad de las imágenes a usarse en la interfaz.

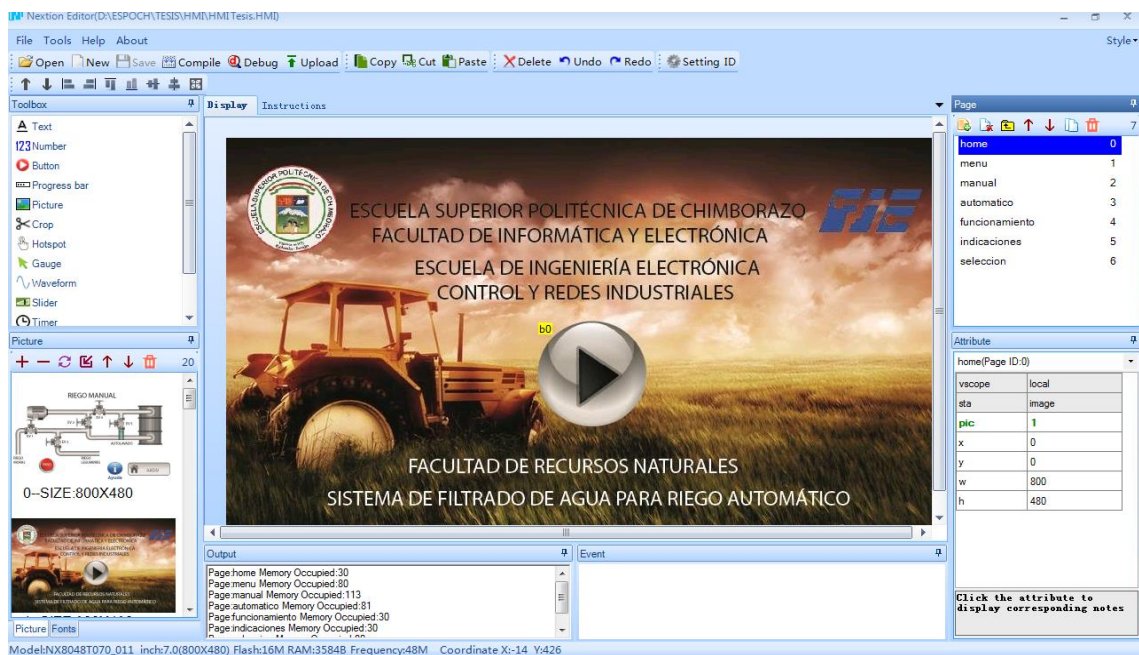


**Figura 35-2** Selección de orientación HMI en Nextion Editor v0.35

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Crishtian

### 2.12.4 Programación del HMI

Una vez configurada la pantalla se procede a su programación, en este caso Nextion Editor nos proporciona una interfaz muy intuitiva y con varios complementos fáciles de usar y de configurar. La figura 36-2 muestra el entorno de programación.



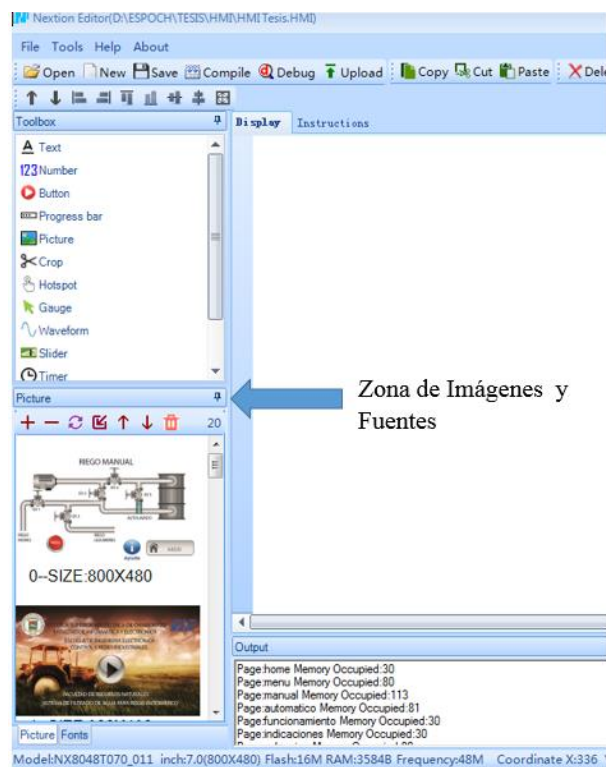
**Figura 36-2** Entorno de programación HMI en Nextion Editor v0.35

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Crishtian

Para empezar con la programación de la HMI necesitaremos las imágenes que se vayan a colocar en los menús, es importante que estas imágenes tengan una buena calidad y sean del tamaño de la pantalla es decir de 800x480 pixeles, al ser de otra forma las imágenes no se verán completan en la misma o se verán distorsionadas.

Cuando ya se tenga recopiladas las imágenes se necesita subirlas al software para que este las convierta en un formato específico para que se pueda trabajar con ellas. Otro elemento necesario antes de programar la HMI es la creación de fuentes de texto es decir los tipos de letra que utilizaremos.

Para esto el programa nos proporciona una lista de diferentes fuentes en la que solo es necesario escoger la que se desee, darle un nombre y agregarla al programa. La figura 37-2 muestra la zona en donde tenemos que agregar las imágenes y las fuentes que utilizaremos.



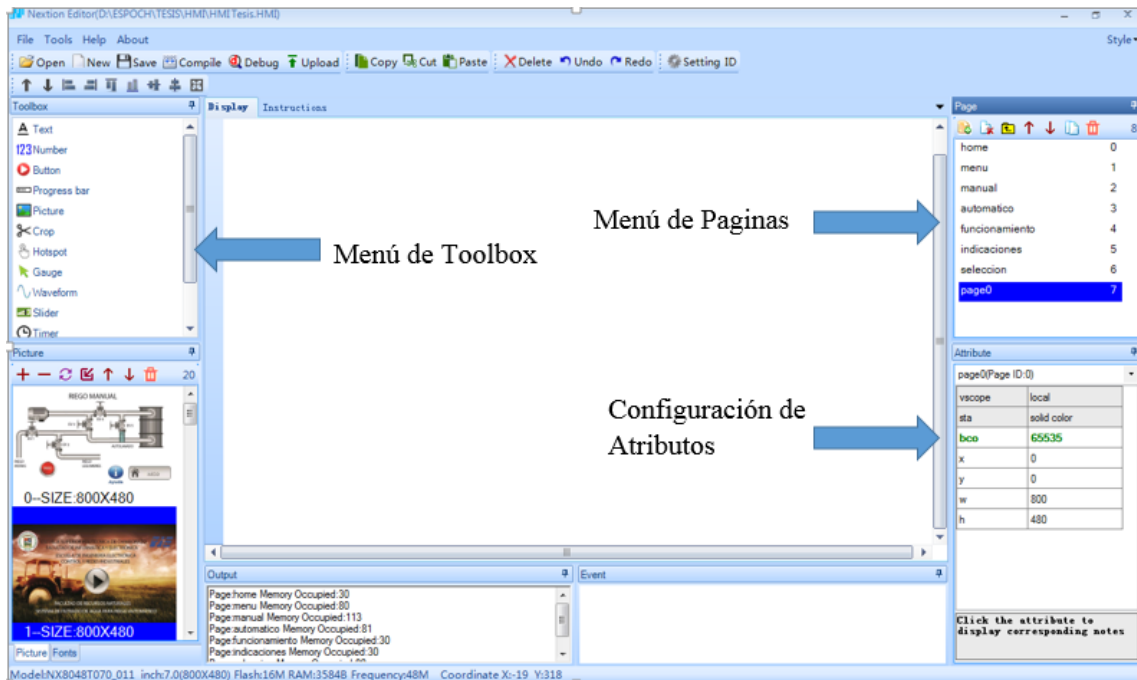
**Figura 37-2** Zona de imágenes y fuentes en Nextion Editor v0.35

**Realizado por:** FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

Cuando ya se hayan agregado las imágenes y las fuentes a usarse, ya se puede comenzar con la programación de la HMI, que consiste en crear las páginas que llevaran los menús de interacción de acuerdo a lo que se necesite.

Cada página tiene su configuración y en ella se puede agregar los diferentes toolbox que nos proporciona el software. De igual manera cada toolbox cuenta con sus configuraciones, pero también se los puede asociar con alguna acción específica, como volver a una página determinada, o que este toolbox esté presente en todas las páginas, entre otros.

La figura 38-2 detalla los diferentes toolbox de configuración presentes en el programa.



**Figura 38-2** Menú de páginas y toolbox en Nextion Editor v0.35

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

### 2.12.5 Comunicación HMI Nextion y Arduino Mega 2560

La comunicación entre la HMI y el Arduino se realiza mediante los puertos Rx y Tx del arduino por medio de estos el recibe y transmite instrucciones hacia la HMI, los elementos del HMI como botones, cuadros de texto, barras progresivas, punteros, calibradores, entre otros envían su información ID al arduino cada vez que son accionados o cada vez que son modificados, el arduino recibe esta información y se encarga de procesar los datos y realizar la acción correspondiente.

## CAPITULO III

### 3 IMPLEMENTACIÓN, MARCO DE RESULTADOS Y ANÁLISIS.

#### 3.1 Implementación de los módulos nodo-sensor

Los módulos nodos-sensor serán los encargados de la toma de datos de humedad y del envío hacia el nodo coordinador. Estos módulos al encontrarse a la intemperie necesitan estar protegidos contra factores como el polvo y el agua.

##### 3.1.1 Conformación física del nodo-sensor

Los módulos nodo-sensor consisten en la integración varios dispositivos almacenados en un case de plástico de medias 14,5cm de largo, 8cm de ancho y 4,5cm de altura, dentro de este se encuentran instalados los diferentes dispositivos que conforman el módulo. La figura 1-3 muestra el case contenedor de los dispositivos.



**Figura 1-3** Case contenedor módulo nodo-sensor

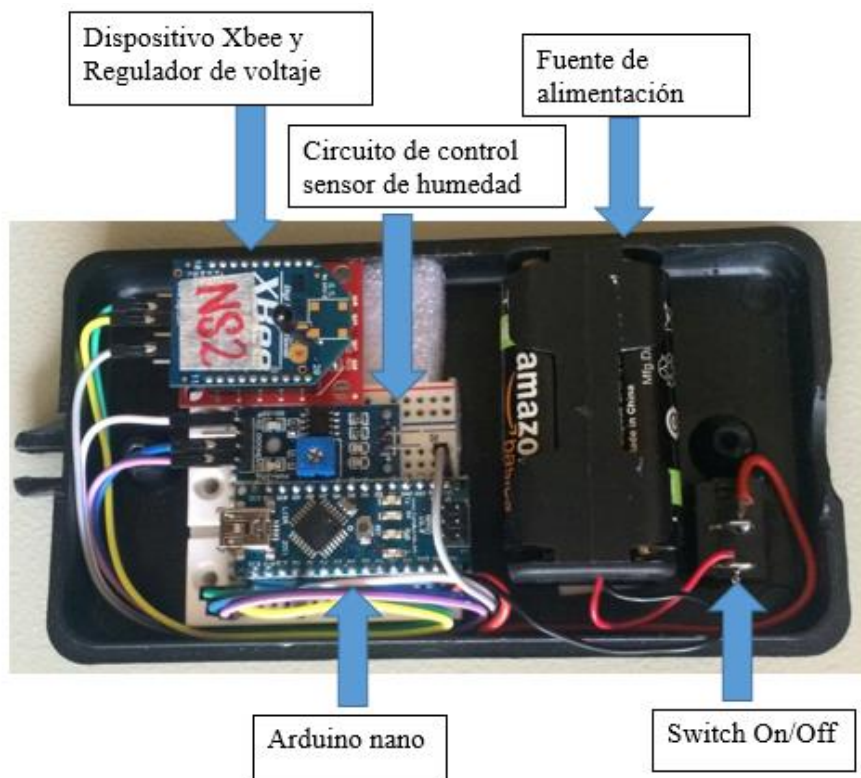
Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian



### 3.1.2 Conformación electrónica del nodo-sensor

El módulo nodo-sensor está conformado por un arduino nano que es el encargado del procesamiento de datos del sensor, un dispositivo Xbee con su respectiva placa reguladora, la que se alimenta con 5V DC y lo regula a 3.3V DC que es el voltaje de polarización del dispositivo Xbee. Dentro del módulo se encuentra la fuente de alimentación se la realiza mediante cuatro pilas AA de níquel-metal hidruro, las mismas que son recargables y tendrán una duración aproximada de 16 meses.

Los sensores de humedad también forman parte de los módulos con su circuito de control. La figura 2-3 detalla los componentes del módulo nodo-sensor.

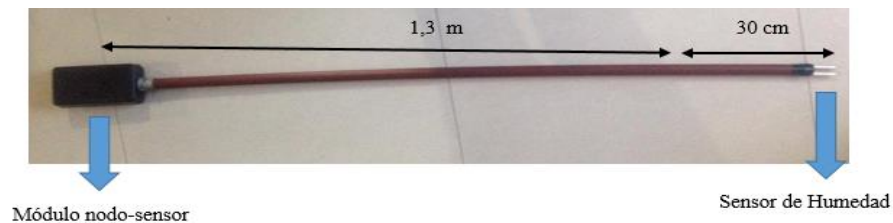


**Figura 2-3** Modulo Nodo-Sensor

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

Debido a las características de la planta de mora, las raíces de la misma se encuentran a una profundidad de 30cm, por lo que es necesario que el sensor se encuentre a esa misma profundidad, para que las lecturas sean las más adecuadas y reflejen las condiciones de humedad del suelo para que el riego sea en el momento indicado.

Para que la línea de vista entre los nodos finales y el nodo coordinador sea directa, decidimos colocar los módulos nodo-sensor a una altura de 1,30m, con esto aseguramos que no se pierda la conexión entre los dispositivos Xbee y así como también los datos. La figura 3-3 muestra el módulo nodo-sensor.



**Figura 3-3** Modulo Nodo-Sensor

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

### 3.2 Implementación del sistema hidráulico

Para la implementación del sistema hidráulico se tuvieron que hacer modificaciones al sistema anterior, ya que el sistema no contaba con una bomba hidráulica en buen estado y que cumpla con las necesidades de presión que exigía el sistema en su totalidad, así como también se cambió las tuberías ya que algunas presentaban fugas por las cuales se registró pérdidas de presión para el sistema. En el capítulo 2.4 y 2.5 se detallan el diseño y los componentes del sistema hidráulico.

- El sistema instalado cumple con tres funciones específicas: riego manual, riego automático y auto lavado del filtro. El sistema manual cubre el riego de la mayoría de parcelas del centro experimental de riego de la facultad de recursos naturales, dotando de agua a 12 parcelas con diferentes tipos de sembríos, cada parcela cuenta con su propio sistema de riego por goteo.
- El sistema automático de riego funciona únicamente para un solo sembrío, específicamente una plantación de moras, debido que es ahí donde se colocaran los dispositivos nodo-sensor que serán los que nos proporcionen la información y estado del suelo para su riego. Cabe recalcar que también se puede realizar el riego en esta zona con el sistema manual.

- El auto lavado del filtro también se realiza de forma automática cuando los sensores de presión instalados en el sistema muestren una diferencia de presión entre la entrada y salida del filtro.

La figura 4-3 muestra el sistema de filtrado en su totalidad.



**Figura 4-3** Sistema de filtrado

**Realizado por:** FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

### **3.3 Implementación del control electrónico en el tablero de control**

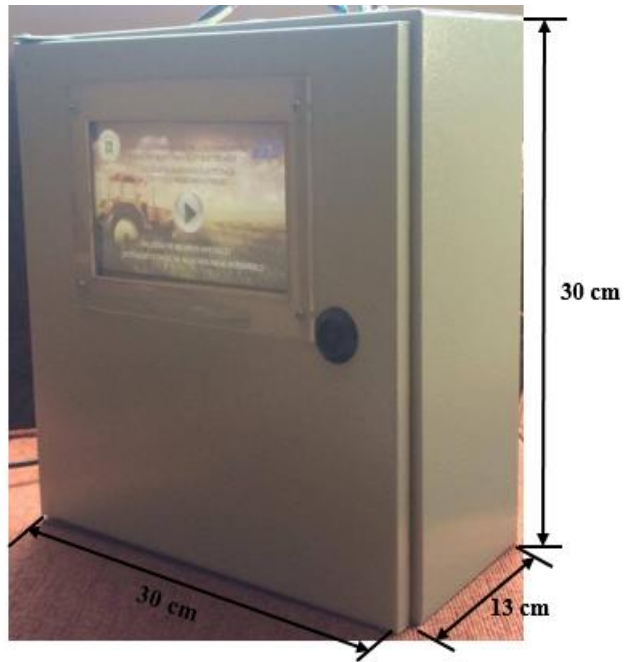
El tablero de control es una de las partes más importantes del sistema, en él se alojan todos los elementos electrónicos que realizan el control del mismo, además de brindar protección para los mismos. El tablero de control se colocara en la zona de filtrado de modo que los operarios tengan un fácil acceso. La figura 5-3 muestra la colocación del tablero en la zona de filtrado.



**Figura 5-3** Modul Nodo-Sensor  
Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

### ***3.3.1 Dimensiones del tablero de control***

El gabinete tiene unas dimensiones de 30 cm X 30 cm X 20 cm como se muestra en la figura 6-3, en el cual se montó la parte de control tanto la parte eléctrica como la parte de comunicación de la red inalámbrica.



**Figura 6-3** Dimensiones Gabinete de Control

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

### 3.3.2 *Distribución interna y externa del tablero de control*

Dentro del gabinete de control encontramos los diferentes elementos utilizados para la automatización del sistema de filtrado y purificación como se muestra en la figura 7-3



**Figura 7-3** Gabinete de Control Parte Interna

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

En la figura 7-3 podemos observar los siguientes elementos:

- Arduino Mega 2560
- Xbee Shield
- Xbee coordinador
- Módulo accionador
- Borneras para la conexión de las electroválvulas
- Fuente de alimentación
- Transformador de 110 Vca a 24 Vca
- Cables de conexión

En la parte exterior del gabinete se encuentra colocada el HMI como se muestra en la figura 8-3, para que el operario pueda realizar el accionamiento del sistema de forma automática en el cual se realizará el monitoreo de las presiones en nuestro sistema así se visualizará la humedad en el suelo, mientras que en la forma manual se activarán las diferentes electroválvulas para realizar el riego o el retro lavado del filtro.

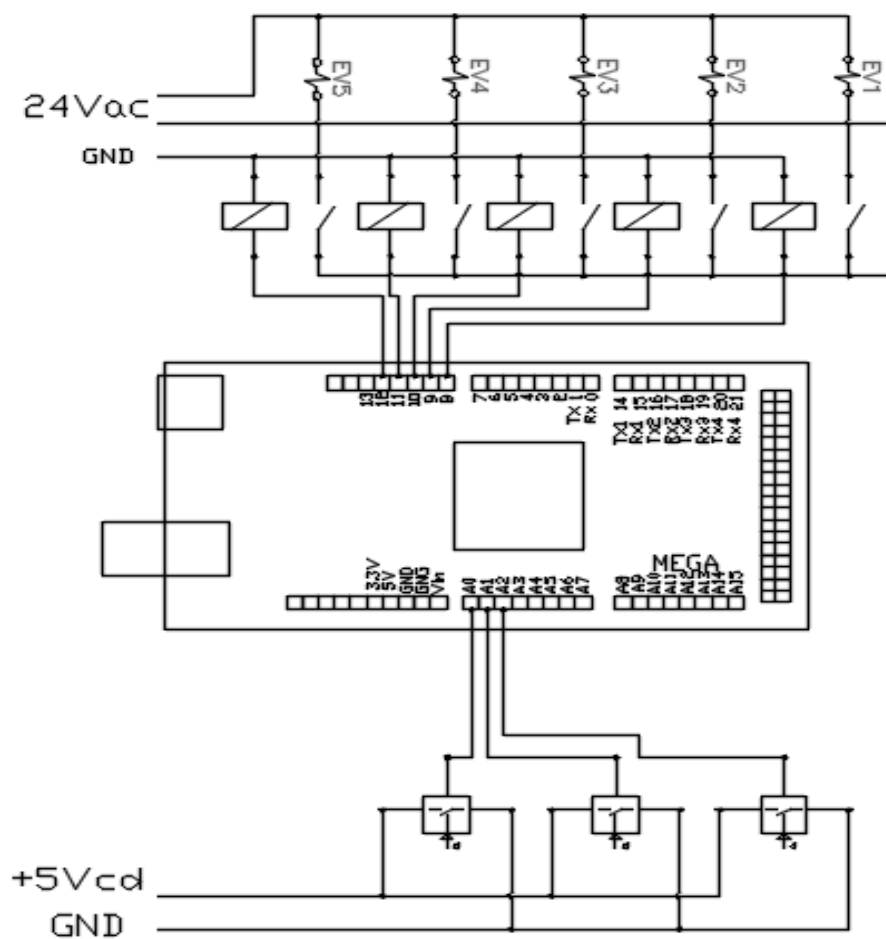


**Figura 8-3** Gabinete de Control Parte Externa

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Crishian

### 3.3.3 Diagrama eléctrico del tablero de control

Dentro del gabinete de control se encuentra montado el sistema eléctrico y electrónico, el cual está conformado por el ARDUINO MEGA, la fuente de alimentación que proporcionará los diferentes voltajes necesarios como: 5 Vcd el cual nos ayudará a alimentar los sensores de presión, 12 Vcd para la alimentación del ARDUINO, un transformador que nos proporcionará el 24 Vca para la activación de las electroválvulas, una placa de accionamiento de electroválvulas. La figura 9-3 muestra el diagrama eléctrico presente en el tablero.



**Figura 9-3** Diagrama Electrónico

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

### 3.4 CALIBRACIÓN DE SENSORES

#### 3.4.1 Calibración sensor de humedad HL-69

Para la calibración de los sensores de humedad se procedió a realizar lecturas de los valores de humedad en la plantación de mora y así obtener los valores de resistencia y los niveles de voltaje que nos proporciona el circuito de control del sensor de humedad hl – 69 correspondiente a los diferentes porcentajes de humedad.

Mediante diferentes pruebas que se realizaron con varios porcentajes de humedad se obtuvieron los siguientes valores como se muestra a continuación en la tabla 1-3.

**Tabla 1-3** Calibración De Los Sensores De Humedad

% HUMEDAD	ÁREA DE PRUEBA (m <sup>2</sup> )	VALOR DE RESISTENCIA OBTENIDA (Ω)	VOLTAJE (V)
1 – 9	1	96000 a 62000	4.20 a 3.9
10 – 19	1	60000 a 30000	3.7 a 3
20 – 29	1	25000 a 10000	2.9 a 2.5
30 – 39	1	5000 a 1000	2.35 a 1.9
40 – 49	1	850 a 720	1.85 a 1.57
50 – 59	1	680 a 510	1.53 a 1.34
60 – 69	1	470 a 320	1.3 a 1.22
70 – 79	1	340 a 175	1.18 a 0.9
80 – 89	1	190 a 26	0.99 a 0.98
90 – 100	1	30 a 1	0.97 a 0.95

Fuente: OÑA Crsthian, FREIRE Lino



### 3.4.2 Calibración sensor de presión

Para la calibración de los sensores de presión se procedió a realizar lecturas de los valores de presión en el sistema de filtración del Centro Experimental de Riego y así obtener los valores de resistencia y los niveles de voltaje que nos proporciona el sensor correspondiente a los diferentes porcentajes de presión.

Mediante diferentes pruebas que se realizaron con varias presiones se obtuvieron los siguientes valores como se muestra a continuación en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3** Calibración De Los Sensores De Humedad

PRESIÓN	VALOR DE RESISTENCIA OBTENIDA ( $\Omega$ )	VOLTAJE (V)
0 – 9	9000 a 6100	0.50 a 0.8
10 – 19	6000 a 3000	0.87 a 1
20 – 29	2000 a 1000	1.2 a 1.96
30 –40	500 a 100	2 a 2.4

Fuente: OÑA Crithian, FREIRE Lino

## 3.5 Adquisición de datos analógicos en Arduino

### 3.5.1 Sensor de humedad

Los acondicionadores de señal tienen como objetivo amplificar las señales tomadas por los sensores de humedad en intervalos de voltajes de 0 a 5 voltios, estos niveles de voltaje ingresarán a nuestro arduino el cual interpretará dichos valores en rangos enteros de 0 a 1023, lo que significa que cada unidad equivaldrá a 4,9 mV.

Las pruebas se realizaron tomando diferentes valores de humedad para tener una mejor resolución de los datos de la humedad proporcionados en nuestro sensor como se muestra en la tabla 3-3.

**Tabla 3-3** Valores Analógicos de Humedad

<b>% HUMEDAD</b>	<b>ÁREA DE PRUEBA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>LECTURA ANALÓGICO NODO 1</b>	<b>LECTURA ANALÓGICA NODO 2</b>
<b>1 – 9</b>	1	1023 a 960	1023 a 963
<b>10 – 19</b>	1	955 a 900	960 a 898
<b>20 – 29</b>	1	895 a 806	895 a 800
<b>30 – 39</b>	1	805 a 718	799 a 718
<b>40 – 49</b>	1	715 a 605	715 a 604
<b>50 – 59</b>	1	600 a 450	603 a 450
<b>60 – 69</b>	1	440 a 260	445 a 255
<b>70 – 79</b>	1	255 a 130	255 a 133
<b>80 – 89</b>	1	115 a 53	122 a 57
<b>90 – 100</b>	1	50 a 0	55 a 0

Fuente: OÑA Crísthian, FREIRE Lino

A partir de los datos obtenidos en la tabla 3-3 de las pruebas de medición de humedad realizadas en la plantación de moras, se determinó el intervalo donde se debe activar el riego el cual sería cuando nuestro valor analógico se encuentre en 900, lo que nos indica que el suelo se encuentra con un nivel de humedad del 20 % aproximadamente y debe ser regado, mientras que para que el riego se desactive el valor analógico sería 450 cuyo porcentaje de humedad sería aproximado al 60 % de humedad, este valor de humedad sería lo máximo admisible por nuestra plantación para que no se presenten enfermedades en las raíces como por ejemplo pudrición de las mismas.

### 3.5.2 *Sensor de presión*

Las pruebas se realizaron tomando diferentes valores de presión para tener una mejor resolución de los datos de la presión que nos proporciona nuestro sensor como se muestra en la tabla 4-3

**Tabla 4-3** Valores Analógicos de Presión

<b>PRESIÓN (psi)</b>	<b>LECTURA ANALÓGICO PRESIÓN DE ENTRADA (FILTRO)</b>	<b>LECTURA ANALÓGICA PRESIÓN DE SALIDA (FILTRO)</b>	<b>LECTURA ANALÓGICA PRESIÓN DE RIEGO</b>
<b>1 – 9</b>	1 a 9	1 a 9	1 a 9
<b>10 – 19</b>	10 a 19	10 a 19	10 a 19
<b>20 – 29</b>	20 a 29	20 a 29	20 a 29
<b>30 – 40</b>	30 a 40	30 a 40	30 a 40

Fuente: OÑA Cristhian, FREIRE Lino

Los resultados obtenidos en la tabla 4-3 nos muestran que los valores de la presión en el manómetro son similares a los valores analógicos del sensor de presión, ya que por medio de programación en ARDUINO se realizó una relación para tener los datos parecidos al del manómetro.

### **3.6 Resultados del proceso de automatización**

Para evaluar los resultados obtenidos con nuestro sistema de filtrado y purificación hemos realizado varias pruebas en el mismo tomando 10 muestras de cada proceso, donde la variable a medir es el tiempo que el sistema se demora en cumplir su objetivo. A continuación se detallan las funciones que cumple el sistema con sus respectivos resultados.

#### **3.6.1 Pruebas tiempo de llenado del sistema de filtrado**

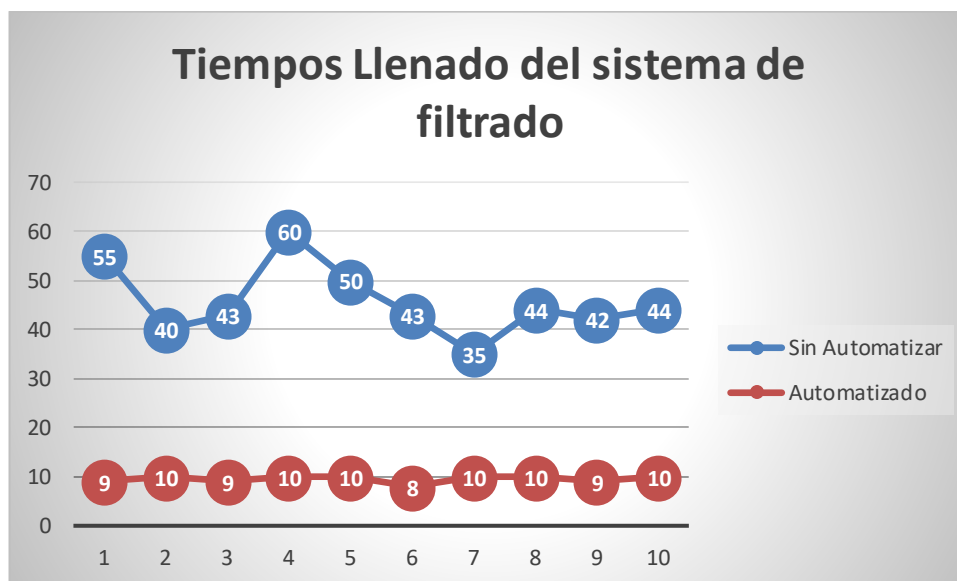
El primer proceso evaluado fue el llenado completo del sistema. Esto implica el accionamiento manual de la bomba, el cierre de electroválvulas que se encuentre abiertas y el llenado de los filtros del sistema. La tabla 5-3 detalla los tiempos de llenado del sistema.

**Tabla 5-3** Tiempos de llenado del sistema

Llenado del Sistema de Filtrado		
N°	Tiempo sin automatizar (seg.)	Tiempo automatizado (seg.)
1	45	9
2	40	10
3	43	9
4	41	10
5	50	10
6	43	8
7	45	10
8	44	10
9	42	9
10	44	10

Fuente: OÑA Crsthian, FREIRE Lino

Con estos datos se realizó la gráfica 10-3, para verificar que los tiempos de llenado, con el sistema automático son completamente lineales presentando una estabilidad para el sistema en comparación con el sistema sin automatizar que presenta un mayor tiempo de llenado y no se mantiene estable. Cabe aclarar que con el sistema automatizado algunos de los parámetros que se tomaban en cuenta en el sistema anterior ya no se realizan.



**Figura 10-3** Curva tiempos de llenado del sistema

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Crsthian

Con los tiempos medidos se realizó un análisis estadístico mostrado en la tabla 6-3, para saber cuáles son las medias del tiempo de llenado del sistema de filtrado así como también la desviación estándar del mismo.

**Tabla 6-3** Análisis Estadístico para tiempos de llenado del sistema de filtrado

<i>Sin Automatizar</i>		<i>Automatizado</i>	
Media (seg.)	45,6	Media (seg.)	9,5
Error típico	2,33428552	Error típico	0,2236068
Mediana	43,5	Mediana	10
Moda	43	Moda	10
Desviación estándar	7,38165895	Desviación estándar	0,70710678
Varianza de la muestra	54,4888889	Varianza de la muestra	0,5
Curtosis	0,44335761	Curtosis	0,57142857
Coficiente de asimetría	0,84431743	Coficiente de asimetría	-1,1785113
Rango	25	Rango	2
Mínimo	35	Mínimo	8
Máximo	60	Máximo	10
Suma	456	Suma	95
Cuenta	10	Cuenta	10

Fuente: OÑA Crithian, FREIRE Lino

### 3.6.2 Pruebas de llenado del sistema de riego por goteo (plantación de moras)

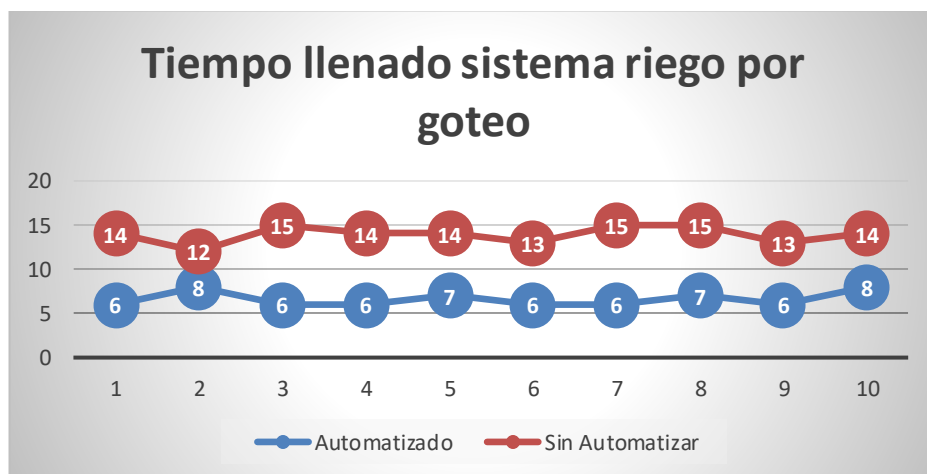
Este proceso comprende el llenado total del sistema de riego por goteo, es decir desde que la presión es la óptima para la apertura de las electroválvulas hasta que todas las líneas de riego de goteo se encuentren llenas y cumpla su función de comenzar con el riego de la plantación. La tabla 7-3 detalla los tiempos de llenado del sistema de riego por goteo.

**Tabla 7-3** Tiempos de llenado del sistema de riego por goteo

Llenado del Sistema de Riego por goteo			
N°	Tiempo sin automatizar (min.)	Tiempo automatizado (min.)	
1	14	6	
2	12	8	
3	15	6	
4	14	6	
5	14	7	
6	13	6	
7	15	6	
8	15	7	
9	13	6	
10	14	8	

Fuente: OÑA Cristhian, FREIRE Lino

Con estos datos se realizó la gráfica 11-3, para verificar que los tiempos de llenado, con el sistema automático son completamente lineales presentando una estabilidad para el sistema en comparación con el sistema sin automatizar que presenta un mayor tiempo de llenado y no se mantiene estable.



**Figura 11-3** Curva tiempos de llenado del sistema de riego por goteo

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

Con los tiempos medidos se realizó un análisis estadístico mostrado en la tabla 8-3, para saber cuáles son las medias del tiempo de llenado del sistema de riego por goteo así como también la desviación estándar del mismo.

**Tabla 8-3** Análisis Estadístico para tiempos de llenado del sistema

<i>Sin Automatizar</i>		<i>Automatizado</i>	
Media (min.)	13,9	Media (min.)	6,6
Error típico	0,31446604	Error típico	0,26666667
Mediana	14	Mediana	6
Moda	14	Moda	6
Desviación estándar	0,99442893	Desviación estándar	0,84327404
Varianza de la muestra	0,98888889	Varianza de la muestra	0,71111111
Curtosis	-0,15744765	Curtosis	-
Coficiente de asimetría	-0,61014071	Coficiente de asimetría	1,00056442
Rango	3	Rango	2
Mínimo	12	Mínimo	6
Máximo	15	Máximo	8
Suma	139	Suma	66
Cuenta	10	Cuenta	10

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

### 3.6.3 Pruebas de tiempo de riego de toda la plantación (sembrío de moras)

Este proceso es uno de los más importantes del sistema y uno de los que más tiempo llevaba, en este proceso intervenían directamente los operarios al verificar la humedad de la plantación y proceder a la apertura de las electroválvulas para empezar con el riego si esto fuera necesario. Para medir el tiempo de riego en este proceso hemos tenido en cuenta algunas variables que influyen en el tiempo de regado de toda la plantación como son: la temperatura ambiente, las condiciones meteorológicas, la humedad presente en el suelo y la hora en la que se tomó los datos.

Las variables de temperatura ambiente y las condiciones meteorológicas, fueron evaluadas de acuerdo a tomas realizadas por el “INAMHI” y a sistemas satelitales de información climática.

La figura 12-3 muestra el pronóstico del tiempo emitido por el INAMHI.



www.serviciometeorologico.gob.ec  
Panamericana Sur km 1 1/2  
+593-3 2998 200 Ext. 142- Espoch  
Riobamba- Ecuador

PROCESO DESCENTRALIZADO - REGIONAL PASTAZA

Riobamba, 30 de Junio del 2016.  
Emisión de la tarde.

### PRONÓSTICO DEL TIEMPO N° 162 Año II.


#### PERIODO DE VALIDEZ

Desde: 07H00 del 01 de Julio del 2016.

Hasta: 19H00 del 01 de Julio del 2016.

El PROCESO DESCENTRALIZADO REGIONAL PASTAZA<sup>1</sup>, basándose en la información que se obtiene en tiempo real, imágenes satelitales y modelos numéricos emite el siguiente boletín de las condiciones atmosféricas que se esperan en las próximas horas para los cantones de las Provincias de Chimborazo, Tungurahua y Pastaza.

#### CHIMBORAZO

Nombre	Condiciones Meteorológicas	Fenómeno Atmosférico	
Riobamba	Nublado ocasionalmente parcial nublado. Vientos moderados.	Lloviznas aisladas.	
Temperatura máxima pronosticada:		21.0°C	
Temperatura mínima pronosticada:		8.0°C	

**Figura 12-3** Pronóstico del tiempo “INAMHI”

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Crithian

La tabla 9-3 detalla las pruebas realizadas para el tiempo de riego de la plantación de moras con el sistema sin automatizar

**Tabla 9-3** Tiempos de riego sistema sin automatizar

Sin Automatizar						
N°	Día de Medición	Temp. Ambiente	Cond. Meteorológica	% Humedad	Hora de medición	Tiempo de Riego (hh:mm)
1	11-Abril-2016	22	Soleado	23	09h00	5:40
2	13-Abril-2016	21	Soleado	22	09h00	5:30



3	15-Abril-2016	22	Soleado	24	09h00	5:50
4	18-Abril-2016	20	Intervalos de sol	19	09h00	5:10
5	20-Abril-2016	20	Intervalos de sol	18	09h00	5:00
6	22-Abril-2016	20	Intervalos de sol	18	09h00	5:00
7	25-Abril-2016	24	Soleado	28	09h00	6:00
8	27-Abril-2016	23	Soleado	26	09h00	5:50
9	29-Abril-2016	18	Intervalos de sol	18	09h00	5:05
10	2-Mayo-2016	21	Soleado	22	09h00	5:30

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

La tabla 10-3 detalla las pruebas realizadas para el tiempo de riego de la plantación de moras con el sistema automatizado.

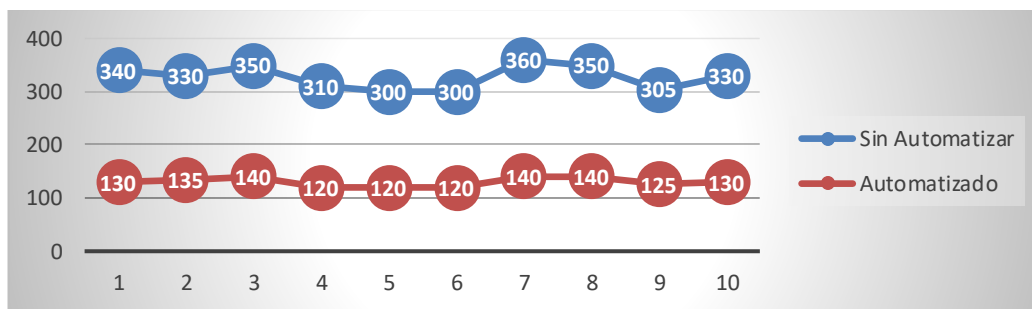
**Tabla 10-3** Tiempos de riego sistema automatizado

Automatizado						
N°	Día de Medición	Temp. Ambiente	Cond. Meteorológica	% Humedad	Hora de medición	Tiempo de Riego (hh:mm)
1	6-Mayo-2016	21	Soleado	22	09h00	2:10
2	11-Mayo-2016	21	Soleado	23	09h00	2:15
3	12-Mayo-2016	22	Soleado	23	09h00	2:20
4	20-Mayo-2016	20	Intervalos de sol	18	09h00	2:00
5	18-Mayo-2016	20	Intervalos de sol	19	09h00	2:00

6	19-Mayo-2016	20	Intervalos de sol	19	09h00	2:00
7	20-Mayo-2016	24	Soleado	26	09h00	2:20
8	24-Mayo-2016	23	Soleado	27	09h00	2:20
9	26-Mayo-2016	18	Intervalos de sol	20	09h00	2:05
10	30-Mayo-2016	21	Soleado	22	09h00	2:10

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

Con estos datos se realizó la gráfica 13-3, para verificar que los tiempos de riego de la plantación, con el sistema automático son casi lineales y representan la mitad del tiempo en comparación con el sistema sin automatizar, ayudando a la optimización recursos humanos y mejorando el uso del agua. Cabe aclarar que con el sistema automatizado, el agua no inunda la plantación estropeando de esta manera la raíz, ya que se realiza un monitoreo cada hora de la humedad del suelo para de esta manera mejorar las condiciones de riego.



**Figura 13-3** Curva tiempos de riego plantación de moras

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

Con los tiempos medidos se realizó un análisis estadístico mostrado en la tabla 11-3, para saber cuáles son las medias del tiempo de riego de la plantación así como también la desviación estándar del mismo.

**Tabla 11-3** Análisis Estadístico para tiempos de riego de la plantación

Sin Automatizar		Automatizado	
Media (min.)	327,5	Media (min.)	130
Error típico	7,120003121	Error típico	2,68741925
Mediana	330	Mediana	130

Moda	330	Moda	140
Desviación estándar	22,51542681	Desviación estándar	8,49836586
Varianza de la muestra	506,9444444	Varianza de la muestra	72,22222222
Curtosis	-1,6669651	Curtosis	-1,776415
Coeficiente de asimetría	0,009126163	Coeficiente de asimetría	3,4694E-17
Rango	60	Rango	20
Mínimo	300	Mínimo	120
Máximo	360	Máximo	140
Suma	3275	Suma	1300
Cuenta	10	Cuenta	10

Realizado por: FREIRE, Lino; OÑA, Cristhian

#### ***3.6.4 Pruebas de tiempo para el auto-lavado del filtro***

Este proceso también es uno de los más importantes del sistema ya que si este falla o no se realiza a tiempo, las impurezas presentes en el agua podrían taponar los goteros del sistema de riego, estropeando así el sistema, lo que provocaría el uso de más recursos humanos y materiales.

El auto-lavado del filtro se realizaba cada cuatro riegos de la plantación no existía un método para verificar el estado del filtro lo que provocaba que el sistema se tapone esto con el sistema sin automatizar.

Para mejorar este sistema se colocó un manómetro a la salida del filtro, el mismo que nos indicara cual es la presión de salida. Cuando esta presión sea diferente a la presión de entrada es porque el filtro se encuentra con impurezas y se tiene que realizar el auto-lavado del filtro. Este proceso se realiza ahora de manera automática.

Para la medición de tiempos en que se realiza el auto-lavado hemos tomado varias muestras con el sistema sin automatizar y el sistema automatizado pero en modo manual.

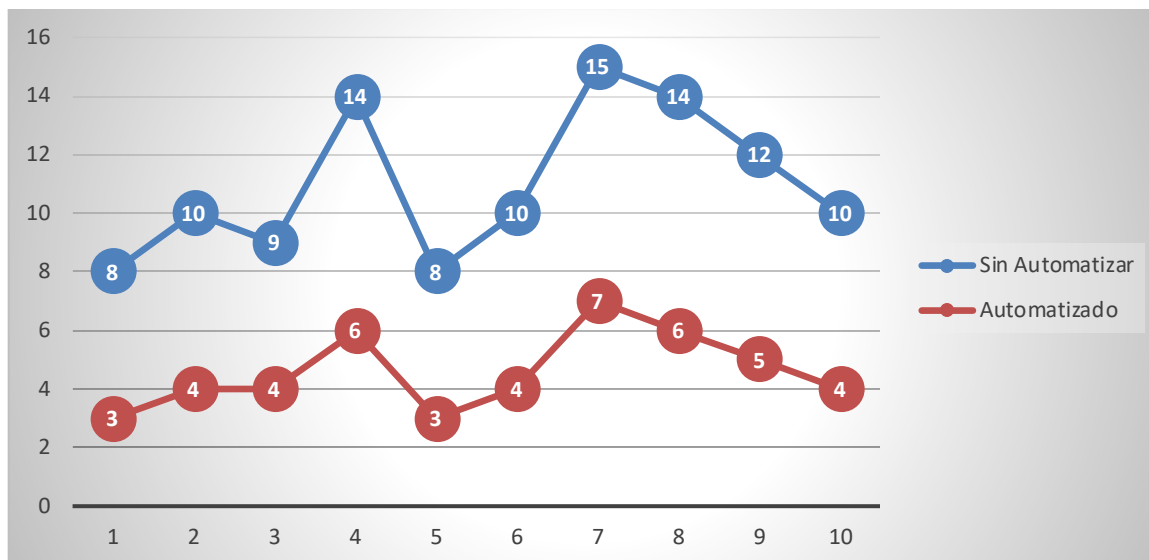
La tabla 12-3 detalla las pruebas realizadas para el auto-lavado con el sistema sin automatizar versus el sistema automatizado, donde la variable medida es el tiempo en el que se cumple este proceso.

**Tabla 12-3** Tiempos del proceso de auto-lavado

Tiempo del proceso de auto-lavado				
N°	Presión de entrada (psi)	Presión de salida (psi)	Sin Automatizar (min)	Automatizado (min)
1	40	38	8	3
2	40	35	10	4
3	40	36	9	4
4	40	30	14	6
5	40	38	8	3
6	40	35	10	4
7	40	27	15	7
8	40	30	14	6
9	40	32	12	5
10	40	35	10	4

Realizado por: **FREIRE, Lino; OÑA, Crishtián**

Con estos datos se realizó la gráfica 14-3, en la que se puede apreciar que los tiempos del auto-lavado con el sistema automatizado representan casi la mitad del tiempo que con el sistema sin automatizar, mejorando así la optimización de recursos humanos y materiales.



**Figura 14-3** Curva tiempos del proceso de auto-lavado

Realizado por: **FREIRE, Lino; OÑA, Crithian**

Con los tiempos medidos se realizó un análisis estadístico mostrado en la tabla 13-3, para saber cuáles son las medias del tiempo del proceso de auto-lavado, así como también la desviación estándar del mismo.

**Tabla 13-3** Análisis Estadístico para el proceso de auto-lavado.

<i>Sin Automatizar</i>		<i>Automatizado</i>	
Media (min.)	11	Media (min.)	4,6
Error típico	0,81649658	Error típico	0,42687495
Mediana	10	Mediana	4
Moda	10	Moda	4
Desviación estándar	2,5819889	Desviación estándar	1,34989712
Varianza de la muestra	6,66666667	Varianza de la muestra	1,82222222
Curtosis	-1,39285714	Curtosis	-0,75624628
Coefficiente de asimetría	0,43571063	Coefficiente de asimetría	0,58270023
Rango	7	Rango	4
Mínimo	8	Mínimo	3
Máximo	15	Máximo	7
Suma	110	Suma	46
Cuenta	10	Cuenta	10

Realizado por: **FREIRE, Lino; OÑA, Crithian**

Con el análisis estadístico de las tablas 6-3, 8-3, 11-3 y 13-3 hemos realizado una tabla general 14-3, con las medias correspondientes de cada uno de los procesos realizados.

**Tabla 14-3** Comparativa de medias.

<b>Tabla de Medias</b>			
<b>Proceso</b>	<b>Sin Automatizar</b>	<b>Automatizado</b>	<b>% Ahorro</b>
Llenado del sistema de filtrado	Media (seg.) 45,6	Media (seg.) 9,5	80%
Llenado del sistema de riego	Media (min.) 13,9	Media (min.) 6,6	52,51%
Riego de la plantación de moras	Media (min.) 327,5	Media (min.) 130	60,30%
Auto-lavado del filtro	Media (min.) 11	Media (min.) 4,6	58,18%

Realizado por: **FREIRE, Lino; OÑA, Crishtian**

Como se detalla en la tabla 14-3 podemos observar que los procesos con el sistema automatizado representan un ahorro de tiempo de más del 50% en alguno de los procesos y hasta un ahorro del 80% en uno de ellos.

Es decir el sistema automatizado representa un ahorro de tiempo, recursos humanos y materiales muy importante para la Facultad de Recursos Naturales, mejorando así el ambiente de trabajo y mejorando la calidad de la producción.

## CONCLUSIONES

- El proyecto propuesto se implementó exitosamente en la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, cumpliendo así de manera satisfactoria con el objetivo general planteado en este trabajo de titulación.
- Los componentes mecánicos y electrónicos que se seleccionó para la ejecución del proyecto fueron los adecuados y se integraron sin ningún problema a todo el sistema, cumpliendo así con su objetivo y mejorando la funcionalidad del mismo.
- Se diseñó y construyó el sistema filtrado y purificación de agua, teniendo en cuenta algunos cambios estructurales en el sistema de filtrado anterior, así como también se mejor componentes existentes, como la bomba que no proporcionaba la presión necesaria para cubrir todas parcelas de la Facultad de Recursos Naturales.
- Para la verificación del funcionamiento del sistema se realizó un riego automático mediante una red de sensores (WSN) y un control por histéresis para la humedad del suelo, gracias a este sistema se logró comprobar que el sistema funcionaba de manera correcta y mejoro la producción de la plantación en donde se implementó.
- Se puso a prueba todo el sistema de filtrado y purificación, realizando varias medidas de tiempo de todos sus procesos, comprobando así que el sistema automatizado redujo de un 52.51% hasta un 80% el tiempo en que anteriormente se realizaban los procesos, teniendo una media de ahorro total del 62,74% con respecto a todos los procesos con los que cumple la planta.
- La automatización del proceso de filtrado y purificación de agua para riego, expone de manera notable como se redujo la utilización de recursos, tanto humanos como materiales, de igual forma se redujo los tiempo de riego del sistema en general, llegando a cubrir un área mucho más grande y mejorando la presión de todo el sistema.
- La automatización del proceso mejoro el entorno de trabajo como también la producción de las diferentes plantaciones de la zona, puesto que con el sistema se mejoró la presión, la calidad del riego, el alcance a zonas que antes no se proveían de agua y se limitó el exceso de agua en las plantaciones.

## RECOMENDACIONES

- Reestructurar el sistema de tuberías en el Centro Experimental de Riego puesto que existen sub ramales los cuales que no son utilizados o han sido suspendidos y se encuentran con fugas de líquido.
- Realizar la planimetría del sistema de tuberías del Centro Experimental para saber dónde se encuentran las tuberías y sus llaves de paso, lo que en un futuro podrá ayudar a realizar una automatización completa del sistema de riego reemplazando las llaves de paso por electroválvulas controladas
- Antes que el sistema de filtrado y purificación de agua entre en funcionamiento se recomienda verificar que las llaves de paso de las tuberías de ramales secundarios se encuentren cerrados para evitar que existan pérdidas de presión y desperdicio de agua hacia lugares que no deben ser regados.
- Capacitar al personal del Centro Experimental de Riego y a los estudiantes que utilizarán el sistema de filtrado y riego automático, sobre los elementos que componen el sistema de filtrado, para que estos operen de forma correcta y no se presenten daños en el equipo por manipulación incorrecta.
- Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo de los dispositivos del sistema, como son los nodos sensoriales, las electroválvulas y la bomba hidráulica, de esta manera evitaremos el funcionamiento incorrecto del sistema.
- Realizar una medición de voltaje mensual de las baterías de cada nodo sensorial, así nos aseguramos de que los datos de humedad se están enviando con normalidad hacia el nodo central.



## BIBLIOGRAFÍA

Agricultura, A. d., s.f. *Aula de Agricultura*. [En línea] [Consulta: 30 abril 2016]

Disponible en:

<https://auladeagricultura.wikispaces.com/8.+Tipos+de+filtros+para+riego+localizado>

Agromática. *Agromática*. [En línea] 2013 [Consulta: 30 abril 2016]

Disponible en: <http://www.agromatica.es/los-filtros-en-sistemas-de-riego/>.

Agromática. *Agromática*. [En línea] 2013 [Consulta: 30 abril 2016]

Disponible en: <http://www.agromatica.es/problemas-riego-por-goteo/>.

Altadex., s.f. *altadex S.A.* [En línea] Disponible en:

[http://www.aquacenter.es/manuales/funcionamiento\\_reparacion\\_elec.v.htm](http://www.aquacenter.es/manuales/funcionamiento_reparacion_elec.v.htm)

Arduino., s.f. *arduino*. [En línea] Disponible en:

<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Asconumatics., s.f. *asconumatics*. [En línea] Disponible en:

[http://www.asconumatics.eu/images/site/upload/\\_es/pdf/00005es.pdf](http://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_es/pdf/00005es.pdf)

Aula de Agricultura., s.f. *Aula de Agricultura*. [En línea] Disponible en:

<https://auladeagricultura.wikispaces.com/8.+Tipos+de+filtros+para+riego+localizado>

Areny, R. *Sensores y Acondicionadores de señal*. Barcelona, España : s.n, 2003 pp. 15-27

Camargo, M. *Sistema de control de riego automático mediante el monitoreo de humedad del suelo vía internet*. Querétaro, Mexico: s.n, 2013 pp. 9-20.

Carletti, E. *Robots pasión por la robótica en Argentina*. [En línea] , 2002 [Consulta: 19 Abril 2016] Disponible en: [http://robots-argentina.com.ar/Sensores\\_humedad.htm](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_humedad.htm).

Cosco, J. [En línea], 2010 [Consulta: 20 Abril 2016] Disponible en:

<https://coscomantauni.files.wordpress.com/2011/08/53-sensor-de-presion.ppt>.

Electrocomponentes., s.f. *ELECTROCOMPONENTES S.A.*. [En línea] [Consulta: 4 mayo 2016]. Disponible en:

<http://www.electrocomponentes.com/articulos/diciembre06/zigbee.html>

Faludi, R. *Wireless Sensor Networks*, s.l.s.n, 2011 pp. 12-54.

Ferreya, R. [En línea] , 2009 [Consulta: 19 Abril 2016] Disponible en:  
[http://www.avocadosource.com/journals/subsole/subsole\\_2009/ferreyraul2009.pdf](http://www.avocadosource.com/journals/subsole/subsole_2009/ferreyraul2009.pdf)

Gasselin, A. Z. y. P. *CONSORCIO CAMAREN*. [En línea] , 2009 [Consulta: 19 Abril 2016] Disponible en: <http://www.camaren.org/el-riego-en-el-ecuador-problema-debate-y-politicas-2/>

Giles, R. *Teoría y problemas de mecánica de los fluidos e hidráulica*. Philadelphia,EEUU: McGraw-Hill, 1962 pp.12-16.

Glaría, J.. [En línea] , 2001 [Consulta: 22 abril 2016] Disponible en:  
<http://ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Instalaciones%20Electricas%20Industriales/Sensores%20de%20Humedad.pdf>.

LabFerrer., s.f. *LabFerrer*. [En línea] [Consulta: 8 mayo 2016] Disponible en:  
<http://www.lab-ferrer.com/gestion-del-agua-de-riego/instrumentacion-y-sensores-para-un-riego-eficiente/humedad-del-suelo-ech2osystem.html>.

Mariana Becerra Pérez, J. S. S. C. M. P.. [En línea] , 2006 [Consulta: 30 abril 2016] Disponible en:  
[http://www.gestionypoliticapublica.cide.edu/num\\_anteriores/Vol.XV\\_No.I\\_1ersem/04Becerra.pdf](http://www.gestionypoliticapublica.cide.edu/num_anteriores/Vol.XV_No.I_1ersem/04Becerra.pdf).

Mola Morales, F. J. *Manipulación y Ensamblaje de Tuberías* , 2004 En: s.l.:IC EDITORIAL, pp. 7.

Ruiz Canales, A. & Molina Martínez, J. M., s.f. *AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE SISTEMAS DE RIEGO*. s.l.s.n, 2000 pp.45.

Saldariaga, J. *Hidráulica de Tuberías*. Bogota,Colo,bia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A, 2000 pp.78

Saldarriaga, J. *Hidráulica de tuberías*. s.l.:McGraw-Hill, 2007 pp.87

Valenzuela, F. *es.scribd.com*. [En línea] , 2012 [Consulta: 23 Mayo 2016]

Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/111028643/6/Ventajas-y-Desventajas-en-WSN>

Vásconez, J. [En línea] , 2013 [Consulta: 15 Junio 2016]

Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5304/1/UPS-GT000434.pdf>

Vasquez, G., Velandia, A. & Miguel, M. [En línea] , 2010 [Consulta: 25 Abril 2016]

Disponible en: <http://sistemasdinamicos2010ii.blogspot.com/2010/11/electrovalvulas-on-off-las-valvulas-de.html>.

XBee., s.f. *XBee.cl*. [En línea] [Consulta: 8 mayo 2016] Disponible en:

<http://xbee.cl/que-es-xbee/>.

**ANEXOS**



**MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL  
SISTEMA DE FILTRADO  
PARA RIEGO EN EL  
CENTRO EXPERIMENTAL DE RIEGO DE  
LA FACULTAD DE RECURSOS  
NATURALES  
ESPOCH  
REALIZADO POR:  
FREIRE LINO  
OÑA CRISTHIAN**

## PASO PARA QUE EL SISTEMA DE FILTRADO Y RIEGO ENTRE EN FUNCIONAMIENTO

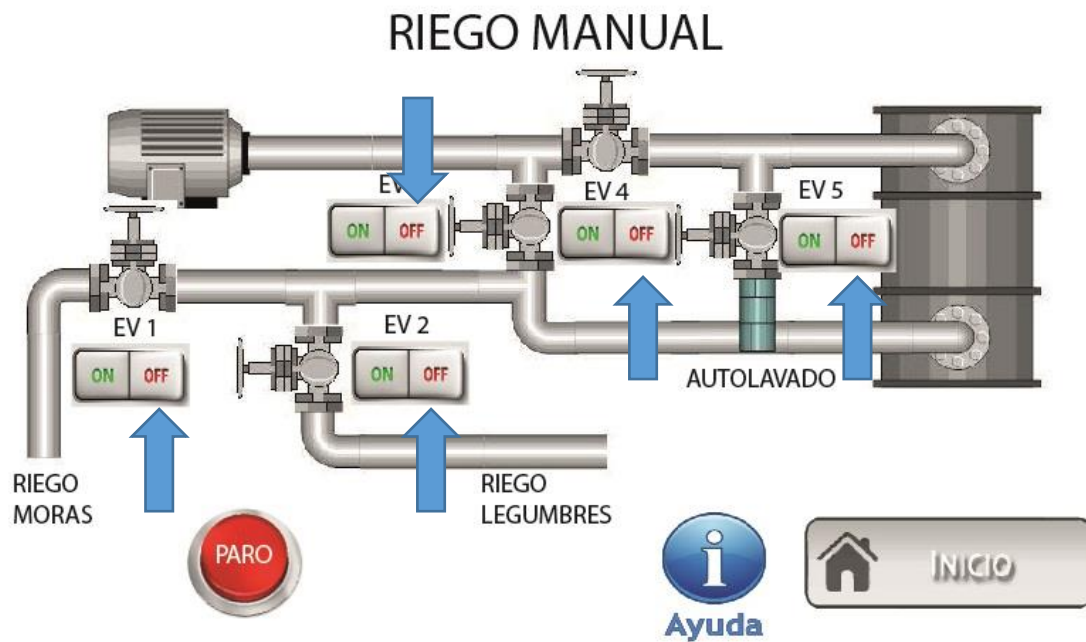
1. Verificar que la bomba de se encuentre apagada antes de encender el sistema
2. Encender el tablero de control del sistema de filtrado y riego
3. Una vez encendido el sistema de filtrado la pantalla HMI se iniciará, presionar en el siguiente botón



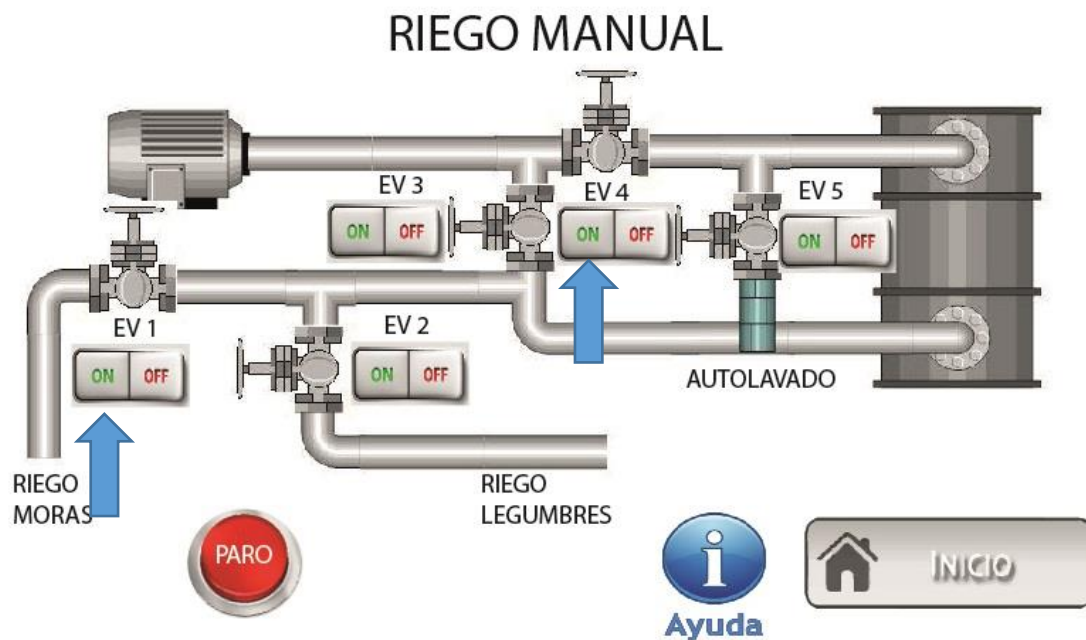
4. En la siguiente pantalla podemos escoger que tipo de riego realizar si manual o automático.



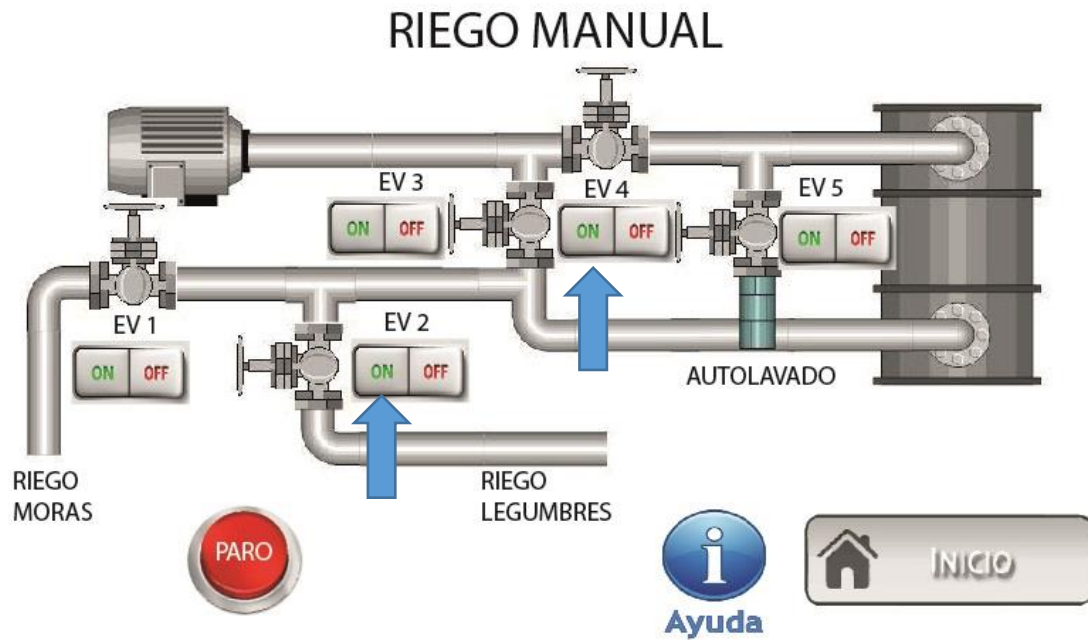
5. Al seleccionar manual nos irá a la siguiente pantalla Debemos desactivar todas las electroválvulas antes de realizar algún tipo de riego.



- Para realizar el riego en la plantación de mora debemos proceder a la activación de la EV 4 y luego de la EV 1



- Para realizar el riego de los otros cultivos se debe activar la EV 4 y luego EV 2



- Para realizar el retro lavado del filtro se debe activar EV 3 y EV 5.

