



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
NEBULIZACIÓN Y RIEGO PARA LA CLONACIÓN DE ESPECIES
FORESTALES EN LA ESTACIÓN INIAP SANTO DOMINGO”

TRABAJO DE TITULACIÓN: PROYECTO TÉCNICO
Para optar al Grado Académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: JONATHAN XAVIER ZAMBRANO MENDOZA
TUTOR: ING. EDWIN VINICIO ALTAMIRANO

Riobamba - Ecuador

2017

©2017, Jonathan Xavier Zambrano Mendoza

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 del 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 trabajo de investigación: **“Implementación de un Sistema Automatizado de Nebulización y Riego para la Clonación de Especies Forestales En La Estación INIAP Santo Domingo”**, de responsabilidad del señor Jonathan Xavier Zambrano Mendoza, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna E. DECANO FIE	-----	-----
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR EIE CONTROL Y REDES INDUSTRIALES	-----	-----
Ing. Edwin Altamirano S. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	-----	-----
Ing. Jorge Hernández A. MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN	-----	-----

YO, JONATHAN XAVIER ZAMBRANO MENDOZA, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Jonathan Xavier Zambrano Mendoza

0804011609

DEDICATORIA

Me gustaría nombrar a cada una de las personas que estuvieron a mi lado desde el inicio, dedico este logro a toda mi familia de manera especial a mis padres por su amor y apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida, a mi esposa y mi adorable hijo por los momentos de alegría que me regalan a diario, mis amigos, por los momentos compartidos y su apoyo desinteresado.

JONATHAN

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme sus puertas y permitirme formarme como profesional, a los maestros que a lo largo de la carrera transmitieron sus conocimientos y anécdotas profesionales, a los ingenieros Edwin Altamirano, Víctor Cevallos y al doctor Jorge Luis Hernández por estar prestos en todo momento a brindar la ayuda necesaria para ejecutar este proyecto y de manera muy especial mi padre Lorgio Zambrano por ser mi apoyo incondicional en llevar a cabo esta tarea que parecía titánica y con su ayuda se pudo ir superando cada uno de los obstáculos que se fueron presentando en el camino.

JONATHAN

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1.	INIAP.....	5
1.2.	Invernaderos	5
1.2.1.	<i>Clonación de especies forestales</i>	6
1.2.1.1.	<i>Humedad relativa</i>	7
1.2.1.2.	<i>Temperatura</i>	8
1.2.1.3.	<i>Etapas de la clonación</i>	8
1.2.2.	<i>Sistema de Nebulización</i>	8
1.2.2.1.	<i>Sistema Fog System</i>	9
1.2.2.2.	<i>Sistema Mist System</i>	11
1.3.	Sistemas de Automatización para la Nebulización y Riego	11
1.4.	Interfaz Hombre-Máquina	12
1.4.1.	<i>LCD Nextion 3.2</i>	12
1.5.	Actuadores	15
1.5.1.	<i>Bomba hidráulica</i>	15
1.5.2.	<i>Electroválvula</i>	16
1.5.3.	<i>Módulo de relés</i>	17

1.5.4.	<i>Contactor</i>	18
1.5.5.	<i>Relé Térmico</i>	19
1.6.	Módulo SD CARD V 1.0	21
1.7.	Módulo RTC DS 1032	21
1.8.	Dispositivos sensoriales	22
1.8.1.	<i>Sensor de humedad de suelo FC-28</i>	23
1.8.2.	<i>Sensor de temperatura y humedad DHT22</i>	24
1.9.	Placa Arduino Mega 2560	25
1.9.1.	<i>Conectores disponibles de la placa Arduino Mega 2560</i>	26
1.9.2.	<i>Cable para conexión entre PC y Arduino Mega 2560</i>	27
1.9.3.	<i>IDE Arduino 1.8.1</i>	28

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	29
2.1.	Etapas de Diseño e Implementación del Sistema Automatizado	29
2.2.	Selección y dimensionamiento de dispositivos	31
2.2.1.	<i>Selección de las boquillas</i>	31
2.2.1.1.	<i>Selección de las boquillas de nebulización</i>	31
2.2.1.2.	<i>Selección de las boquillas de riego</i>	33
2.2.1.3.	<i>Caídas de presión en la bomba hidroneumática y los nebulizadores</i>	35
2.2.2.	Selección y dimensionamiento de los dispositivos de protección	36
2.2.2.1.	<i>Calculo de Fusibles y Breakers</i>	36
2.2.3.	Dimensionamiento de los Conductores	39
2.2.3.1.	<i>Conductor empleado la fuente de 12V de la carga 1</i>	40
2.2.3.2.	<i>Dimensionamiento del conductor para la fuente de 5V de la carga 1</i>	40
2.2.3.3.	<i>Dimensionamiento del conductor de la bomba hidroneumática de la carga 3</i>	41
2.2.3.4.	<i>Dimensionamiento del conductor para la Electroválvula de la carga 2</i>	42
2.2.3.5.	<i>Dimensionamiento del conductor para las luces de la carga 2</i>	43
2.2.3.6.	<i>Conductores empleados en el Sistema Automatizado</i>	43

2.3.	Diseño e implementación del Sistema Electrónico	44
2.3.1.	<i>Diseño del circuito de distribución de los elementos instalados en el invernadero y tablero de control</i>	<i>44</i>
2.3.2.	<i>Diseño del circuito distribuidor y regulador.....</i>	<i>45</i>
2.3.3.	<i>Conexión de la pantalla LDC Nextion 3.2.....</i>	<i>46</i>
2.3.4.	<i>Conexión de los sensores a la placa Arduino Mega.....</i>	<i>47</i>
2.3.5.	<i>Conexión del Módulo SD-Card y Módulo RTC DS103</i>	<i>49</i>
2.3.6.	<i>Diagrama del circuito general del sistema</i>	<i>50</i>
2.3.7.	<i>Diseño de las placas de circuito impreso</i>	<i>51</i>
2.4.	Implementación del tablero de Control.....	53
2.5.	Diseño e implementación del Sistema Eléctrico.....	55
2.6.	Diseño e implementación del Sistema Hidráulico.....	56
2.7.	Diseño del controlador del Sistema.....	59
2.8.	Programación de la Placa Arduino Mega	60
2.8.1.	<i>Diagrama de Flujo del sistema manual de Nebulización y Riego</i>	<i>61</i>
2.8.2.	<i>Diagrama de Flujo del sistema automático de Nebulización y Riego</i>	<i>62</i>
2.9.	Programación del HMI	64
 CAPITULO III		
3.	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	70
3.1.	Pruebas de conexión de los dispositivos instalados en el panel de control .	70
3.2.	Monitoreo del Sistema mediante el HMI.....	72
3.2.1.	<i>Monitoreo de humedad relativa y temperatura</i>	<i>72</i>
3.2.2.	<i>Almacenamiento de datos.....</i>	<i>76</i>
3.3.	Análisis de la clonación de estacas de caña de bambú	78
3.3.1.	<i>Porcentaje de días reducidos.....</i>	<i>78</i>
3.3.2.	<i>Caso Experimental de Prueba: Caña de Bambú.....</i>	<i>79</i>
3.3.3.	<i>Clonación mediante el sistema convencional.....</i>	<i>80</i>
3.3.4.	<i>Clonación mediante el sistema automatizado.....</i>	<i>80</i>
CONCLUSIONES.....		83

RECOMENDACIONES..... 84

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Características de la pantalla HMI Nextion LCD Touch Display Module.	13
Tabla 2-1:	Especificaciones de la bomba hidráulica Truper modelo HIDR.....	16
Tabla 3-1:	Especificaciones eléctricas del Módulo de Relés de 8 canales	18
Tabla 4-1:	Parámetros eléctricos del contactor CJX1-9.....	19
Tabla 5-1:	Características de medición de temperatura y humedad relativa del sensor DHT22.....	25
Tabla 6-1:	Especificaciones técnicas de la placa Arduino Mega 2560	26
Tabla 1-2:	Carga 1	36
Tabla 2-2:	Carga 2	37
Tabla 3-2:	Carga 3	38
Tabla 4-2:	Valores de fusibles instalados	38
Tabla 5-2:	Valores obtenidos del dimensionamiento de conductores.....	44
Tabla 6-2:	Distribución de los pines de señal de la pantalla LCD Nextion.....	47
Tabla 7-2:	Distribución de los pines del sensor DHT-22 a la placa Arduino Mega	48
Tabla 8-2:	Distribución de pines del sensor FC-28 a la placa Arduino Mega	48
Tabla 9-2:	Distribución de pines del módulo SD-CARD a la placa Arduino Mega.....	49
Tabla 10-2:	Distribución de pines del módulo RTC DS103 a la placa Arduino Mega .	49
Tabla 11-2:	Dimensionamiento de pistas en base al consumo de corriente	51
Tabla 1-3:	Pruebas de medición de voltaje	70
Tabla 2-3:	Valores almacenados de humedad relativa y temperatura	76
Tabla 3-3:	Clonación de estacas de caña de bambú sin automatización.....	80
Tabla 4-3:	Clonación de estacas de caña de bambú con automatización.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Estación Experimental INIAP.....	5
Figura 2-1:	Invernadero de estación experimental del INIAP	6
Figura 3-1:	Boquilla nebulizadora alta presión	10
Figura 4-1:	Boquilla de aire-agua con cámara previa de mezclado (a) simple y (b) doble	10
Figura 5-1:	Pantalla LCD Nextion 3.2.....	13
Figura 6-1:	Pantalla de inicio de Nextion Editor	14
Figura 7-1:	Bomba hidráulica Truper modelo HIDR.....	15
Figura 8-1:	Electroválvula de 110-120 v AC 50-60 HZ.....	16
Figura 9-1:	Módulo de relés de 8 canales	17
Figura 10-1:	Contactador	17
Figura 11-1:	Módulo SD CARD V 1.0.....	21
Figura 12-1:	Módulo RTC DS103.....	22
Figura 13-1:	Sensor de humedad de suelo FC-28.....	24
Figura 14-1:	Sensor DHT22.....	25
Figura 15-1:	Esquema de la placa Arduino Mega 2560	27
Figura 16-1:	Cable Arduino Mega 2560 - PC	28
Figura 17-1:	Pantalla IDE de Arduino 1.8.1	28
Figura 1-2:	Etapas de Diseño e Implementación del Sistema.....	
	Automatizado de Nebulización y Riego.....	30
Figura 2-2:	Boquilla de nebulización CoolNET	32
Figura 3-2:	Ubicación de las boquillas con traslape	32
Figura 4-2:	Aspersor T-spray 360.....	34
Figura 5-2:	Tablas para el cálculo del calibre de conductores eléctricos	39
Figura 6-2:	Circuito de distribución de electroválvulas y luces piloto.....	45
Figura 7-2:	Diagrama del circuito de las fuentes de alimentación	46
Figura 8-2:	Esquema de conexión de la pantalla LCD Nextion a la placa	

Arduino Mega	47
Figura 9-2: Esquema de conexión de los sensores a la placa Arduino Mega	48
Figura 10-2: Esquema de conexión del Módulo SD-Card y RTC	50
Figura 11-2: Diagrama de conexión del circuito general del sistema	50
Figura 12-2: Diseño PCB del circuito de las fuentes de alimentación.....	51
Figura 13-2: Diseño PCB del circuito de distribución de.....	52
Figura 14-2: Baquelita del circuito de fuentes de alimentación	52
Figura 15-2: Realización de orificios y colocación de elementos.....	53
Figura 16-2: Distribución de riel DNI y canaletas.....	53
Figura 17-2: Distribución y conexión de elementos dentro del gabinete.....	54
Figura 18-2: Distribución y conexión de los dispositivos	54
Figura 19-2: Vista interior y exterior del tablero de control	55
Figura 20-2: Diagrama de conexión del circuito eléctrico	55
Figura 21-2: Ubicación del Invernadero y depósito de agua	56
Figura 22-2: Instalación de la bomba hidroneumática	56
Figura 23-2: Instalación de la tubería en la zanja.	58
Figura 24-2: Instalación del sistema hidráulico.....	59
Figura 25-2: Comportamiento de un controlador on-off.....	60
Figura 26-2: Diagrama de flujo general del proceso del sistema de Nebulización y Riego	61
Figura 27-2: Diagrama del proceso del sistema manual de Nebulización y Riego	62
Figura 28-2: Diagrama del proceso del sistema automático de Nebulización y Riego	63
Figura 29-2: Pantalla de inicio 1	64
Figura 30-2: Pantalla de inicio 2	65
Figura 31-2: Pantalla de inicio 3	65
Figura 32-2: Pantalla de ingreso y validación de clave	65
Figura 33-2: Pantalla de Presentación del sistema	66
Figura 34-2: Pantalla de selección de sistema entre nebulización y riego.....	65
Figura 35-2: Pantalla de selección de modo	66

Figura 36-2:	Pantalla modo Manual.....	67
Figura 37-2:	Pantalla 1 del Modo Automático.....	67
Figura 38-2:	Pantalla 2 del Modo Automático.....	67
Figura 39-2:	Pantalla de Monitoreo en Tiempo Real.....	68
Figura 40-2:	Pantalla de selección de gráficas.....	68
Figura 41-2:	Pantalla de graficas en tiempo real.....	68
Figura 42-2:	Pantalla de valores de monitoreo.....	69
Figura 43-2:	Pantalla de Valores de humedad Relativa.....	69
Figura 1-3:	Pruebas de conexión de dispositivos.....	71
Figura 2-3:	Rango de valores de humedad relativa.....	72
Figura 3-3:	Grafica humedad relativa vs tiempo.....	73

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Humedad relativa interna vs tiempo.....	74
Gráfico 2-3: Temperatura interna vs tiempo.....	74
Gráfico 3-3: Humedad relativa externa vs tiempo	75
Gráfico 4-3: Temperatura externa vs tiempo.....	75
Gráfico 5-3: Días proceso de clonación.....	79
Gráfico 6-3: Porcentaje de especies clonadas por cada uno de los sistemas.....	81
Gráfico 7-3: Número de especies clonadas por cada uno de los sistemas.	82

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1: Definición matemática de la Humedad relativa	7
Ecuación 1-2: Ecuación para corriente de protección para fusibles.....	36
Ecuación 2-2: Caída de tensión para un circuito monofásico.....	39

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL HMI NEXTION LCD 3.2
- ANEXO B.** HOJA DE ESPECIFICACIONES DE BOMBA HIDRÁULICA
- ANEXO C.** HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL CONTACTOR
- ANEXO E.** HOJA DE ESPECIFICACIONES DE ARDUINO MEGA
- ANEXO F.** HOJA DE ESPECIFICACIONES DE NEBULIZADOR COLNET PRO
- ANEXO G.** PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE NEBULIZACIÓN Y RIEGO EN MODO
- ANEXO H.** MANUAL DE OPERACIONES MODO MANUAL
- ANEXO I.** PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE NEBULIZACIÓN Y RIEGO EN MODO
- ANEXO J.** MANUAL DE OPERACIONES DEL MODO AUTOMÁTICO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Amperios
AWG	American Wire Gauge
AC	Corriente alterna
CSV	Comma separated values
PSI	Libras por pulgada cuadrada (lb/plg ²)
DC	Corriente continúa
INIAP	Instituto Nacional Investigaciones Agropecuarias
Ith	Corriente térmica
LCD	Liquid Cristal Display
m	metro
mm	milímetro
MISO	Master Input Slave Output
MOSI	Master Output Slave Input
SCK	Serial Clock
SD	Seguridad Digital
SPI	Interfaz serial periférica
P	Potencia nominal
PCB	Placa de circuito impreso
V	Voltios

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo la implementación de un sistema automatizado de nebulización y riego para favorecer la clonación de especies forestales en la Estación Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) Santo Domingo. A través de una pantalla táctil interfaz hombre maquina (HMI) se configuraron los valores de temperatura y humedad para su posterior monitoreo. Por otro lado, se incorporó un módulo RTC que suministra la fecha y hora actual y un módulo SDCARD para almacenar los datos de humedad y temperatura en un determinado instante de tiempo. Se programó una placa Arduino Mega, para la recepción de señales de los sensores DHT22 y FC-28 para monitorear los casos de nebulización y riego, respectivamente. Además, la placa activa y desactiva las electroválvulas y posteriormente la bomba hidroneumática, para enviar agua presurizada hacia los nebulizadores, permitiendo reducir la temperatura y aumentando la humedad relativa en el invernadero. Se inició el proceso de pruebas mediante la clonación de 36 estacas de caña de bambú empleando el sistema convencional y el sistema automatizado. El porcentaje de mejora en el número de estacas clonadas fue del 61.11% mediante el sistema automatizado, de las 36 estacas que iniciaron el proceso 26 fueron clonadas con éxito mientras que con el sistema convencional solo 4 culminaron el proceso. El monitoreo de datos es de vital importancia para realizar futuras clonaciones, pues se conoce con qué valores de humedad relativa reacciona mejor una variedad determinada de especie vegetal. Cabe mencionar que la automatización implementada del sistema es mucho más robusta y confiable permitiendo minimizar el tiempo invertido por parte del personal del INIAP en las diferentes etapas del proceso de clonación. Garantizando una mayor cantidad de especies clonadas en un menor tiempo. Se recomienda al usuario revisar el manual de operación antes de manipular el sistema.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS>, <NEBULIZACIÓN>, <RIEGO>, <ESPECIES FORESTALES>, <HUMEDAD>, <TEMPERATURA>, <CLONACIÓN DE ESPECIES FORESTALES>.

ABSTRACT

The objective of the present work is the implementation of an automated system of nebulization and risk to favor the cloning of forest species in La Estacion Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Experimental Station of the National Institute of Agricultural Research), (INIAP) Santo Domingo. Through a touch interface screen man machine (MHI), the values of temperature and humidity were configured for later monitoring. On the other hand, an RTC module was incorporated that supplies the current date and time and a SDCARD module to store the data of humidity and temperature in a certain time. An Arduino Mega plate was programmed to receive signals from the DHT22 and FC-28 sensors to monitor nebulization and irrigation, respectively. In addition, the plate activates and deactivates the electro valves and then the hydro pneumatic pump to send pressurized water to the nebulizers, allowing reducing the temperature and increasing the relative humidity in the greenhouse. The testing process was initiated by cloning 36 bamboo cane stakes by using the conventional and the automated system. The percentage of improvement in the number of cloned stakes was 61.11% through the automated system. From 36 stakes that initiated the process, 26 were successfully cloned, while with the conventional system only 4 culminated the process. Data monitoring is of vital importance for future cloning, because it is known with which relative humidity values a particular variety of plant species reacts better. It is worth mentioning that the implemented automation of the system is much more robust and reliable, allowing to minimize the time invested by INIAP personnel in the different stages of the cloning process. More cloned species are guaranteed in less time. The user is advised to check the operating manual before handling the system.

Key Words: <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <PROCESS AUTOMATION>, <NEBULATION>, <IRRIGATION>, <FOREST SPECIES>, <HUMIDITY>, <TEMPERATURE>, <CLONING FOR FOREST SPECIES>, <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En los últimos tiempos la humanidad se ha visto en la imperiosa necesidad de buscar medios para producir más a menor costo y optimizando la mayor cantidad de recursos tanto naturales como económicos, entre estos esta la utilización de agua en forma de neblina o partículas mucho más pequeñas, con el fin de lograr que la temperatura del medio se reduzca y por ende las partículas de agua se disuelvan en el ambiente y gane humedad relativa, para hacerlo parte de varios procesos que mediante otras técnicas presentaban demasiada dificultad o imposibilidad de llevarlos a cabo.

La importancia en mejorar y optimizar las técnicas de producción de neblina, radica en los tiempos perdidos, debido a que no se hace un control apropiado; la estación experimental INIAP, cuenta con un invernadero que permite una producción de más 10000 árboles de distintas variedades, pero debido a que no se cuenta con un sistema automatizado esta producción se ha visto mermada.

En el proceso de nebulización, como primer paso se enciende la bomba que permite llevar agua desde su depósito hacia el cuarto de producción, posteriormente se abre una válvula de paso permitiendo el ingreso de agua hacia las boquillas lo que origina que se pulverice y se convierta en neblina hasta obtener un nivel apropiado de humedad en el ambiente, lo mismo que es considerado como óptimo o no de acuerdo al criterio del operador de la planta, este proceso se repite varias veces en el día según lo considere.

Este procedimiento en la actualidad se lo desarrolla con la custodia de un operario el cual desperdicia mucho tiempo enfocándose en una sola tarea, en principio para trabajar se debe invertir tiempo del personal, la misma que conlleva encender la bomba de agua, vigilar que las llaves de paso estén abiertas, a más de esto sumarle el tiempo que se tarda en alcanzar una humedad relativa en el ambiente, en días extremadamente soleados para garantizar un correcto desempeño, el sistema debe encenderse muchas veces , dado a que se podrá demorar cuanto sea necesario para llegar a la humedad relativa alta, para luego proceder apagar el sistemas y empezar a trabajar en los diferentes procesos con los que se cuenta en la estación experimental INIAP.

Formulación del problema

¿El desarrollo de un sistema automatizado permitirá mantener la humedad constante, con lo que se garantizará un desarrollo idóneo de las especies forestales?

Sistematización del problema

1. ¿Se podrá automatizar adecuadamente el sistema mediante el uso de un microcontrolador?
2. ¿Ayudará la automatización a mejorar los tiempos de producción garantizando un producto de calidad con las especies forestales?
3. ¿Con la implementación del sistema electrónico se pretende asegurar una mejor clonación de las especies forestales, con una tasa de alto enraizamiento?
4. ¿Cuál de los sistemas de nebulización y riego presenta mayores beneficios en la clonación de especies forestales?
5. ¿Cómo se puede almacenar datos de humedad y temperatura del ambiente para una mejor clonación de las especies forestales?

JUSTIFICACIÓN

Justificación teórica

El trabajo propone; implementar y comparar los beneficios que presenta al realizar este procedimiento, mediante la implementación de un sistema automático frente a un sistema ON-OFF, la comparación se la va a realizar de la siguiente manera, de las 2 camas disponibles en el invernadero, una de ellas van a estar sometidas a un sistema on-off, mientras tanto las restantes se las va a automatizar, con el fin de determinar cuál de los dos sistemas es el más idóneo. Con la automatización lo que se pretende es optimizar los tiempos y mejorar la humedad tanto del ambiente como del suelo, aprovechando el recurso humano para trabajar con otros procesos, que forman parte de las actividades diarias de la estación experimental INIAP.

En el apartado de la automatización, un microcontrolador nos permite trabajar con variables presentes en procesos como lo son la humedad y temperatura, basado en la información que entregan diferentes señales de entradas como sensores, para ser usado en el programa y luego señales de salida para poder controlar los actuadores.

Los sensores de temperatura, son transductores que transforman los cambios de temperatura en señales eléctricas para obtener datos sobre el funcionamiento de la planta respecto a la variable temperatura.

El sensor de Humedad Relativa, es un dispositivo que permite captar magnitudes físicas por medio de señales eléctricas los cambios que se obtienen en la humedad del ambiente. Su funcionamiento se basa en traducir los diferentes niveles de humedad mediante señales eléctricas que se envían a un dispositivo de procesamiento.

Carrillo Reveles David Alejandro y Vásquez Minjares José Luis en 2008 realizaron su tesis de grado titulada “AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO CON EL PLC S7-1200”, trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA en la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS, su trabajo se basó en la automatización de los sistemas de temperatura involucrados en un invernadero como son la humedad relativa y la temperatura.

Garcés Hernández, David Rafael y Jiménez Acaro, Sergio William en 2013 realizaron su tesis de grado titulada “SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DEL INVERNADERO DEL CENTRO EXPERIMENTAL DEL RIEGO DE LA ESPOCH MEDIANTE TECNOLOGÍA ZIGBEE”, trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES en la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO, su trabajo se basó en el control de condiciones ambientales de temperatura y humedad, diseñando una red de sensores inalámbricos capaz de proveer las mediciones a un módulo central, el cual toma decisiones basadas en parámetros establecidos.

Justificación aplicativa

Los métodos tradicionales que son empleados en este tipo de invernaderos, con el fin de que se gane humedad y la temperatura se reduzca, no son eficientes. Al realizar el trabajo a mano, no se obtienen resultados uniformes, por lo tanto las especies a ser clonadas sufren un estrés hídrico considerable lo que origina una tasa muy baja de enraizamiento, existe una pérdida significativa de tiempo y en la calidad del producto final.

Con la automatización de este proceso mediante un sistema automatizado como se indica en la figura, lo que se busca es lograr mantener la humedad constante, el uso de un microcontrolador, en el proceso permitirá interpretar los datos provenientes de los sensores en cada etapa, con lo

que se podrá determinar la cantidad de veces que se activaran las electroválvulas para que de esta forma se produzca la nebulización del agua en primera instancia y posteriormente el riego del sustrato.

Una pantalla HMI, permitirá una comunicación con el usuario además de indicar los niveles actuales de temperatura y humedad. Además de permitir seleccionar al usuario que sistema se desea usar, ya sea el control de humedad relativa en el ambiente o en el suelo, la base de datos permitirá almacenar en todo momento los niveles de humedad y temperatura, la conexión entre los dispositivos a usar en el sistema se la pretende realizar de forma alámbrica, debido a que las distancias a las que van a estar ubicados no son grandes.

El presente anteproyecto buscará obtener un sistema de control de nebulización y riego de bajo costo, con único fin de que pueda ser replicado en las comunidades aledañas, permitiendo a los agricultores de la zona disponer de una tecnología que les facilite la clonación de especies forestales.

OBJETIVOS

Objetivos generales

- Implementar un Sistema automatizado de nebulización y riego para la clonación de especies forestales en la estación experimental INIAP Santo Domingo.

Objetivos específicos

- Investigar y analizar características de funcionamiento y operación de los invernaderos usados para clonación de especies forestales.
- Seleccionar los dispositivos y equipos idóneos para la automatización del sistema.
- Integrar en el invernadero los sensores de humedad y temperatura acondicionados además de los actuadores.
- Diseñar una interfaz hombre máquina para el control y monitoreo de los parámetros que intervienen en el invernadero.
- Realizar pruebas de funcionamiento, analizar y comparar los resultados obtenidos.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. INIAP

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias fue creado en 1959 y tiene la misión de: investigar, desarrollar tecnologías, generar procesos de innovación y transferencia tecnológica en el sector agropecuario, agroindustrial y de forestación comercial, para contribuir al desarrollo sostenible del Ecuador mediante la aplicación de la ciencia (www.iniap.gob.ec).

Cuenta con 7 estaciones experimentales distribuidas en las diversas zonas del país como son: Austro, Central de la Amazonía, Litoral del Sur, Portoviejo, Santa Catalina, Santo Domingo y Tropical Pichilingue. El presente proyecto es desarrollado en la estación experimental de Santo Domingo, la misma que se muestra en la **Figura 1-1**.



Figura 1-1: Estación Experimental INIAP Santo Domingo

Fuente: tecnologia.iniap.gob.ec

En un principio la estación de Santo Domingo se encarga de las investigaciones sobre la palma africana; hoy en día realizan investigaciones en el cultivo de caucho, maracuyá, cacao fino de aroma, oferta de plantas y semillas de palma africana y de cacao.

1.2. Invernaderos

El invernadero es una construcción agrícola de estructura metálica, usada para el cultivo y/o protección de plantas, con cubierta plástica translúcida que no permite el paso de la lluvia al

interior, por ende tienen la capacidad de generar condiciones de temperatura y humedad ideales para cultivar plantas durante el invierno, o en lugares donde las condiciones climáticas son muy adversas, con cierta independencia del medio exterior y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en el interior (Olguin, 2010).

En la **Figura 2-1**. Se puede visualizar las camas del Invernadero de la estación experimental INIAP Santo Domingo.



Figura 2-1: Invernadero de estación experimental del INIAP
Realizado por: ZAMBRANO, XAVIER, 2017

El invernadero donde se realiza el proyecto está compuesto por 2 camas, en donde se cultivan plantas de caucho, teca, balsa, canelo y roble; en dos de las camas se aplicará el proceso automatizado. La medida de las camas es de 1.20 m de ancho por 6 m de largo.

1.2.1. Clonación de especies forestales

La clonación o propagación asexual es la reproducción vegetativa en la que no intervienen los órganos reproductivos de la planta. En la actualidad la clonación de especies forestales ha tenido un impacto significativo entre las técnicas de reproducción vegetativas, la misma que se fundamenta en la propiedad “totipotencia” de las plantas, la cual es la capacidad vegetal para reproducir un organismo idéntico a partir de la información genética contenida en sus células. Los principales sistemas de propagación vegetativa son injertos, acodos y estacas; que pueden ser del tallo, hoja, raíz para posteriormente obtener una nueva planta (García, 2008).

La clonación de especies forestales es una técnica que permite reproducir árboles con el fin de conservar sus características particulares y multiplicarlas. Entre las características importantes a

conservar se tienen: calidad de la madera, rapidez de crecimiento, adaptabilidad y crecimiento en diversos suelos, resistencia a las enfermedades, entre otras.

Para realizar una propagación clonal exitosa se debe por lo menos, contar con las siguientes condiciones.

- Reducción en la actividad fotosintética, es decir que las estacas no deben estar expuestas a la radiación directa del sol.
- Tener una humedad relativa mayor al 80% con lo que se reduce el estrés hídrico
- Mantener una temperatura ambiente no mayor a 35 grados centígrados.

La etapa de clonación se divide en dos fases, la primera consiste en mantener una humedad relativa alta en el ambiente y una temperatura inferior a 35 grados centígrados, y la segunda se enfoca en mantener una humedad alta en el sustrato (Aldana, 2014, p. 5-7).

1.2.1.1. Humedad relativa

La humedad relativa se encarga de medir la cantidad de agua en forma de vapor en el medio ambiente; al ser comparada con la cantidad de agua que es mantenida a cierta temperatura. Por ejemplo cuando el aire húmedo entra en contacto con el aire más fresco, o un aire más frío, el vapor de agua se convertirá en gotas de agua, o lo que comúnmente se conoce como punto de rocío.

La Humedad relativa es medida por medio del higrómetro y es importante para determinar el desarrollo de las nubes y el factor precipitación. La definición matemática de la humedad relativa viene dado por la **Ecuación 1-1**:

Ecuación 1-1: Definición matemática de la Humedad relativa

$$\mathbf{HR} = 100 * E (Td) / E (T)$$

En donde:

RH = humedad relativa [%];

E (Td) = presión de vapor saturado en el punto de rocío Td (g/(m³));

E (T) = presión de vapor de saturación a la (real) temperatura del aire T (g/(m³)).

1.2.1.2. Temperatura

La temperatura es una magnitud física que mide la cantidad de calor en un cuerpo, objeto o ambiente determinado. En un invernadero el control de la temperatura es de vital importancia, ya que influirá directamente en el desarrollo de los cultivos. La temperatura es medida mediante el termómetro.

1.2.1.3. Etapas de la clonación

Las etapas de clonación de especies forestales en la estación experimental del INIAP en Santo Domingo está dividida en cinco partes, a continuación se describe cada una de ellas:

- Obtención de ramas juveniles que presenten yemas en estado inicial de desarrollo. Estas estacas se pueden obtener del rebrote del árbol que se quiere propagar previo tronchado o de rameros especialmente creados y manejados para obtener estacas juveniles.
- Acondicionamiento de las estacas. Consiste en formar una estaca de aproximadamente 10 cm con la base cortada en bisel y con dos hojas apicales cortadas a la mitad.
- Aplicación de hormonas de enraizamiento: se aplica ácido indol butírico al 1 %, a la base de la estaca de manera que quede cubierta por una fina película.
- Instalación de la estaca en un sustrato adecuado, en condiciones de alta humedad y temperatura no mayor a 35 grados centígrados.
- Observación periódica del estado de la estaca, hasta verificar su buen enraizamiento.

1.2.2. Sistema de Nebulización

Un Sistema de Nebulización es un conjunto de tuberías con boquillas que proyectan una neblina. Las boquillas suministran agua o fertilizante, favoreciendo a disminuir la temperatura y elevando el nivel de humedad relativa en el invernadero. Los sistemas de riego por nebulización, son considerados los más indicados para la germinación de plantas.

Existen dos clases de instalación: la primera que consta de tuberías y aparatos nebulizadores a nivel del suelo y la segunda en la parte superior del invernadero (Lozar, 1989, p. 27).

De acuerdo a la instalación, los aparatos empleados en un sistema de nebulización, se pueden dividir en 6 grupos:

- **Tobera de lluvia fina:** Utilizadas en el riego nebulizante tanto por arriba o por abajo.
- **Tobera reverberante:** se utiliza para el riego por debajo; el chorro de agua sale horizontalmente y muy pulverizado.
- **Tobera especial:** empleada para el riego por arriba y para mejorar la humedad relativa.
- **Tobera con deflector de chorro:** produce gran cantidad de niebla de agua, distribuye agua muy finamente.
- **Tobera de plástico RS:** diseñada para riegos cerca del suelo y con agua calcárea; puesto que el plástico está diseñado contra la cal del agua.
- **Tobera de plástico MIST:** empleada en el riego circular y su nebulización permite el riego de flores cortadas.

1.2.2.1. Sistema Fog System

El Fog-System es un sistema de humidificación por niebla artificial que mantiene la humedad relativa muy cercana al conocido punto de rocío en el ambiente. El sistema Fog System en un invernadero permite reducir a niveles mínimos la transpiración de las plantas y por ende en su arraigo, es decir en su enraizamiento (Payeras, 2017).

Su funcionamiento consiste en microscópicas gotitas que se generan, las mismas que consumirán calorías al evaporarse, bajando así la temperatura ambiental. Es utilizado para enfriar el ambiente en épocas de calor, incluso en exteriores (Payeras, 2017).

Fog-System cuenta con dos tipos de instalaciones, a continuación se describen:

- La primera se basa en la utilización de agua a gran presión que va de 440-880 psi, la misma que al salir por las boquillas, queda nebulizada.

En la **Figura 3-1:** se observa una Boquilla nebulizadora alta presión

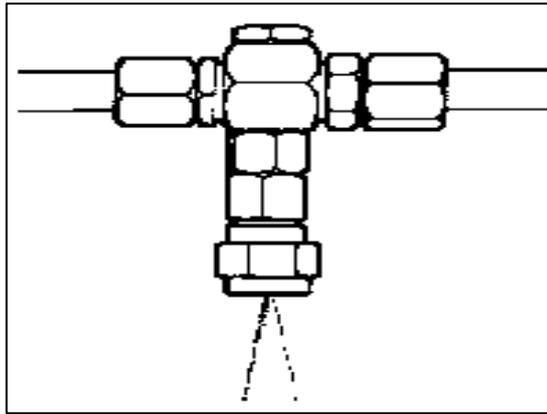


Figura 3-1: Boquilla nebulizadora alta presión

Fuente: <http://www.bonsaimenorca.com/articulos>

- El segundo sistema utiliza una combinación de aire a presión y agua, va montado en dos boquillas opuestas, una de aire y otra de agua, al abrirse las válvulas provoca el choque de los dos fluidos y hace que el agua se nebulice completamente. Este sistema cuenta con una pequeña cámara, la cual mezcla el aire con el agua, de esta forma por el orificio de la boquilla se expulsa niebla.

En la **Figura 4-1:** se puede observar las boquillas de aire-agua con cámara previa de mezclado; (a) simple y (b) doble.

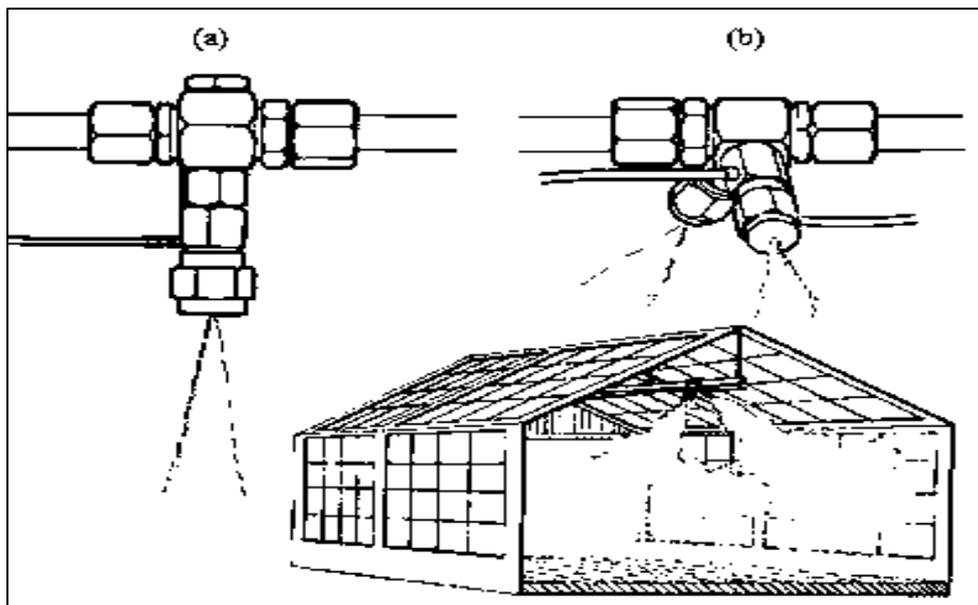


Figura 4-1: Boquilla de aire-agua con cámara previa de mezclado (a) simple y (b) doble

Fuente: <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos>

1.2.2.2. *Sistema Mist System*

El sistema Mist-System está destinado exclusivamente al enraizamiento de partes de plantas madres, como son tallos o ramas; dichas partes son plantadas en sustratos ricos en materia orgánica para que así produzca sus propias raíces y dé una nueva planta igual que la planta madre. En este sistema el agua no queda demasiado pulverizada, lo que permite reducir la presión de trabajo.

El funcionamiento de este sistema está basado en pulverizaciones de agua sobre las hojas, con ello se forma una capa uniforme y fina de agua sobre ellas, para posteriormente evaporarse y hacer que la presión del vapor sea inferior a la exterior evitándose de este modo la transpiración, pero conservando intactas todas las demás funciones biológicas (Payeras, 2017); por ello, se hace indispensable un control exacto de la frecuencia de las pulverizaciones, su presión de trabajo oscila entre los 50 - 120 psi.

El más habitual es la combinación de dos temporizadores, uno de frecuencia de riego y otro de duración del mismo. De modo que se pueda programar, por ejemplo, un disparo del sistema cada cinco minutos con una duración de diez segundos.

El causante del funcionamiento incorrecto del sistema puede ser la diferencia de radiación del día a la noche, o de estar nublado a estar soleado, también habrá diferencia de temperaturas de un día a otro, o diferencias en la humedad relativa del aire (Payeras, 2017).

1.3. Sistemas de Automatización para la Nebulización y Riego

Un sistema de riego por nebulización, consiste en un sistema mediante el cual las gotas de agua salen pulverizadas; convirtiéndose en neblina. La evaporación de estas gotas, permiten que el ambiente se encuentre fresco. El proceso descrito en la mayoría de invernaderos de clonación de especies vegetales se lo realiza de forma manual; es decir el operario debe accionar las llaves para que posteriormente se cumpla el proceso.

Hoy en día la automatización de estos procesos permite obtener mejores resultados en la clonación de especies forestales. Con dichos sistemas de automatización es posible controlar el caudal y tamaño de las gotas, de acuerdo a las necesidades de las estacas a clonar.

Existen diversos apartados a tomar en cuenta al momento de automatizar un sistema de nebulización y riego, como son:

- Interfaz Hombre- máquina.
- Sistema Hidráulico.
- Sistema Eléctrico.
- Sistema Electrónico.
- Controladores del sistema de automatización.

1.4. Interfaz Hombre-Máquina

La interfaz Hombre-Máquina o también conocido como HMI, permite la interacción entre el ser humano y la máquina. Facilita la supervisión y monitoreo de un proceso; así como también el control de las variables a ser medidas en un proceso, en el presente proyecto se manipulará las variables de humedad y temperatura.

Existe un sinnúmero de HMI como por ejemplo: las interfaces gráficas de usuario, interfaces basadas en Web, multi pantalla, pantallas táctiles, entre otros.

Las pantallas táctiles aceptan una entrada a través del tacto de los dedos o un lápiz, es utilizada en procesos industriales, máquinas de autoservicios. Este tipo de HMI fue seleccionado para el proyecto a implementar.

1.4.1. LCD Nextion 3.2

La pantalla inteligente táctil LCD 3.2" Nextion NX4024T032 proporciona una interfaz de control y visualización muy amigable con el usuario. Utiliza un único puerto serie para hacer la comunicación, por lo que evita el cableado. Su conexión es generalmente sencilla.

NX3224T032 es una potente HMI de 3.2", que es miembro de la familia Nextion. Las características incluyen: 3.2" TFT 400x240 pantalla táctil resistiva, 4M Flash, 2KByte RAM, 65k colores (www.itead.c).

En la **Figura 5-1:** se ilustra la pantalla HMI Nextion LCD Touch Display Module, utilizada en el presente proyecto y está ubicado en la parte frontal del tablero de control, permite observar el valor de humedad y temperatura en el invernadero

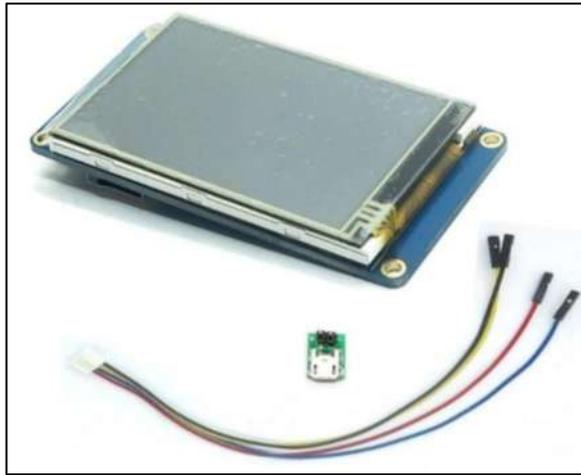


Figura 5-1: Pantalla LCD Nextion 3.2

Fuente: www.itead.cc

En la **Tabla 1-1:** se describen las principales características de la pantalla HMI Nextion LCD Touch Display Modulo en base a la hoja de especificaciones visualizadas en el **ANEXO A** empleado en el presente proyecto de titulación.

Tabla 1-1: Características de la pantalla HMI Nextion LCD Touch Display Module.

Características	Especificaciones
Resolución	400x240
Área visual	69.9 mm x 76 mm
Brillo Ajustable	0 a 230 nit
Voltaje de operación	5 V
Consumo de corriente	85 mA
Interfaz de pantalla	Serial
Tipo de pantalla	Táctil
Compatibilidad con placas de programación	Arduino, Raspberry Pi
Ranura para tarjeta micro-SD	Si
Software propio	Si

Fuente: Hoja de especificaciones de la pantalla HMI Nextion LCD Touch Display Module.

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

Además la pantalla LCD Nextion cuenta con su propio software denominado “Editor de Nextion” en el cual se realiza la programación necesaria para un proceso en particular.

El editor de Nextion tiene componentes u objetos que son: botón, texto, barra de progreso, control deslizante, panel de instrumentos etc. para enriquecer el diseño de la interfaz. También tiene incorporada la función para arrastrar y soltar y de esta manera reducir el tiempo en la

programación. El editor presenta tres entornos de programación, a continuación se describe cada uno:

- **WYSIWYG:** Simplemente se debe colocar en la pantalla los objetos y el código se escribe automáticamente.
- **ON-line simulator:** Permite diseñar sin una pantalla en la mano. Mediante el uso de un MCU externo para controlar la pantalla simulada también.
- **FFF:** Es el software libre de Función Completa, mediante el cual los usuarios pueden utilizar el Editor libremente, full-funciones sin ningún cargo adicional.

En la **Figura 6-1:** se observa la Pantalla de inicio de Nextion Editor

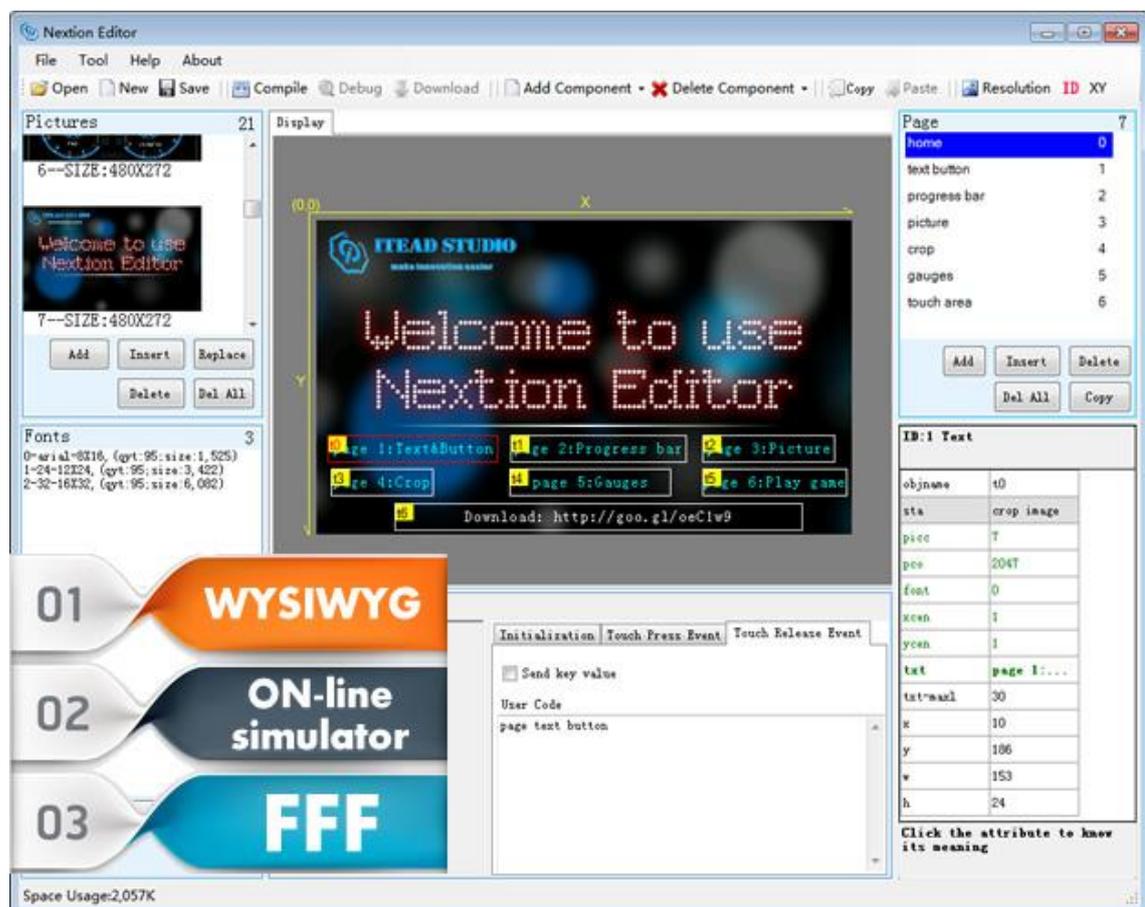


Figura 6-1: Pantalla de inicio de Nextion Editor

Fuente: www.itead.cc/

1.5. Actuadores

Los actuadores son dispositivos que proporcionan una fuerza para mover un elemento acoplado a ellos. Los actuadores eléctricos presentan grandes ventajas, como por ejemplo: brindan un posicionamiento fijo, generan fuerza rápidamente, entre otras. Los actuadores utilizados en el presente proyecto son: Bomba hidráulica, módulo de relés, electroválvula y contactores.

1.5.1. Bomba hidráulica

La bomba hidráulica convierte primeramente la energía eléctrica en energía mecánica, y posteriormente esta se transforma en energía hidráulica. Posee un motor que al ser alimentado por energía genera un caudal y una determinada fuerza en la salida. Se las encuentran en diferentes tipos de construcción, basadas en la fuerza degenerada de presión o la teoría de bombeo.

Existen algunos parámetros que se deben tomar en cuenta al momento de seleccionar una bomba hidráulica, como son:

- Presión máxima de trabajo
- Rendimiento de la bomba
- Precisión y seguridad de operación
- Fácil mantenimiento
- Flujo máximo
- Control requerido en la fase de arranque

En la **Figura 7-1:** se observa la Bomba hidráulica Modelo HIDR-1/2X24 empleada en el proyecto.



Figura 7-1: Bomba hidráulica Truper modelo HIDR

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En la **Tabla 2-1**: se describen las Especificaciones de la bomba hidráulica, en base a la hoja de especificaciones visualizadas en el **ANEXO B**.

Tabla 2-1: Especificaciones de la bomba hidráulica Truper modelo HIDR

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Voltaje de operación	120 V
Frecuencia	60 HZ
Velocidad	3450r/min
Flujo máximo	50L/min
Profundidad máxima	Varios dispositivos y cargas
Diámetro de entrada y salida	1NPT / 1 NPT

Fuente: Hoja de especificaciones de la bomba hidráulica Truper

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

1.5.2. *Electroválvula*

Una electroválvula también conocida como válvula solenoide de uso general es una válvula que abre o cierra el paso de un líquido en un circuito. La apertura y cierre de la válvula se efectúa a través de un campo magnético generado por una bobina en una base fija que atrae el émbolo (ALTEC, 2015).

Las electroválvulas pueden ser: de 2 vías ya que poseen una entrada y una salida o de 3 vías ya que cuentan con una entrada, una salida y un escape. Además la electroválvula puede ser normalmente cerrada NC o normalmente abierta NO.

En la **Figura 8-1**: se aprecia la Electroválvula de 110-120 v AC 50-60 HZ utilizada para aspersión de agua en el sistema automatizado.



Figura 8-1: Electroválvula de 110-120 v AC 50-60 HZ

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

Existen tres tipos de electroválvulas:

- **Acción directa:** en este tipo de electroválvulas el flujo electromagnético actúa directamente en el émbolo que cierra o abre el orificio permitiendo que el líquido pase o se detenga.
- **Acción indirecta:** Cuando se energiza la bobina el movimiento del émbolo causa la apertura del orificio de piloto y descarga el compartimiento superior del diafragma: el desequilibrio de la presión mueve el diafragma que abre el orificio principal.
- **Acción mixta:** la abertura del orificio principal es efectuada por el desequilibrio de presiones entre el cuerpo superior y el inferior combinando con la acción directa del émbolo que está fijo al diafragma mediante un resorte.

1.5.3. *Módulo de relés*

El módulo de relés es una tarjeta que contiene relés optoacoplados; con 8 canales que son controlados de forma remota por una entrada TTL, que a su vez es controlada por una placa como Arduino, microcontrolador, Raspberry PI; en el proyecto será controlado por la placa Arduino Mega 2560.

En la **Figura 9-1:** se puede apreciar el Modulo de relés de ocho canales empleado para el control de las electroválvulas y contactores.

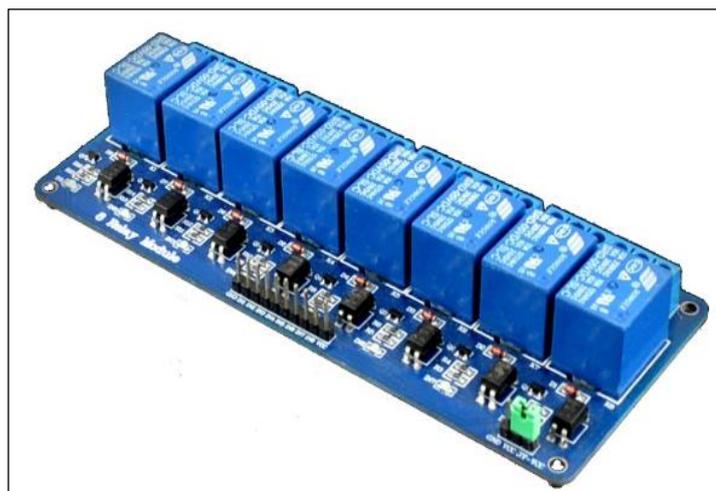


Figura 9-1: Módulo de relés de 8 canales

Fuente: forum.arduino.cc

En la **Tabla 3-1**: se enlistan las especificaciones eléctricas del módulo de relés de 8 canales utilizado en el proyecto.

Tabla 3-1: Especificaciones eléctricas del Módulo de Relés de 8 canales

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Voltaje de operación	250VAC/ 30VDC
Voltaje de la bobina	5 V
Corriente de operación	10 A
Corriente activación por relé	15 mA ~ 20 mA
Control	Varios dispositivos y cargas
Número de relés	8 relés de 1 polo 2 tiros

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

1.5.4. Contactor

El contactor es un dispositivo eléctrico que está formado por una bobina y un juego de contactos que pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados, su función es similar a la de un interruptor, es decir permite o no el paso del flujo de corriente en un circuito.

Su funcionamiento está basado en un electroimán que acciona los contactos; abriendo los cerrados y cerrando los abiertos, una vez que la bobina no recibe corriente los contactos vuelven a su estado inicial.

Para el presente proyecto se utiliza el contactor de CA de la serie CJX2-09 pues trabajan a una frecuencia de 60Hz. Se utiliza principalmente para cortar el flujo de corriente en el circuito eléctrico que controla la bomba hidroneumática. El producto cumple con la norma IEC60947-4-1 estándar.

En la **Figura 10-1**: se observa el contactor CJX2-09



Figura 10-1: Contactor

Fuente: <http://www.chint.net/uploads/files/2011060216082124.pdf>

El contactor empleado se encuentra dentro del tablero de control, su función es la activación-desactivación de la bomba hidroneumática.

En la **Tabla 4-1:** se muestra los parámetros eléctricos del contactor CJX1-9, basados en su hoja de especificaciones que se muestran en el **ANEXO C.**

Tabla 4-1: Parámetros eléctricos del contactor CJX1-9

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Tensión nominal de la bobina	4AC 110V 60 HZ
Corriente asignada	9A
Corriente por fase bipolar	3 A
Numero de contacto	3P, 2NC, 2NO
Tensión de aislamiento (UI)	660V
Corriente térmica (Ith)	20A
Corriente térmica del contacto auxiliar (A)	10A
Consumo de la bobina (VA)	110 VAC

Fuente: Hoja de especificaciones del Contactor CJX1-09

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

1.5.5. *Relé Térmico*

El relé térmico es un dispositivo eléctrico, principalmente usado para la protección de motores contra sobrecarga que pueden ser en periodos cortos o largos de tiempo, entre sus características principales se encuentra la desactivación del equipo por un sobrecalentamiento en los conductores producido por un incremento en su corriente nominal.

Estos dispositivos se los puede dividir de acuerdo a su clase de disparo, lo que es de suma importancia ya que los motores eléctricos, para vencer la inercia y alcanzar su velocidad nominal necesitan una corriente que oscila entre 5-7 veces su corriente nominal.

Clase 10: Para corrientes de arranque con una duración menor a 10 segundos.

Clase 20: Para corrientes de arranque con una duración menor a 20 segundos.

Clase 30: Para corrientes de arranque con una duración menor a 30 segundos.

Para la protección de la bomba hidroneumática se usó el relé térmico de CA de la serie NR2-25 mostrado en la **Figura 11-1**: viene incorporado con dos contactos auxiliares uno NC y NO para realizar control en caso de fallas. El producto cumple con la norma IEC 947-4-1-1 estándar.



Figura 11-1: Relé térmico NR2-25

Fuente: www.expertelectrical.co

En la **Tabla 4-1**: se muestra los parámetros eléctricos del relé térmico, basados en su hoja de especificaciones que se muestran en el ANEXO D.

Tabla 5-1: Parámetros eléctricos del relé térmico NR2-25

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Corriente asignada	5.5-8 ^a
Numero de contacto	3P, 2NC, 2NO
Tensión de aislamiento (UI)	660V
Corriente térmica (Ith)	20A
Corriente térmica del contacto auxiliar (A)	10A

Fuente: Hoja de especificaciones del relé térmico NR2-25

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

1.6. Módulo SD CARD V 1.0

El módulo SD CARD V1.0 es un lector de tarjetas micro SD que cuenta con una interfaz serial periférica (SPI) mediante el controlador de sistema de archivos, para leer y escribir archivos en la tarjeta microSD. El IDE de Arduino cuenta con una librería que permite el control de dicho módulo.

En la **Figura 12-1:** se muestra el Módulo SD CARD V 1.0

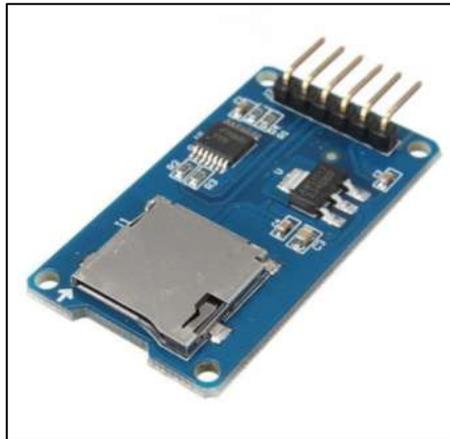


Figura 12-1: Módulo SD CARD V 1.0

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

A continuación se describen las características del módulo SD CARD V1.0:

- Voltaje de alimentación: 4.6 V a 6 V
- Módulo para conectar tarjetas de memoria Micro SD
- Soporta tarjetas Micro SD hasta de 2 GB y Micro SDHC hasta de 32 GB
- Acceso a los pines SPI: MOSI, SCK, MISO y CS
- Tiene incorporado regulador de voltaje de 3.3 V y componentes pasivos necesarios
- Cuenta con un convertidor de niveles lógicos que operan con sistemas de 5 V y de 3.3 V directamente

1.7. Módulo RTC DS 1032

El módulo RTC DS 1032 es un reloj en tiempo real, cuenta con un cristal oscilador compensado por temperatura que ayuda a mantener la precisión del reloj en ± 2 minutos por año en temperaturas con rango de -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$.

Proporciona información de segundos, minutos, horas, día de la semana, día del mes, mes y año, además se ajusta automáticamente a los meses con menos de 31 días y a los años bisiestos, toda la información es válida hasta el año 2099 (<http://bot-boss.com/tutorial-arduino-manejo-de-rtc-ds3231/>).

El reloj puede operar en formato de 24 o 12 horas con indicador AM/PM, incluye dos alarmas programables y una señal cuadrada programable.

El módulo RTC emplea una interfaz I2C para comunicarse con un microcontrolador, en este caso la placa Arduino Mega. En la **Figura 13-1:** se muestra el Modulo RTC DS103 empleado en el presente proyecto.

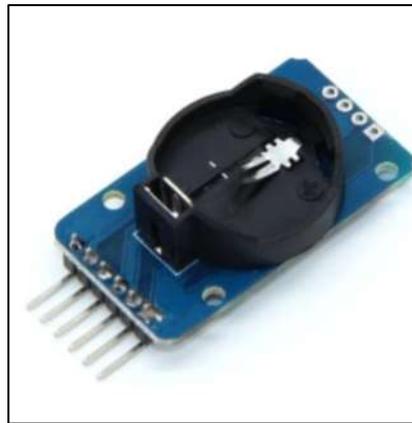


Figura 13-1: Módulo RTC DS103

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

A continuación se describen las características del módulo RTC DS 1032:

- Voltaje de operación: 2V a 5.5V
- Consume 300 nA a 2V
- Rango de temperatura de trabajo: -40°C a +85°C

1.8. Dispositivos sensoriales

Los dispositivos sensoriales son los encargados de captar las magnitudes físicas del medio ambiente como son: humedad, temperatura, distancia, presencia y posteriormente las transforman en señales eléctricas, ya sea de voltaje o corriente. Para el presente proyecto se utilizó el sensor DHT22 que mide la humedad y temperatura y el sensor de humedad de suelo FC-28, en el siguiente apartado se explica el funcionamiento de cada uno.

1.8.1. *Sensor de humedad de suelo FC-28*

El sensor FC-28 consiste en dos placas separadas entre sí por una distancia determinada que mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad. El FC-28 se distribuye con una placa de medición estándar que permite obtener la medición como valor analógico o como una salida digital, activada cuando la humedad supera un cierto umbral.

Los valores que mide el sensor van desde 0 si está sumergido en agua, a 1023 si se encuentra en el aire o en un suelo muy seco. Cuando el suelo es parcialmente húmedo el sensor entrega valores de 600-700.; mientras que para un suelo seco se tendrá valores de 800-1023. El valor concreto dependerá del tipo de suelo y la presencia de elementos químicos, como fertilizantes (www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/).

Su funcionamiento se basa en las placas que están recubiertas de una capa de material conductor. Si existe humedad en el suelo se creará un puente entre una punta y otra, lo que será detectado por un circuito de control con un amplificador operacional LM393 que transforma la conductividad registrada a un valor analógico que es leído por una placa de programación, en este proyecto la placa será el Arduino Mega 2560 (<http://www.uconnectme.com>).

Las características eléctricas que presenta el sensor FC-28 se describen a continuación:

- Su voltaje de operación va de 3.3V a 5V
- La sensibilidad puede ser ajustada mediante un potenciómetro digital.
- Cuenta con el comparador con chip LM393
- Posee un pin de salida digital que dispara una señal a una determinada humedad del sensor previamente ajustada por el potenciómetro.
- Posee un pin de salida analógica que cambia la tensión en función de la cantidad de humedad registrada.

En la **Figura 14-1:** se muestra el sensor FC-28 utilizado en el sistema automático de riego para detectar cuando es necesario activar el sistema de bombeo.

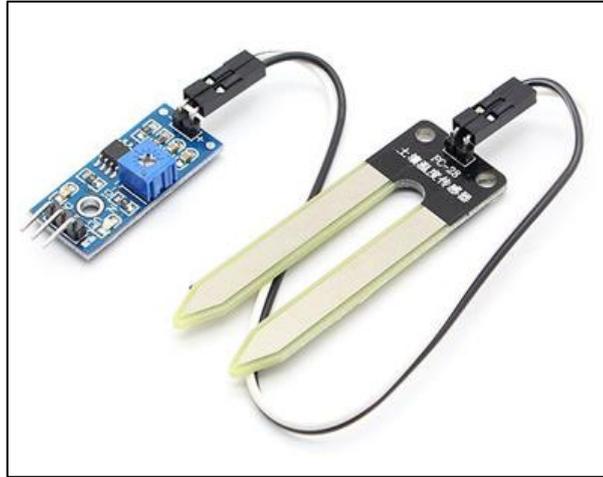


Figura 14-1: Sensor de humedad de suelo FC-28

Fuente: www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/

1.8.2. *Sensor de temperatura y humedad DHT22*

El DHT22 es un sensor digital de temperatura y humedad. Esta formado por un sensor capacitivo que se encarga de medir la humedad y un termistor para detectar la temperatura en el aire, consiguiendo muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos. El sensor se actualiza los datos cada 2 segundos (García, 2014).

Cabe mencionar que el IDE de Arduino cuenta con una librería para el control de dicho sensor; lo que facilita la ejecución del presente proyecto. Las principales características que presenta el sensor DHT22 se describen a continuación:

- **Alimentación:** $3.3V_{dc} \leq V_{cc} \leq 6V_{dc}$
- **Suministro de Corriente:** $1mA \leq mA \leq 1.5mA$
- **Señal de salida:** Digital
- **Resolución Temperatura:** $0.1^{\circ}C$
- **Tiempo de sensado:** 2s

En la **Figura 15-1:** se puede observar el Sensor de temperatura y humedad DHT22 empleado para captar la temperatura y humedad del invernadero en el proceso de clonación.

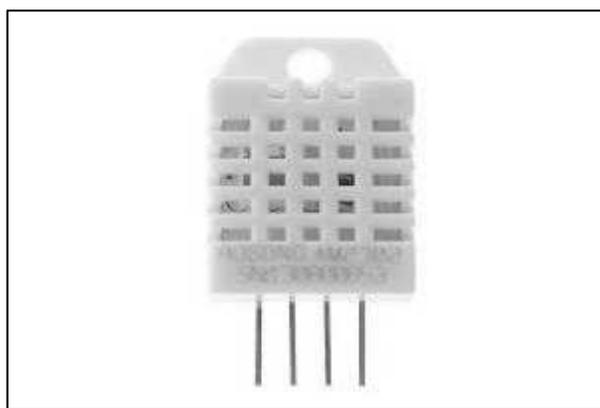


Figura 15-1: Sensor DHT22

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En la **Tabla 6-1**: se describen las características de medición tanto de temperatura como de humedad relativa del sensor DHT22 basada a la hoja de especificaciones del **ANEXO B**:

Tabla 6-1: Características de medición de temperatura y humedad relativa del sensor DHT22

Características respecto a la medición de temperatura		
Nro.	Características	Especificación
1	Rango de medida	-40 °C a 80 °C
2	Precisión	±0.5°C, ±1°C
3	Tiempo de respuesta:	<10 segundos
Características respecto a la medición de humedad relativa		
Nro.	Características	Especificación
1	Rango de valores	0% a 99.9%
2	Precisión	±2%RH, a una temperatura de 25°C.
3	Tiempo de respuesta	<5 segundos

Fuente: Hoja de especificaciones DHT22

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

1.9. Placa Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 es un microcontrolador que está basado en el ATmega2560. Posee una plataforma Open Source tanto en hardware como en software. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida, 16 entradas analógicas, 4 UART, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador ATmega. (www.arduino.org).

En base a lo descrito en el **ANEXO F** de la hoja de especificaciones de la placa Arduino Mega 2560, se detallan sus especificaciones técnicas en la **Tabla 7-1**:

Tabla 7-1: Especificaciones técnicas de la placa Arduino Mega 2560

Nro.	Características	Especificación
1	Microcontrolador	ATmega2560
2	Voltaje Operativo	5V
3	Voltaje de Entrada	7-12V
4	Voltaje de entrada límites	6-20 V
5	Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida	40 mA
6	Corriente DC entregada en el Pin 3.3V	50 mA
7	Memoria Flash, SRAM y EEPROM	256 KB, 4KB y 4KB respectivamente
8	Velocidad de reloj	16 MHz
9	Fusible	Para protección USB

Fuente: www.arduino.cc

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

La placa Arduino Mega 2560 presenta varias ventajas en comparación con otras placas de programación; a continuación se enlistan las principales:

- Permite prolongar el Hardware y su entorno de programación es de código abierto.
- Contiene más pines de entrada/salida en comparación con la placa Arduino Uno
- Trae incorporada más memoria RAM, por lo que es mucho más rápido al momento de enviar respuestas
- Es multiplataforma: funciona en varios sistemas operativos como Windows, Linux, Mac.
- Entorno de programación sencillo ya que está basado en un ambiente Processing y es gráfico.
- Tiene compatibilidad con diversos dispositivos, como son pantallas HMI, sensores digitales y analógicos.

1.9.1. Conectores disponibles de la placa Arduino Mega 2560

La placa Arduino Mega 2560 cuenta con diversos tipos de pines de conexión como por ejemplo conector USB, entradas y salida digital y analógica, puertos de alimentación, entre otros. A continuación se describe las funciones que realizan cada uno de los conectores que conforman la placa.

- **Posee 54 pines digitales** son programados como entradas o salidas con un consumo de 20mA. También pueden ser utilizados como salida PWM 15 de estos pines



Figura 17-1: Cable Arduino Mega 2560 - PC

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

1.9.3. IDE Arduino 1.8.1

IDE de Arduino es un software de código abierto basado en Java que permite el control de los diferentes pines de cualquier placa Arduino mediante líneas de código. Este software es compatible en varios sistemas operativos como son: Windows, Mac OS y Linux. Usa sintaxis de C/C++ que es muy estricta; es decir que llaves, puntos y comas tienen que estar en su sitio o de lo contrario el programa no funciona (www.arduino.org).

La **Figura 18-1:** muestra la pantalla de IDE Arduino versión 1.8.1, que se utilizó para la programación



Figura 18-1: Pantalla IDE de Arduino 1.8.1

Fuente: www.arduino.org

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Para el diseño e implementación del presente trabajo de titulación denominado: Implementación de un Sistema Automatizado de Nebulización y Riego para la Clonación de Especies Forestales en la Estación Experimental INIAP Santo Domingo; se emplearon diversos métodos de investigación.

Previo a la implementación del sistema automatizado se realizó un análisis de las necesidades de la Estación Experimental INIAP, así como también de la información de cada uno de los dispositivos a utilizar; con ello se asegura un sistema robusto y que cumpla con las expectativas de los beneficiarios.

Para realización del diseño del Sistema Hidráulico se utilizó SolidWorks, la programación en el software Arduino IDE y el esquema de los sensores y microcontrolador en el software Fritzing. Se empleó el método que se basa en el uso de reglas y conocimientos empíricos para explorar procedimientos que permitan hallar la solución. Con la ayuda de este método y de la aplicación de las técnicas de programación y diseño aprendidas a lo largo de la carrera se logró realizar la programación que controla las variables tanto de humedad relativa y temperatura del invernadero.

Para obtener los resultados deseados se realizaron pruebas mediante el uso de método experimental. Las pruebas de calibración de los sensores de humedad, temperatura y del sensor de humedad del suelo; con el fin de adaptarlo ambiente del invernadero. También se verificaron que los datos obtenidos en el HMI sean los obtenidos por los sensores.

2.1. Etapas de Diseño e Implementación del Sistema Automatizado

Una vez conocidos los conceptos y características de los elementos a utilizar y programas que facilitan la ejecución del proyecto; se procedió a esquematizar el proceso de Diseño e Implementación del Sistema Automatizado a través de etapas. Seleccionado los equipos y elementos apropiados; el diseño de los sistemas eléctricos, electrónicos; la programación del Arduino y el HMI y la implementación de cada parte del sistema.

En la **Figura 1-2**: se observa las etapas de Diseño e Implementación del Sistema Automatizado de Nebulización y Riego.

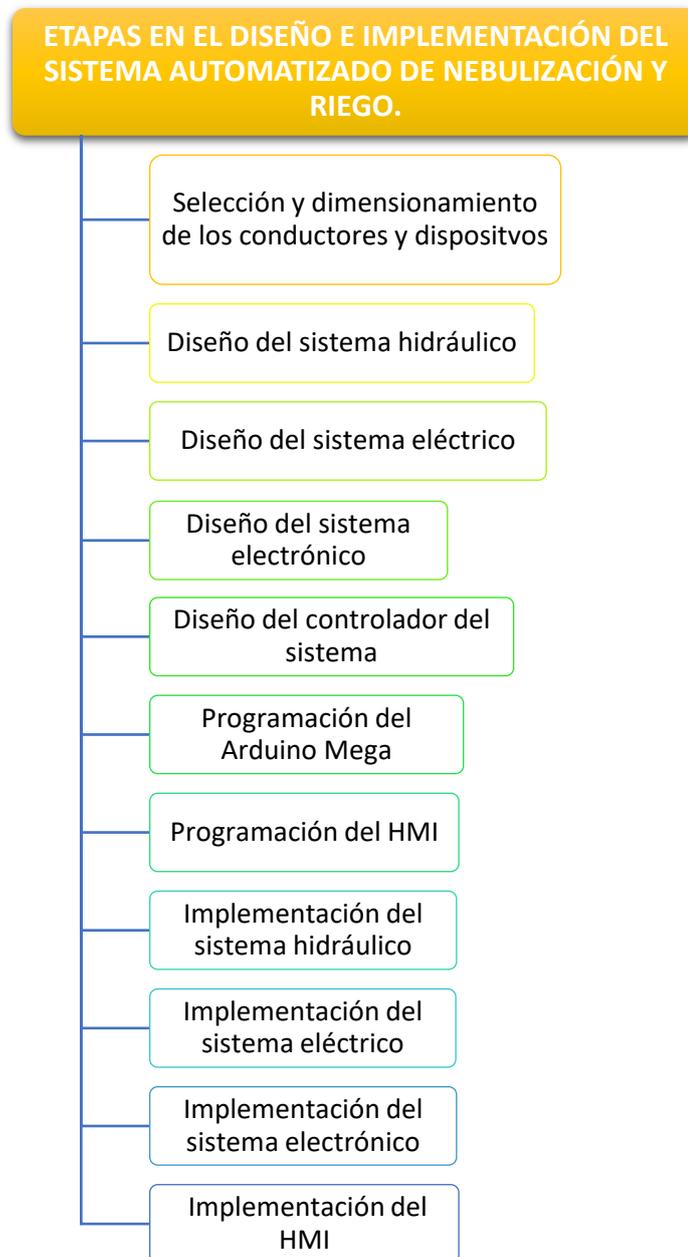


Figura 1-2: Etapas de Diseño e Implementación del Sistema Automatizado de Nebulización y Riego

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.2. Selección y dimensionamiento de dispositivos

En este apartado se explica los parámetros que se tomaron en cuenta para la selección y dimensionamiento de cada elemento empleado en el sistema automatizado; como son las boquillas, elementos de protección y conductores.

2.2.1. Selección de las boquillas

Para la selección de las boquillas se consideró varios aspectos como son: el tamaño de las gotas de agua; pero el más relevante es el tamaño de la planta, ya que a mayor masa foliar la propia planta expulsa por medio de sus hoja humedad relativa al ambiente, por tal motivo es de suma importancia obtener un sistema de nebulización apropiado para los primeros días de la estaca que se va a clonar.

Una vez que la planta entre en la etapa de producción de hojas, la fase de nebulización será desactivada y empezará a funcionar la etapa de riego. Por ello se empleó dos tipos de boquillas; unas para la primera fase de nebulización y otras para la segunda fase de riego, garantizando así una apropiada clonación.

2.2.1.1. Selección de las boquillas de nebulización

Para la selección de las boquillas de nebulización se consideraron tres parámetros importantes, a continuación se describen cada uno:

1.- Tamaño de las gotas de agua: según los expertos para obtener un nivel apropiado de nebulización en el ambiente y que sea óptimo para obtener una propagación clonal adecuada de especies forestales, se deben considerar gotas de agua no mayores a 75 micras.

2.- Presión suministrada por la bomba de agua: Existen dos tipos de nebulizadores los de baja presión (fogger-fog system) y los de alta presión llamados (mist-system), en el primer caso la presión de trabajo oscila entre 50-70 psi y para el segundo entre 440-880 psi. El INIAP tiene a su disposición una bomba de agua hidroneumática que maneja una presión que fluctúa entre los 30-60 psi por tal motivo se ha seleccionado los nebulizadores de baja presión (fogger).

3.- Diámetro que puede cubrir el nebulizador: Las camas están diseñadas para un ancho de 1.2m por esta razón el nebulizador a usarse tiene que cubrir como mínimo un diámetro de 1.5 m.

Basándose en los tres parámetros mencionados se seleccionó el nebulizador CoolNet Pro de la empresa Netafin y que está especialmente diseñado para enfriamiento y humidificación de camas de germinación. A continuación se describen las especificaciones técnicas, basadas en la hoja de datos del **ANEXO D** de la boquilla de nebulización CoolNet Pro:

- **Nebulizador estático, 2 caudales diferentes:** 5.5, 7.5 l/h & una boquilla de conexión
- **Caudal Nominal:** 60 psi
- **Rango de presión:** 50-70 psi
- **Conector de inserción**
- **Ajuste a presión**

La boquilla de nebulización empleada en sistema automatizado se visualiza en la **Figura 2-2:**



Figura 2-2: Boquilla de nebulización CoolNET

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

La **Figura 3-2:** Muestra la ubicación de las boquillas de nebulización con respecto a la cama del invernadero.

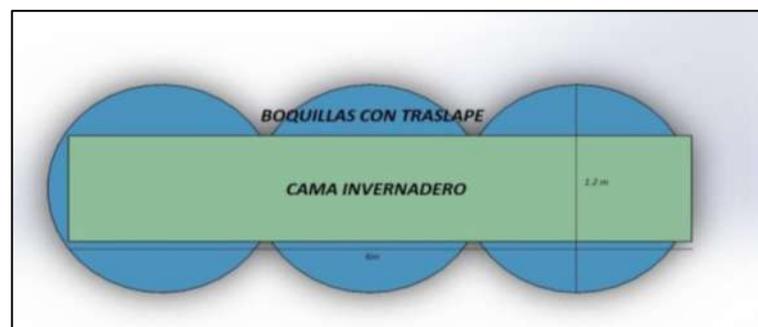


Figura 3-2: Ubicación de las boquillas con traslape

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

Las boquillas CoolNet Pro ofrecen los siguientes beneficios al sistema automatizado:

- Diseño sin puente que elimina el goteo.
- Cuenta con una válvula anti goteo con apertura a 30 psi de presión.
- Cuenta con componentes intercambiables; por lo que ofrece 3 configuraciones que son: boquillas en cruz, boquillas en “T” y boquilla recta.
- El sistema puede limpiarse por medio de la aplicación adecuada de tratamientos de ácido; cabe mencionar que las boquillas están hechas de materiales resistentes al ácido (AA).
- Gotas micrónicas, a una presión relativamente baja de 60 psi. El nebulizador CoolNet distribuye uniformemente un tamaño de gota promedio de 65 micrones.
- Las boquillas están codificadas en colores: 5.5 l/h. verde claro y 7.5 l/h. gris plateado

2.2.1.2. Selección de las boquillas de riego

Para seleccionar este tipo de boquillas se debe considerar que lo más importante en esta etapa es humedecer el sustrato, para humidificar el sustrato las gotas no deben de ser muy gruesas su tamaño debe oscilar entre 180-600 micras, con lo que se garantiza que no se vayan a estropear las hojas de los clones.

A continuación se describen los aspectos relevantes a tomar en cuenta para seleccionar la boquilla adecuada de riego:

1.- Tamaño de las gotas de agua: Se debe considerar gotas de agua no mayores a 600 micras y no menores a 180 micras con esto garantizamos que estas gotas no se evaporan en el ambiente y se dirijan al sustrato.

2.- Presión suministrada por la bomba de agua: El iniap tiene a disposición una bomba de agua hidroneumática que maneja una presión que oscila entre los 30-60 psi por tal motivo los aspersores no deben superar esta presión.

3.- Diámetro que puede cubrir el nebulizador: Las camas están diseñadas para un ancho de 1.2m basándose en esto el aspersor a usarse tiene que por lo menos cubrir un diámetro de 1.5m.

Basándose en estas consideraciones se seleccionó el aspersor T-spray 360 de la marca Senninger, que posee las siguientes características:

Caudales:

- 3.7 – 9.7 L/min

Presiones Operativas:

- 15 - 40 psi

Tamaño de las partículas de agua: Depende de la presión de la bomba de agua a mayor presión más finas serán las gotas. 30 psi aproximadamente 250 micras.

Diámetros de Cobertura:

- 3 – 6 m de altura, diámetro de cobertura 4.7 - 6.7 m
- 5 - 7 m de altura, diámetro de cobertura 5.3 - 7.2 m

Espaciamiento:

- Hasta 2 m

Conexiones:

- 1/2" M NPT

En la **Figura 4-2:** Se observa el aspersor T-spray 360 de la empresa Senninger empleado para el riego de las camas del invernadero.



Figura 4-2: Aspersor T-spray 360

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.2.1.3. *Caídas de presión en la bomba hidroneumática y los nebulizadores*

Con los datos obtenidos de los nebulizadores, además de la longitud de tubería usada se realizó los requerimientos de la bomba hidroneumática mediante una calculadora de Caída de Presión en la Tubería para Agua (Compañía especialista de Vapor).

- Flujo máximo de los nebulizadores: 7.5 l/h
- Cantidad de nebulizadores instalados: 8
- Codos instalados: 16
- Longitud tubería instalada: 40m
- Flujo máximo de la bomba hidroneumática: 300 l/h

De lo cual se obtienen los datos que se muestra en la **Figura 5-2**:

Introducir Datos

Unidades: Slbar

Grado de Tubería: DN 2448

Tamaño de Tubería: DN15

Diámetro Interno Tubería: 17.3 mm

Longitud de la Tubería [?]: 40 m

Válvulas de Flujo Cerradas (ej. Globo) (Cant) [?]: 0

Válvulas de Flujo Instaladas (ej. Comp) (Cant) [?]: 0

Válvulas Check (Cant) [?]: 0

Codos (Cant): 16

Rugosidad Interna de la Tubería [?]: 0.05 mm

Rango de Flujo del Líquido: 300 l/h

Ocultar Opciones Avanzadas

Calcular Limpiar

Resultados

Caída de Presión: 0.0672994 bar

Velocidad del Agua: 0.354517 m/s

Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal: 47.0313 m

Figura 5-2: Caída de presión

Fuente: <http://www.tlv.com>

Esta caída presión es de aproximadamente 1 psi, con lo cual es de 0.025 psi por cada metro de tubería, en cada nebulizador existe una caída de presión de 0.5 psi, dichos datos se muestran en la **Tabla 1-2**:

Tabla 1-2: Caídas de presión

ELEMENTOS	CAÍDA DE PRESIÓN
Caída de presión por tuberías	1 psi
Caída de presión por nebulizadores	4 psi

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En total la caída de presión es de 5 psi, con la cual se asegura una presión en los nebulizadores en un rango de 50-70 psi, garantizando las condiciones óptimas en la nebulización.

2.2.2. Selección y dimensionamiento de los dispositivos de protección

Previo al diseño eléctrico se procedió a realizar el dimensionamiento de los dispositivos de protección como son: breakers y fusibles; considerando la corriente de cada equipo y su potencia.

2.2.2.1. Cálculo de Fusibles y Breakers

La intensidad nominal del fusible de alta tensión, depende de la constante de protección y normalmente está comprendida entre 1.8 y 2.1 veces la intensidad nominal del transformador protegido; por ende el cálculo de la intensidad de corriente de protección al utilizar fusibles se realiza con la **Ecuación 1-2:**

Ecuación 1-2: Ecuación para corriente de protección para fusibles.

$$I_f = k * I_n$$

Dónde:

I_f = Corriente De Protección

K = Constante De Protección (1.8 a 2.1)

I_n = Corriente Nominal

Para realizar la selección del número de breakers y sus características eléctricas, primero se procedió a agrupar los componentes utilizados en cargas. En total se va a instalar 3 fusibles a continuación se detalla el conjunto de elementos que se instaló por cada carga.

- **Carga 1:** En esta carga se instalaron la fuente de 12V para Arduino pantalla HMI y la fuente de 5V para el módulo de relés de 8 canales. En la **Tabla 2-2:** se indican los elementos que se instalaron en el fusible 1

Tabla 2-2:Carga 1

Equipo	Cantidad	Corriente nominal
Fuente 12V arduino-pantalla HMI	1	0.30 A
Fuente 5V módulo de relé de 8 canales	1	0.15 A
Total		0.45 A

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

Una vez realizada la sumatoria de las corrientes nominales de cada elemento instalado en la carga 1; se realizó el cálculo del fusible mediante la **Ecuación 1-2:** con los siguientes datos:

- Voltaje de funcionamiento **V=120 V**
- Corriente Nominal **In= 0.45 A**
- Constante de Protección **k= 1.8**

Cálculos:

$$I_f = k \times I_n$$

$$I_f = 1,8 \times 0,45 = \mathbf{0.81 A}$$

Debido a que en el mercado no se consigue fusible de esa característica se procedió a usar el fusible de **1A**.

- **Carga 2:** La carga dos está conformada por electroválvulas, luces y contactores. En la **Tabla 3-2:** se enlistan los elementos que se instalaron en el fusible 2.

Tabla 3-2: Carga 2

Equipo	Cantidad	Corriente nominal
Electroválvulas	3	0.54 A
Luces	3	0.36 A
Contactores	1	0.10 A
Total		1 A

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

Una vez realizada la sumatoria de las corrientes nominales de los tres elementos instalados en la carga 2; se realizó el cálculo del fusible mediante la **Ecuación 1-2:** con los siguientes datos:

- Voltaje de funcionamiento **V=110 V**
- Corriente Nominal **In=1 A**
- Constante de Protección **k= 1.8**

Cálculos:

$$I_f = k \times I_n$$

$$I_f = 1,8 \times 1 = \mathbf{1.8 A}$$

Debido a que en el mercado no se consigue fusible de 1.8A, se procede a usar el fusible de **3A**.

- **Carga 3:** En la carga 3 se encuentra instalada la bomba hidroneumática. En la **Tabla 4-2:** se observa elemento que se instaló en el fusible 3.

Tabla 4-2:Carga 3

Equipo	Cantidad	Corriente nominal
Bomba hidroneumática	1	6.5 A
Total		6.5 A

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En el caso de la carga 3 la corriente nominal será la corriente total instalada; ya que cuenta con un solo elemento. Se realizó el cálculo del fusible mediante la **Ecuación 1-2:** con los siguientes datos:

- Voltaje de funcionamiento **V=110 V**
- Corriente Nominal **In=6.5 A**
- Sobredimensionamiento **k= 1.25**

Cálculos:

$$I_f = k \times I_n$$

$$I_f = 6.5 * 1.25 = \mathbf{8.125 A}$$

Debido a que en el mercado no se consigue breakers del dimensionamiento calculado; se procedió a utilizar un breaker de **10A**.

Finalmente en la **Tabla 5-2:** se enlistan los valores de los fusibles y breaker empleado en el presente proyecto.

Tabla 5-2:Valores de fusibles instalados

Equipo	Corriente nominal (In)	Corriente (I) de fusibles y breaker instalados
Carga 1	0.45 A	1 A
Carga 2	1 A	3 A
Carga 3	6.5 A	10 A

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.2.3. Dimensionamiento de los Conductores

Una vez conocidas las cargas que se instalarán en el sistema, es necesario realizar el dimensionamiento para cada uno de los conductores. Par lo cual se tuvo en cuenta los siguientes requisitos:

- Sección nominal mínima.
- Capacidad de transporte de conducción de corriente en régimen permanente.
- Caída de tensión.
- Protección contra sobrecarga.
- Protección contra cortocircuito.

Al cumplir con los requisitos mencionados; no se compromete la seguridad, calidad y durabilidad de las conexiones eléctricas del sistema automatizado. Para realizar el dimensionamiento de los conductores a utilizar en la implementación del sistema eléctrico, se calculó la caída de tensión para el circuito monofásico con la **Ecuación 2-2**: teniendo en cuenta que no debe superar el 5%; la misma que viene dada por la siguiente expresión:

Ecuación 2-2: Caída de tensión para un circuito monofásico

$$\Delta V = 2IREL$$

En la **Figura 6-2**: se describe las dimensiones y características según el calibre de los conductores.

DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS												
Calibre	Área sección transversal	Número de alambres	Diámetro nominal conductor	Número de alambres	Diámetro nominal conductor	Espesor del aislamiento nominal	Diámetro total aproximado	Peso teórico	Resistencia eléctrica (CD a 20°C (1))	Ampacidad al aire libre a 38°C (2) amperes		
AWG/LCM	mm²	clase B	mm	clase C	mm	mm	mm	kg/100m	ohm/km	60°C	75°C	90°C
16	1.31	7	1.46	19	1.48	0.76	3.0	2.0	13.40	-	-	18
14	2.08	7	1.85	19	1.87	0.76	3.4	2.9	8.40	20	20	25
12	3.31	7	2.33	19	2.36	0.76	3.9	4.2	5.32	25	25	30
10	5.26	7	2.93	19	2.97	0.76	4.5	6.2	3.34	30	35	40
8	8.37	7	3.70	19	3.75	1.14	5.9	10.4	2.10	40	50	55
6	13.3	7	4.67	19	4.72	1.52	7.6	16.8	1.32	55	65	75
4	21.2	7	5.88	19	5.96	1.52	8.6	25.0	0.83	70	85	95
2	33.6	7	7.42	19	7.51	1.52	10.3	37.8	0.54	95	115	130
1/0	53.5	19	9.47	37	9.50	2.03	13.2	61.0	0.33	125	160	170
2/0	67.4	19	10.63	37	10.66	2.03	14.3	75.0	0.26	145	175	195
3/0	85.0	19	11.94	37	11.97	2.03	15.6	95.0	0.21	165	200	225
4/0	107	19	13.40	37	13.45	2.03	17.0	115	0.16	195	230	260
250	127	37	14.62	61	14.63	2.41	19.0	136	0.14	215	255	290
300	152	37	16.01	61	16.03	2.41	20.3	163	0.12	240	285	320
350	177	37	17.29	61	17.32	2.41	21.6	186	0.10	260	310	350
400	203	37	18.49	61	18.51	2.41	22.7	214	0.09	290	330	380
500	253	37	20.67	61	20.70	2.41	24.8	264	0.07	320	360	430
600	304	61	22.67	91	22.68	2.79	27.6	318	0.06	355	420	475
750	380	61	25.34	91	25.37	2.79	30.2	393	0.05	400	475	535
1000	507	61	29.27	91	29.29	2.79	34.0	517	0.03	455	545	615

Figura 6-2: Tablas para el cálculo del calibre de conductores eléctricos KOBREX

Fuente: <https://iguerrero.files.wordpress.com>

2.2.3.1. Conductor empleado la fuente de 12V de la carga 1

Para el dimensionamiento del conductor utilizado en la fuente que suministra la energía al Microcontrolador-Pantalla HMI de la carga 1, se tomaron los siguientes datos:

- Corriente $I= 0.3 \text{ A}$
- Voltaje de funcionamiento $V= 110 \text{ V}$
- Longitud $L= 3\text{m}$

Cálculos:

Cable Número 16 AWG

Según la **Figura 6-2**:La resistencia del conductor #16 AWG es:

$$13.4 \frac{\Omega}{km}$$

Mediante la **Ecuación 2-2**: se calcula la caída de tensión del conductor #16 AWG

$$\Delta V = 2IREL$$

$$\Delta V = 2(0.3A)(13.4 \frac{\Omega}{km})(3m)$$

$$\Delta V = 0.0243$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0.0243}{120} = \mathbf{0.02025\%}$$

Para seleccionar un conductor de acuerdo a las normas vigentes se recomienda una caída de tensión no superior al 5%, en este caso la caída de tensión es de **0.02025%**

2.2.3.2. Dimensionamiento del conductor para la fuente de 5V de la carga 1

Para el dimensionamiento del conductor utilizado en la fuente que suministra energía al módulo de relés de 8 canales; se tomaron los siguientes datos:

- Corriente $I= 0.15\text{A}$
- Voltaje de funcionamiento $V= 110 \text{ V}$
- Longitud $L= 3\text{m}$

Cálculos:

Según la **Figura 6-2**: para el conductor #16 AWG la resistencia es de:

$$13.4 \frac{\Omega}{km}$$

Se empleó la **Ecuación 2-2**: para calcular a caída de tensión del conductor #16 AWG

$$\Delta V = 2IREL$$

$$\Delta V = 2(0.15A)(13.5 \frac{\Omega}{km})(3m)$$

$$\Delta V = 0.01215$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0.0123}{120} = \mathbf{0.010125\%}$$

Para seleccionar un conductor de acuerdo a las normas vigentes se recomienda una caída de tensión no superior al 5%, en este caso la caída de tensión es de **0.010125%**

2.2.3.3. Dimensionamiento del conductor de la bomba hidroneumática de la carga 3

Para el dimensionamiento del conductor que se utilizó para la fuente de la bomba de agua hidroneumática de la carga 3, se tomaron los siguientes datos:

- Corriente $I= 6.5A$
- Voltaje de funcionamiento $V= 110 V$
- Longitud $L= 8m$

Cálculos:

Cable Número 14

Según la **Figura 6-2**: para el conductor #14 AWG la resistencia es de:

$$8.4 \frac{\Omega}{km}$$

Se utilizó la **Ecuación 2-2**: para calcular a caída de tensión del conductor #14 AWG

$$\Delta V = 2IR_eL$$

$$\Delta V = 2(6.5A)(8.4 \frac{\Omega}{km})(8m)$$

$$\Delta V = 0.8736$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0.8736}{120} = \mathbf{0.728\%}$$

Para seleccionar un conductor de acuerdo a las normas vigentes se recomienda una caída de tensión no superior al 5%, en este caso la caída de tensión es de **0.728%**

2.2.3.4. Dimensionamiento del conductor para la Electroválvula de la carga 2

Para el dimensionamiento del conductor que se utilizó para la conexión entre la electroválvula y la fuente que le suministra energía, se tomaron los siguientes datos:

- Corriente **I= 0.070 A**
- Voltaje de funcionamiento **V= 110 V**
- Longitud **L= 30m**

Cálculos:

Cable Número 16

Según la **Figura 6-2:** para el conductor #16 AWG la resistencia es de:

$$13.4 \frac{\Omega}{km}$$

Utilizamos la **Ecuación 2-2:** para calcular a caída de tensión para el conductor #16 AWG

$$\Delta V = 2IR_eL$$

$$\Delta V = 2(0.070A)(13.4 \frac{\Omega}{km})(30m)$$

$$\Delta V = 0.05628$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0.05628}{120} = \mathbf{0.0469\%}$$

Para seleccionar un conductor de acuerdo a las normas vigentes se recomienda una caída de tensión no superior al 5%, en este caso la caída de tensión es de **0.0469%**

2.2.3.5. *Dimensionamiento del conductor para las luces de la carga 2*

Para el cálculo del conductor que se utilizó para la conexión entre las luces y la fuente de energía se tomaron los siguientes datos:

- Corriente $I= 0.045$ A
- Voltaje de funcionamiento $V= 110$ V
- Longitud $L= 3$ m

Cálculos:

Cable Número 16

Según la figura 2.1 para el conductor #16 AWG la resistencia es de:

$$13.4 \frac{\Omega}{km}$$

Utilizamos la **Ecuación 2-2:** para calcular a caída de tensión para el conductor #16 AWG

$$\Delta V = 2IR_eL$$

$$\Delta V = 2(0.045A)(13.4 \frac{\Omega}{km})(3m)$$

$$\Delta V = 0.003618$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0.003618}{120} = \mathbf{0.003015\%}$$

Para seleccionar un conductor de acuerdo a las normas vigentes se recomienda una caída de tensión no superior al 5%, en este caso la caída de tensión es de **0.003015%**

2.2.3.6. *Conductores empleados en el Sistema Automatizado*

En la **Tabla 6-2:** se muestra el resumen de los conductores utilizados para la conexión entre cada uno de los equipos del sistema automatizado.

Tabla 6-2: Valores obtenidos del dimensionamiento de conductores

Equipo	Corriente	Calibre AWG
Fuente Carga 1	0.3 A	16 AWG
Fuente carga 2	0.15 A	16 AWG
Bomba hidroneumática	6.5 A	14 AWG
Electroválvula	0.070 A	16 AWG
Luces	0.045 A	16 AWG

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.3. Diseño e implementación del Sistema Electrónico

En este apartado se detallan los dispositivos electrónicos que se utilizaron; además del diseño de las placas de circuito impreso. Previo al diseño de las placas se realizó la distribución de los pines de conexión tanto de entrada como de salida de la placa Arduino Mega para cada uno de los dispositivos empleados.

Los esquemas de conexión se realizaron en el software Fritzing que posee herramientas para el diseño PCB y de esquemas. Fritzing ofrece tres entornos de trabajo, a continuación se describe la utilización de cada uno en el presente proyecto:

- **Placa de prototipos o protoboard:** en este modo de trabajo de Fritzing se realizó los diagramas esquemáticos para las conexiones de cada elemento del sistema con la placa Arduino Mega.
- **La vista de esquema:** Una vez realizado los diagramas en el modo Protoboard, el software automáticamente crea el esquema del circuito.
- **Diseño de PCB:** este modo permitió diseñar la placa del circuito impreso para cada una de las conexiones previamente realizadas del circuito.

2.3.1. *Diseño del circuito de distribución de los elementos instalados en el invernadero y tablero de control*

El objetivo de realizar esta placa es la de tener una distribución de los elementos que provienen del invernadero y tablero de control como son las electroválvulas y las luces piloto. Con este

diseño se obtiene un control eficiente de dichos elementos; ya que en el caso de necesitar de mantenimiento se recurrirá a la esta placa.

En la **Figura 7-2**: Se observa el diseño del circuito de distribución de electroválvulas y luces piloto en el software Fritzing, dichos elementos se encuentran instalados dentro del invernadero.



Figura 7-2: Circuito de distribución de electroválvulas y luces piloto

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.3.2. *Diseño del circuito distribuidor y regulador*

Debido a que en la estación experimental INIAP de Santo Domingo las condiciones de la energía eléctrica no son óptimas, pues no cuentan con un sistema que permita corregir los problemas causados por los armónicos; se optó por utilizar una fuente de alimentación conmutada de 12V, con el fin de mitigar los efectos del ruido.

El circuito eléctrico del sistema automatizado posee cargas inductivas que generan un pico de corriente muy alto en el momento de la activación, causando el reseteo de la placa Arduino Mega; por este motivo se recurrió a utilizar una fuente independiente para su alimentación.

La fuente conmutada de 12V suministra un voltaje estable a la placa Arduino Mega, la pantalla LCD HMI Nextion 3.2, el módulo SD-CARD, el reloj RTC, el sensor DHT22 y el módulo de relés.

En la **Figura 8-2**: Se muestra el circuito de las fuentes de alimentación de 12V y 5V diseñado en el Modo Esquema del software Fritzing.

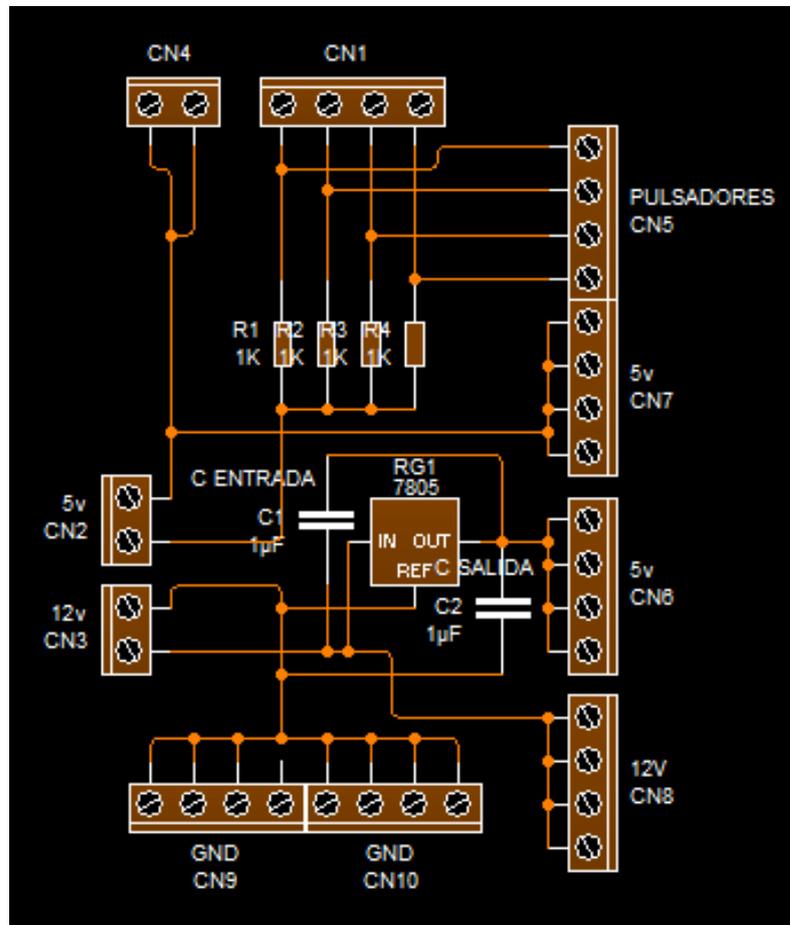


Figura 8-2: Diagrama del circuito de las fuentes de alimentación

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

Como se puede observar para el regulador de voltaje de 5V en su entrada se encuentra conectado un capacitor que reduce al mínimo el rizado existente, para que de esta forma el voltaje rectificado sea lo más lineal posible; con ello evitaremos posibles problemas en la pantalla HMI.

2.3.3. *Conexión de la pantalla LDC Nextion 3.2*

La pantalla LDC Nextion 3.2 está conectada al puerto serial 1 de la placa Arduino Mega. La alimentación proviene de la placa de la fuente de alimentación de 12V. Cabe mencionar que dicha conexión se realizó debido a que la pantalla LCD Nextion tiene un consumo elevado de corriente y estaba saturando al regulador del Arduino Mega, que en base a su hoja de datos este componente solo soporta 500mA.

En la **Tabla 7-2:** se muestra las señales de la pantalla LCD Nextion con respecto a la placa Arduino mega y a la placa de las fuentes de alimentación.

Tabla 7-2:Distribución de los pines de señal de la pantalla LCD Nextion

PINES DE SEÑAL DE LA PANTALLA LCD NEXTION 3.2 (HMI)	PUERTOS DE LA PLACA DE CONEXIÓN	PLACA DE CONEXIÓN
Señal RX	19 (RX1)	Placa Arduino Mega
Señal TX	18 (TX1)	Placa Arduino Mega
Señal +5V	+5V	Placa de las fuentes de alimentación
Señal GND	GND	Placa de las fuentes de alimentación

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En la **Figura 9-2:**Se visualiza el esquema de conexión de la pantalla LCD Nextion a la placa Arduino Mega.

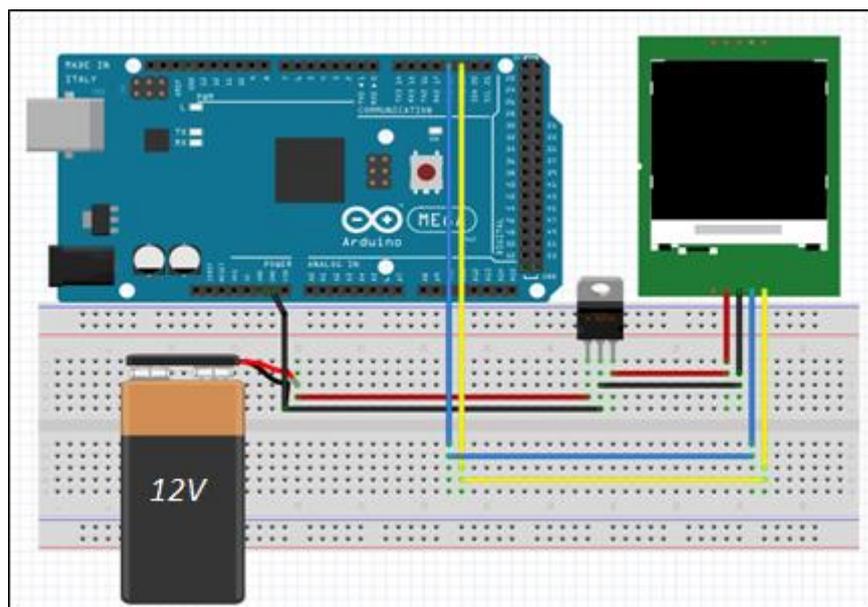


Figura 9-2: Esquema de conexión de la pantalla LCD Nextion a la placa Arduino Mega

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.3.4. *Conexión de los sensores a la placa Arduino Mega*

Aquí se describen las conexiones del sensor DHT-22 y el sensor FC-28 con respecto a la placa Arduino Mega. Ambos sensores reciben alimentación de la propia placa Arduino; ya que su consumo de corriente es mínimo.

En la **Tabla 8-2:** se describe la distribución de los pines de señal del sensor de humedad y temperatura DHT-22, con respecto a los puertos de la placa Arduino Mega.

Tabla 8-2:Distribución de los pines del sensor DHT-22 a la placa Arduino Mega

PINES DE SEÑAL DEL SENSOR DHT-22	PUERTOS DE LA PLACA ARDUINO MEGA
Señal DATA	2
Señal VCC	VCC
Señal GND	GND

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En la **Tabla 9-2:** se describe la distribución de los pines de señal del sensor de humedad de suelo FC-28, con respecto a los puertos de la placa Arduino Mega.

Tabla 9-2:Distribución de pines del sensor FC-28 a la placa Arduino Mega

PINES DE SEÑAL DEL SENSOR FC-28	PUERTOS DE LA PLACA ARDUINO MEGA
Señal A0	A4
Señal VCC	VCC
Señal GND	GND

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

La **Figura 10-2:**muestra el esquema de conexión del sensor de humedad y temperatura DHT-22 y el sensor de humedad de suelo FC-28 con respecto a la placa Arduino Mega.

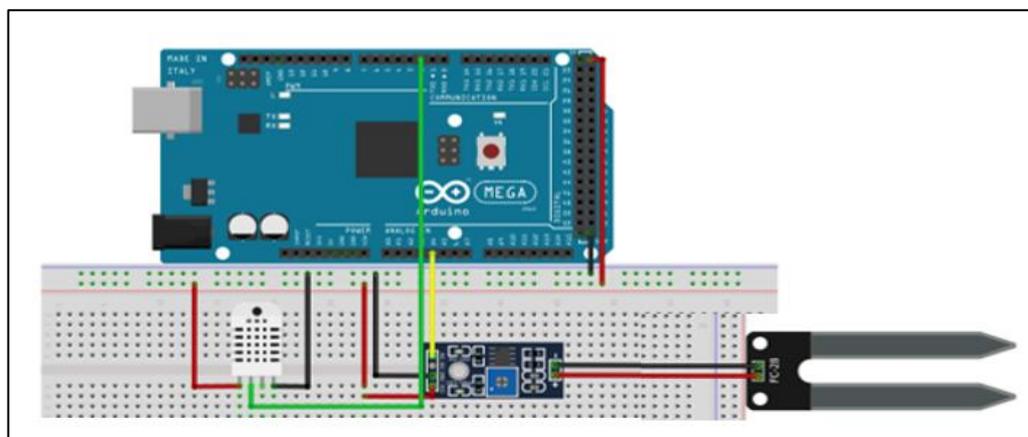


Figura 10-2: Esquema de conexión de los sensores a la placa Arduino Mega

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.3.5. *Conexión del Módulo SD-Card y Módulo RTC DS103*

A continuación se describen la distribución de los pines de señal del módulo SD-Card y el módulo RTC DS103; los mismos que están conectados a la placa Arduino Mega.

En la **Tabla 10-2:** se describe la distribución de los pines de señal del módulo SD-CARD, con respecto a los puertos de la placa Arduino Mega.

Tabla 10-2:Distribución de pines del módulo SD-CARD a la placa Arduino Mega

PINES DE SEÑAL DEL MODULO SD-CARD	PUERTOS DE LA ARDUINO MEGA
Señal MISO	50
Señal MOSI	51
Señal SCK	52
Señal CS	53
Señal VCC	VCC
Señal GND	GND

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

El Modulo RTC es el encargado de registrar la fecha y hora en que se registran los valores obtenidos por los sensores; esto con el fin de saber en qué etapa de la clonación se encuentran las estacas.

En la **Tabla 11-2:** se describe la distribución de los pines de señal del módulo RTC DS103, con respecto a los puertos de la placa Arduino Mega.

Tabla 11-2:Distribución de pines del módulo RTC DS103 a la placa Arduino Mega

PINES DE SEÑAL DEL MODULO RTC	PUERTOS DE LA PLACA ARDUINO MEGA
Señal CLK	6
Señal DATA	7
Señal RST	8
Señal VCC	VCC
Señal GND	GND

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En la **Figura 11-2**: se visualiza el esquema de conexión del Módulo SD-Card y Módulo RTC DS103 con respecto a los puertos de la placa Arduino Mega

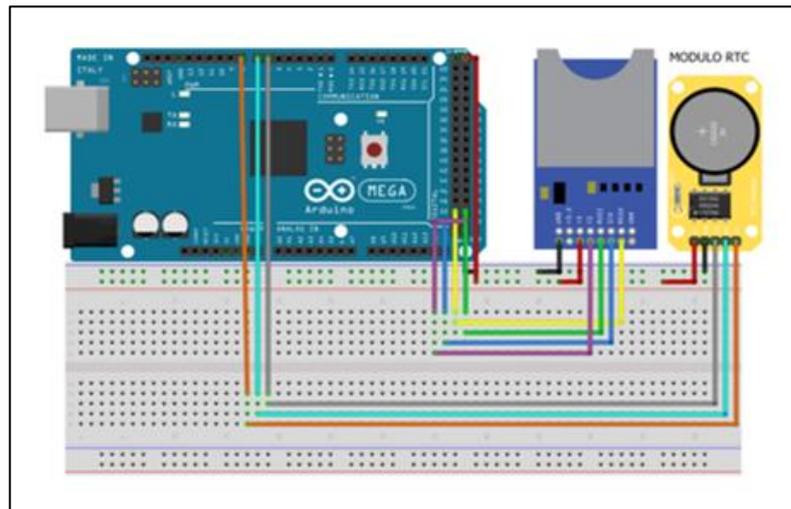


Figura 11-2: Esquema de conexión del Módulo SD-Card y RTC

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.3.6. Diagrama del circuito general del sistema

Una vez realizados los diseños para la conexión de cada dispositivo a la placa Arduino se procedió a unificar el diagrama de conexión. En la **Figura 12-2**: Se muestra el diagrama de conexión general del sistema; en el cual se encuentra conectados todos los dispositivos electrónicos como sensores, módulos y pantalla HMI a la placa Arduino Mega; también la conexión de las fuentes de alimentación para cada dispositivo.

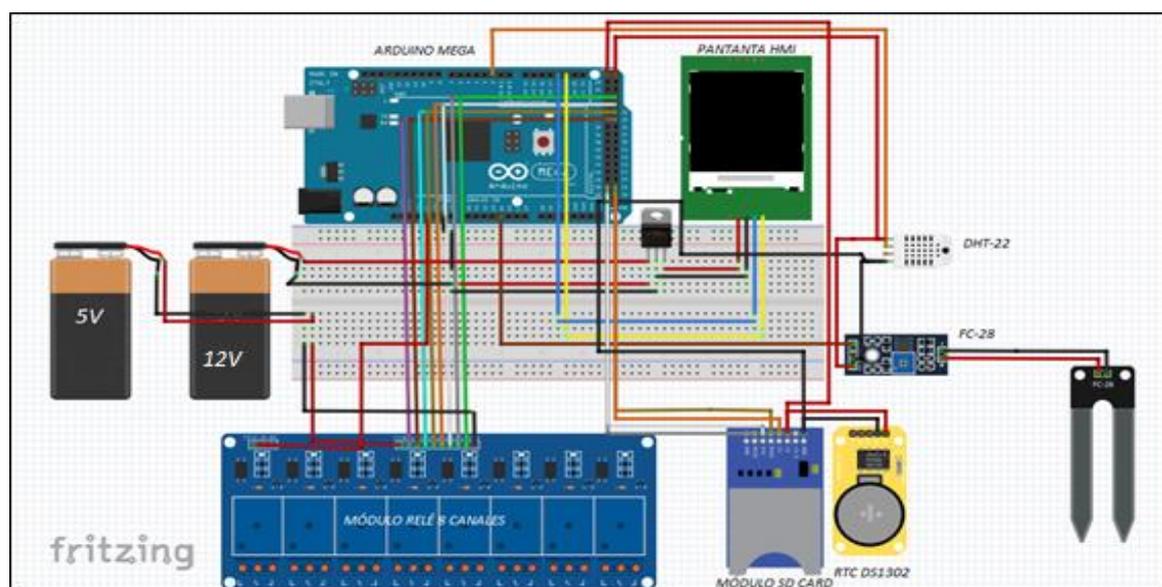


Figura 12-2: Diagrama de conexión del circuito general del sistema

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.3.7. *Diseño de las placas de circuito impreso*

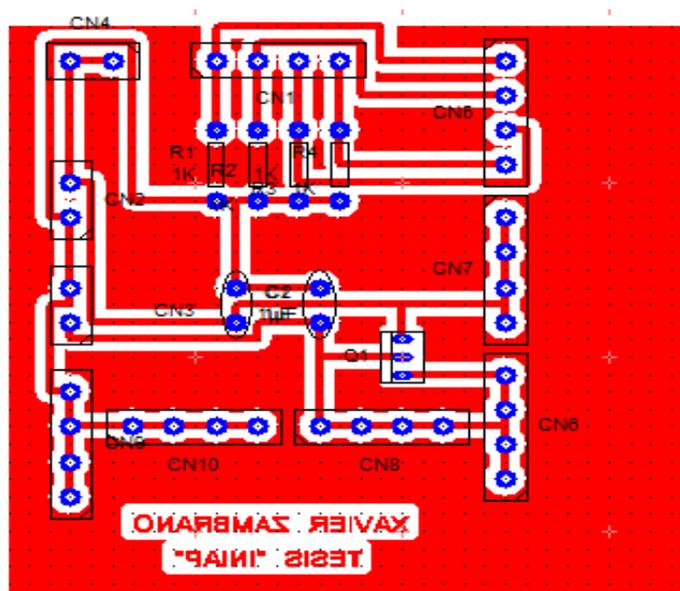
En base a lo descrito en la **Tabla 11-2**, se ha procedido a seleccionar el tamaño de las pistas para las placas de los circuitos impresos (PCB). El circuito de las fuentes de alimentación de 12V y 5V tiene un consumo de corriente de 0.5A, y el circuito de distribución de electroválvulas y luces piloto tiene un consumo de corriente de 0.8 A; por lo que se optó por el tamaño de pistas de 1.27mm. Que es el indicado para un consumo de corriente de 2 A.

Tabla 12-2: Dimensionamiento de pistas en base al consumo de corriente

ANCHO DE LA PISTA (mm)	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)
0.254 mm	0.3 A
0.381 mm	0.4 A
0.508 mm	0.7 A
0.635 mm	1 A
1.27 mm	2 A
2.54 mm	4 A
3.8 mm	6 A

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En la **Tabla 11-2** y **Figura 13-2:** Se muestra el diseño de los circuitos impresos de las fuentes de alimentación y el circuito de distribución de electroválvulas y luces piloto respectivamente.



Diseño PCB del circuito de las fuentes de alimentación

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

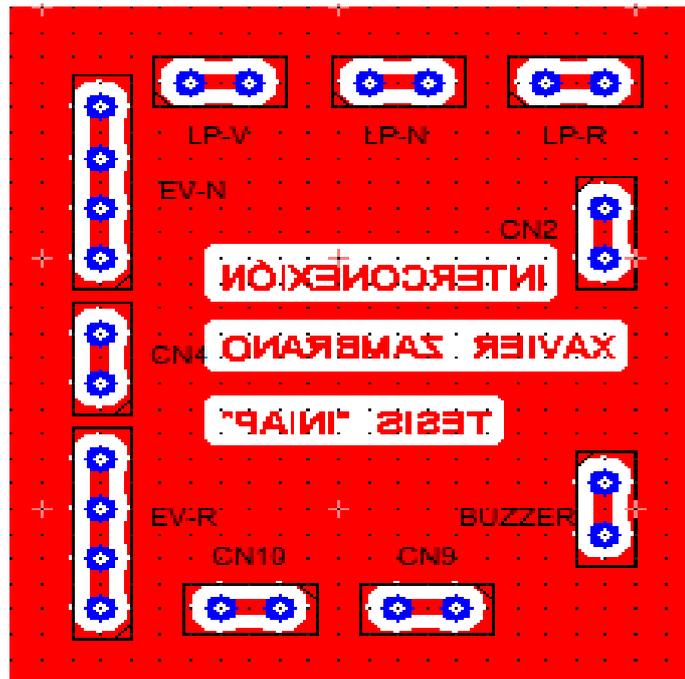


Figura 13-2: Diseño PCB del circuito de distribución de Electrovalculas y luces pilotos.

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En la **Figura 14-2:** se muestra la baquelita impresa del circuito de las fuentes de alimentación.

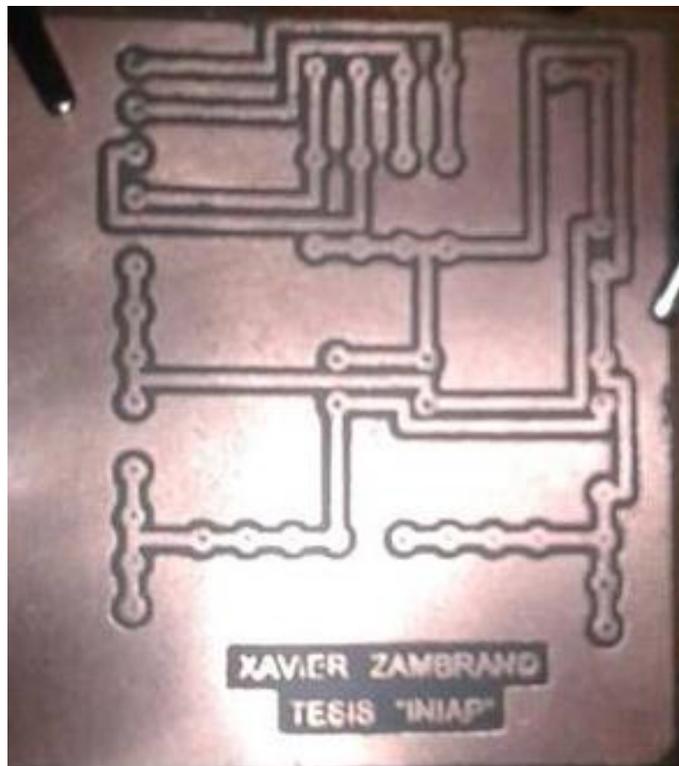


Figura 14-2: Baquelita del circuito de fuentes de alimentación

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.4. Implementación del tablero de Control

Una vez efectuado el dimensionamiento de breakers, fusibles, conductores, contactor y relé térmico; para cada uno de los elementos usados en el sistema como: fuentes, luces, bomba hidroneumática y electroválvula; se realizó un esquema en el software Cade Simu, en el cual se representa esquemáticamente el diagrama de conexión de los elementos del sistema.

Para la implementación del sistema eléctrico se siguió los siguientes pasos:

- Con la ayuda del taladro y una sierra circular eléctrica se realizaron los orificios para colocar los pulsadores, luces piloto y pantalla HMI, como se observa en la **Figura 15-2**:



Figura 15-2: Realización de orificios y colocación de elementos

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- En la **Figura 16-2**: se muestra la distribución de riel DIN y canaletas en el gabinete metálico.



Figura 16-2: Distribución de riel DIN y canaletas

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- Disposición y conexión de breakers, fusibles, contactores, placa Arduino Mega, fuentes de alimentación, placas distribuidoras y borneras



Figura 17-2: Distribución y conexión de elementos dentro del gabinete

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- Colocación y conexión de la pantalla HMI, luces, botón de emergencia y botonera en el tablero se visualiza en la **Figura 17-2:**



Figura 18-2: Distribución y conexión de los dispositivos

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En la **Figura 19-2:** se observa la vista interior y exterior del tablero de control instalado.

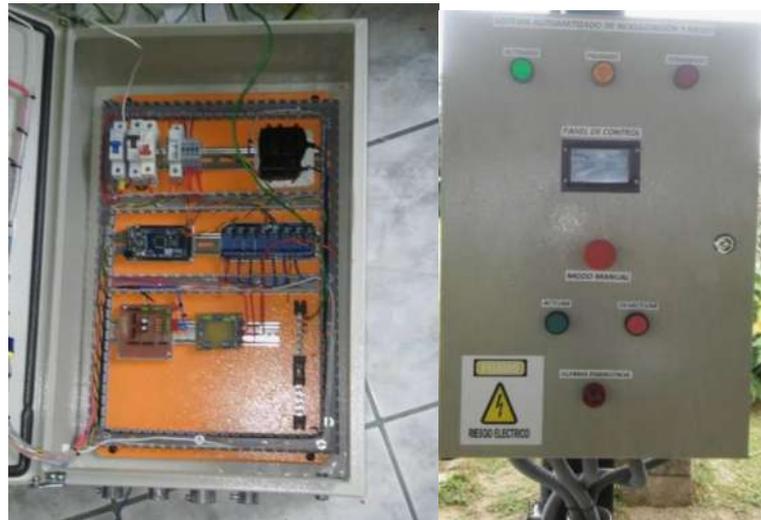


Figura 19-2: Vista interior y exterior del tablero de control

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.5. Diseño e implementación del Sistema Eléctrico

En la **Figura 20-2:** se indica el diseño del circuito eléctrico, en el cual se muestra la conexión del contactor para el arranque de la bomba hidroneumática, además de la conexión de cada uno de los equipos con sus respectivas protecciones.

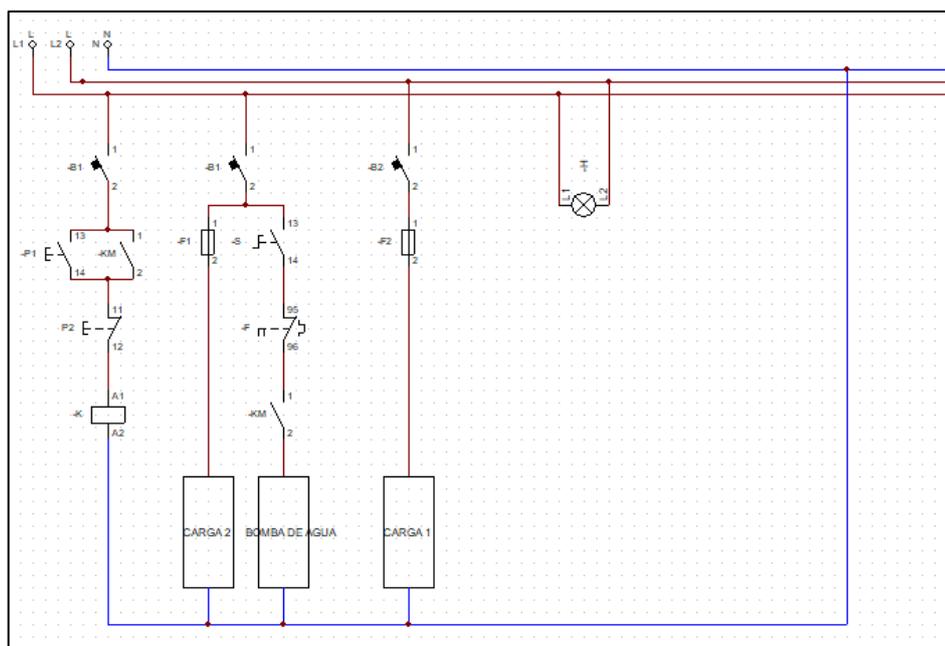


Figura 20-2: Diagrama de conexión del circuito eléctrico

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.6. Diseño e implementación del Sistema Hidráulico

En esta etapa se procedió a realizar un esquema en solidwoks de la tubería de agua y además se seleccionó la tubería apropiada para manejar la presión de la bomba hidroneumática. Se implementó el sistema hidráulico, tuberías, codos y demás elementos de gasfitería, filtros, electroválvulas, nebulizadores y aspersores.

En la **Figura 21-2**: Se muestra el diseño en SolidWorks de la ubicación del invernadero y el depósito de agua.

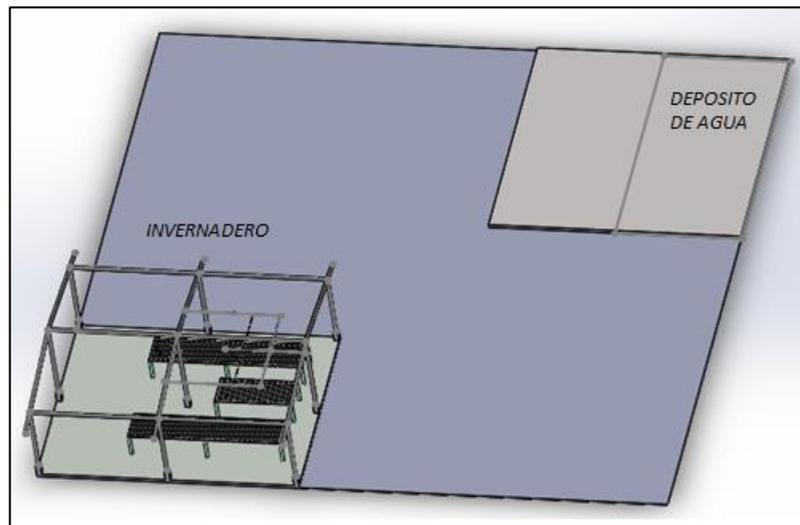


Figura 21-2: Ubicación del Invernadero y depósito de agua

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

La implementación del sistema hidráulico se dividió en tres partes:

- Instalación de la bomba hidroneumática.
- Cavado de zanja.
- Instalación del sistema hidráulico y las electroválvulas.

Instalación de la bomba hidroneumática:

Previo a la instalación de la bomba hidroneumática, se eligió el lugar adecuado; siendo este, cerca del depósito de agua, para así evitar pérdidas en la succión. A continuación se describe el proceso de instalación:

1.- Para la succión se empleó una tubería de $\frac{3}{4}$ ", ya que es un requerimiento del modelo de la bomba y al final de la tubería se colocó una válvula check horizontal; esto con el fin de evitar que la cámara se quede sin agua y la bomba succione en vacío.

2.- En la salida de la tubería el caudal del agua se reduce a $\frac{1}{2}$ ", por ello se le colocó una llave de paso así como una de alivio, con el fin de minimizar la presión en el sistema hidráulico y evitar el flujo de agua.

En la **Figura 22-2**: Se puede observar la instalación de la bomba hidroneumática.



Figura 22-2: Instalación de la bomba hidroneumática

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

Cavado de zanja:

Con el fin de evitar un calentamiento en la tubería que podría originar un incremento en la temperatura en el interior de invernadero se procedió a enterrar la tubería. A continuación se explica el procedimiento:

1.- Se cavo una zanja de 50cm de profundidad en la cual están contenidas las mangueras para el sistema hidráulico, las mangueras que contiene los conductores de las fuentes de alimentación de las electroválvulas y los sensores.

2.- Finalmente se colocó las mangueras y sus acoples.

En la **Figura 23-2**: se muestra la instalación de la tubería en la zanja de 50cm de profundidad la misma que va desde el depósito de agua hasta el invernadero.



Figura 23-2: Instalación de la tubería en la zanja.

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

Instalación del sistema hidráulico y las electroválvulas:

Una vez seleccionados los nebulizadores en base a cálculos, se procedió a la instalación del sistema hidráulico. A continuación se describe el proceso de instalación:

- 1.- Se tomó la medida de los tubos para luego cortarlos.
- 2.- En el extremo del tubo cortado se formó una rosca y se colocó teflón y un pegamento de tubos, para así evitar fugas de agua.
- 3.- Se instaló los accesorios y las electroválvulas.
- 4.- Se instaló los nebulizadores y aspersores.

En la **Figura 24-2:** Muestra la instalación del sistema hidráulico.



Figura 24-2: Instalación del sistema hidráulico

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

2.7. Diseño del controlador del Sistema

Una vez descritos los tipos de controladores que existen, se procedió a seleccionar el más idóneo de acuerdo a las necesidades expuestas por los técnicos del INIAP. De las diversas técnicas de control que existen, se seleccionó el control ON-OFF, este tipo de controlador toma 2 estados: abierto o cerrado con respecto a un valor de referencia; con base en las siguientes cuestionamientos se seleccionó este tipo de controlador.

1.- Para los nebulizadores usados si se baja la presión por debajo de los 40psi se pierde calidad en la nebulización y las gotas de agua aumentan de tamaño; por tal motivo su precipitación hacia las estacas es mucho más rápida y no se condensan en el aire.

2.- Si las estacas no cuentan con las condiciones ideales para su enraizamiento, en un futuro se producirán complicaciones para adaptarse al ambiente, por tal motivo los técnicos del INIAP

recomendaron que la humedad relativa del ambiente debe oscilar entre un valor mínimo y máximo dependiendo de la fase en que se encuentre el proceso de clonación.

En la **Figura 25-2**: Se muestra el comportamiento de un controlador ON-OFF.

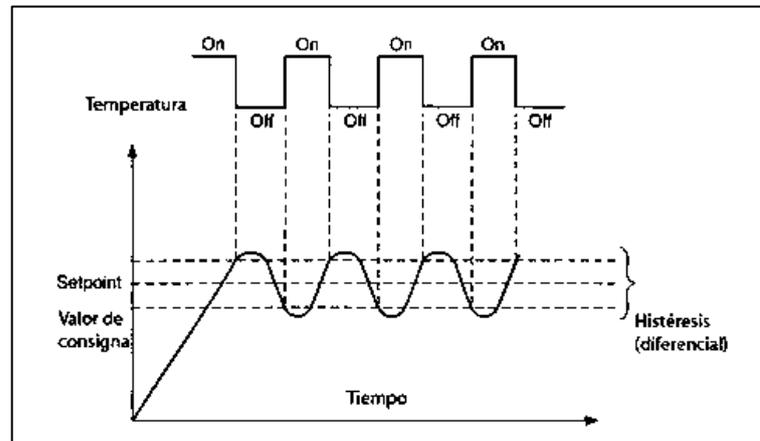


Figura 25-2: Comportamiento de un controlador ON-OFF

Fuente: www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/instrumentacion_industrial4.php

2.8. Programación de la Placa Arduino Mega

La programación del sistema se realizó en el software libre IDE de Arduino. Una vez distribuidos los pines de la placa Arduino Mega para cada dispositivo, se escribió el código para posteriormente grabarlo en la placa Arduino. Cabe mencionar que es necesario incluir unas librerías al código de programación para así evitar errores de compilación. A continuación se describen las librerías utilizadas.

#include <EEPROM.h>.- Permite guardar información para poder recuperarla en caso de que la placa Arduino Mega se reinicie o se pierda la alimentación de la energía.

#include <Nextion.h>.- Establece la comunicación entre la pantalla HMI nextion y la placa Arduino Mega mediante el puerto serie.

#include <SD.h>.- Permite leer y escribir información en la tarjeta sd, la comunicación entre la placa Arduino Mega y la tarjeta se realiza por medio de comunicación spi.

#include <DS1302.h>.- Establece una comunicación entre el módulo DS1302 y la placa Arduino Mega.

#include "DHT.h".- comunicación del sensor dht22 y la placa Arduino Mega

En la **Figura 26-2**: se visualiza el Diagrama de flujo general del proceso; a partir de este diagrama se puede seleccionar el Modo Manual o el Modo Automático del sistema de Nebulización y Riego.

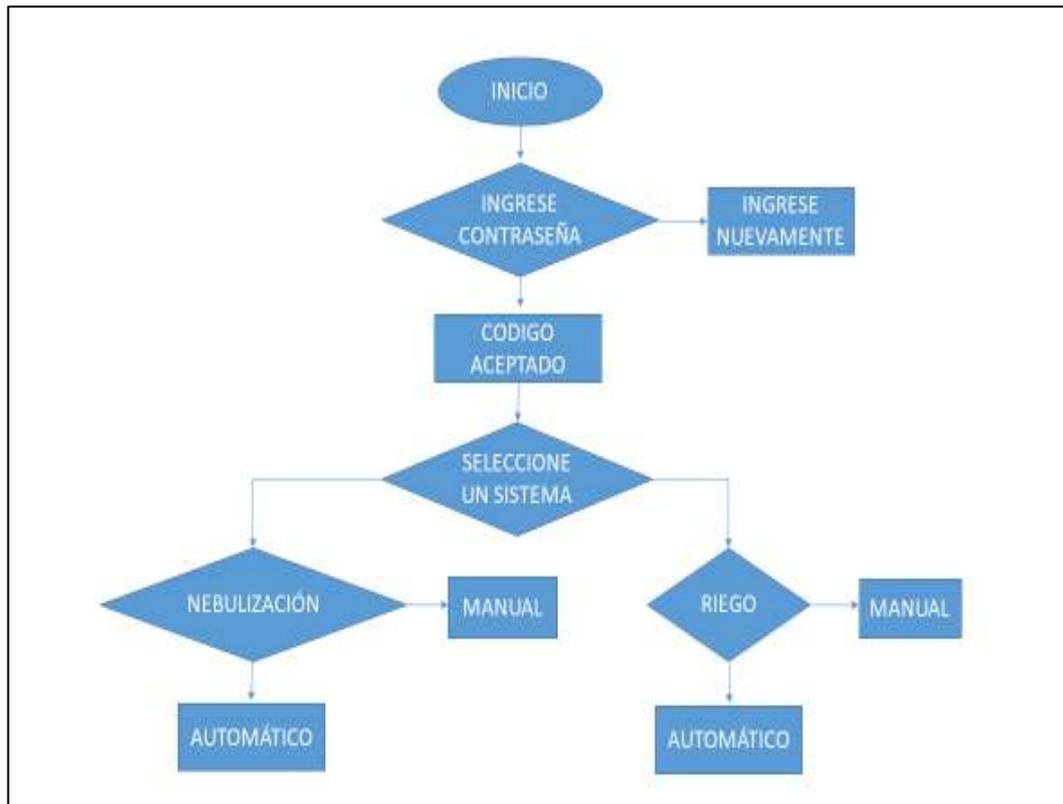


Figura 26-2: Diagrama de flujo general del proceso del sistema de Nebulización y Riego

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

Como se puede observar el proceso inicia con la validación de la contraseña, a continuación se selecciona el tipo de sistema ya sea Nebulización o Riego. Una vez elegido el sistema se procede a seleccionar el modo a ejecutarse, que puede ser Manual o Automático. Cada modo tiene su propio diagrama de flujo que se detalla en los siguientes apartados.

2.8.1. *Diagrama de Flujo del sistema manual de Nebulización y Riego*

Ya sea para el sistema de nebulización o el de riego, las etapas de programación son prácticamente idénticas, lo que cambia es la parte de los sensores y las boquillas, por tal motivo se va a realizar un solo diagrama de flujo.

En la **Figura 27-2**:se visualiza el Diagrama de flujo del proceso del sistema de Nebulización y Riego en modo Manual.



Figura 27-2: Diagrama del proceso del sistema manual de Nebulización y Riego

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En el ANEXO H se puede observar el código de programación del sistema de Nebulización y Riego en modo Manual.

El sistema manual de Nebulización y riego se inicia con la lectura del puerto serial, a continuación se envía una orden de activación a los actuadores, como son la bomba hidroneumática y electroválvulas. Una vez terminado el proceso de nebulización o riego se activará el zumbador y posteriormente se desactivaran los actuadores; para dar fin al proceso. En el ANEXO I se muestra el manual de usuario para el modo manual

2.8.2. *Diagrama de Flujo del sistema automático de Nebulización y Riego*

Ya sea para el sistema de nebulización o el de riego, las etapas de programación son prácticamente idénticas, lo que cambia es la parte de los sensores y las boquillas, por tal motiva se va a realizar un solo diagrama de flujo.

En la **Figura 28-2**: se visualiza el Diagrama de flujo del proceso del sistema de Nebulización y Riego en modo Automático

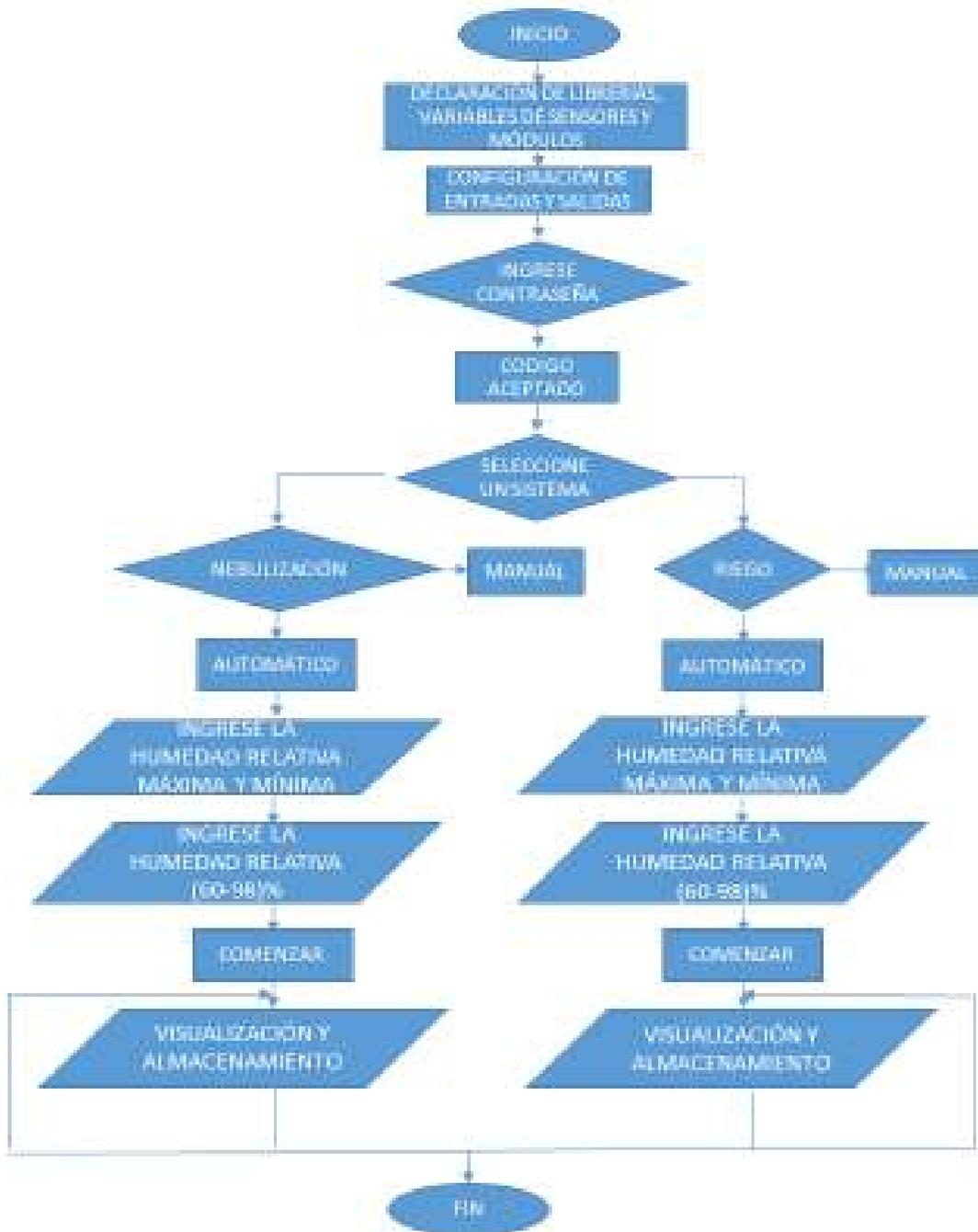


Figura 28-2: Diagrama del proceso del sistema automático de Nebulización y Riego

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

El proceso del sistema automático inicia una vez seleccionado el proceso entre Nebulización y Riego, posteriormente se ingresa el intervalo de humedad relativa. Consiguiente se ingresa un valor fijo de humedad relativa que va desde 60 a 98 %. Automáticamente se dará inicio al proceso que permite visualizar los valores de temperatura y humedad en la pantalla HMI Nextion; además

del almacenamiento de los datos con fecha y hora. De igual manera el proceso finalizará automáticamente.

Cabe mencionar que el almacenamiento de los datos tomados de humedad y temperatura por los sensores en el invernadero, son guardados cada cierto tiempo, este tiempo será controlado a través del módulo de reloj RTC; para así evitar el exceso de datos y no saturar el sistema.

El proceso descrito es el mismo para la nebulización así como para el riego de las estacas en el invernadero; únicamente cambiará los valores de humedad y temperatura ingresados por el operario. En el **ANEXO J** se puede observar el código de programación del sistema de Nebulización y Riego en modo Automático. En el **ANEXO K** se muestra el manual de usuario para el modo automático.

2.9. Programación del HMI

Para la interacción hombre - máquina se utilizó una pantalla inteligente táctil LCD 3.2 “Nextion”. La Programación de las pantallas del HMI se efectuó en el software denominado “Editor de Nextion”, mismo que viene incorporado en la pantalla LCD Nextion. A continuación se detalla la programación del HMI para cada etapa del proceso de nebulización y riego.

En esta etapa se muestra como se diseñaron cada una de las ventanas usadas para navegar en el sistema.

- En las **Figura 29-2:Figura 30-2:y Figura 31-2:** se visualizan las portadas de inicio 1, 2 y 3 respectivamente. En la pantalla LDC se muestran los sellos de las instituciones que facilitaron la ejecución del proyecto, cada imagen se mantendrá por 2s e inmediatamente se mostrara las siguientes pantallas.



Figura 29-2: Pantalla de inicio 1

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017



Figura 30-2: Pantalla de inicio 2

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017



Figura 31-2: Pantalla de inicio 3

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- Una vez mostradas las portadas, se visualiza la pantalla de la **Figura 32-2:** en donde se requiere el ingreso de una clave previamente guardada. Si la clave es correcta se mostrará un mensaje de CÓDIGO ACEPTADO.

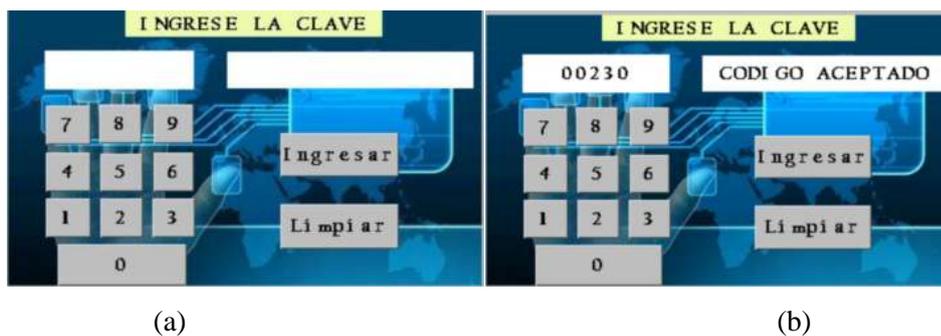


Figura 32-2: Pantalla de ingreso y validación de clave

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- Una vez validada la clave de ingreso; en la **Figura 33-2:** se visualiza la pantalla de presentación del sistema de Nebulización y Riego, la misma que se mantiene por 2,5 segundos y migra a otra pantalla.

SISTEMA AUTOMATIZADO DE NEBULIZACIÓN Y RIEGO

Figura 33-2: Pantalla de Presentación del sistema

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- En la **Figura 34-2:** muestra la selección del sistema a ejecutarse, el usuario podrá elegir entre Nebulización y Riego; esto dependerá de la etapa en la que se encuentre el proceso de clonación de las plantas. También cuenta con un botón de ACERCA DE; el mismo que contiene información básica del sistema.



Figura 34-2: Pantalla de selección de tipo sistema

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- Una vez seleccionado el sistema a ejecutarse se debe elegir el modo de ejecución; el mismo que puede ser manual o automático. En la **Figura 35-2:** se muestra la pantalla de selección de modo del Sistema de Nebulización. Además la pantalla cuenta con el botón VOLVER en caso de que se haya seleccionado el sistema equivocado.



Figura 35-2: Pantalla de selección de modo

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- Si en la pantalla anterior se seleccionó el modo manual se va a encender la bomba y se activan las electroválvulas 1 y 2; como se visualiza en la **Figura 36-2**:

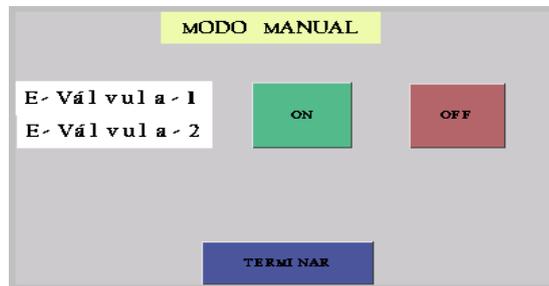


Figura 36-2: Pantalla modo Manual

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- Si el modo escogido fue el Automático, previo a su ejecución se debe elegir el rango máximo y mínimo de humedad relativa con los que va a operar el sistema. Una vez editado el rango de humedad relativa se procede a presionar el botón VALIDAR y CONTINUAR.

En la **Figura 37-2**: Se muestra la pantalla 1 del modo automático.

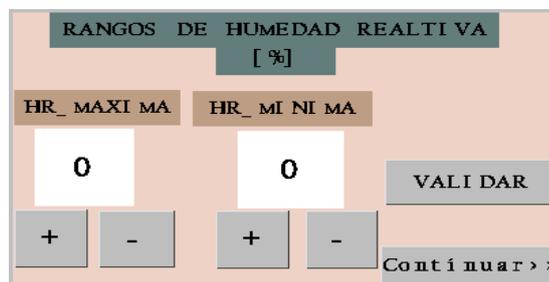


Figura 37-2: Pantalla 1 del Modo Automático

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- Posteriormente se selecciona la humedad requerida para la clonación; esto dependerá del tipo de planta o especie que se desee propagar. En la **Figura 38-2**: Se muestra la Pantalla 2 del Modo Automático.



Figura 38-2: Pantalla 2 del Modo Automático

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- En la pantalla de Monitoreo en Tiempo Real de la **Figura 39-2**: el usuario puede observar en tiempo real lo que sucede en el invernadero; además de pausarlo cuando el sistema requiera un control técnico del estado en que se encuentran las estacas de la planta. Finalmente el usuario tiene la opción de terminar el proceso.



Figura 39-2: Pantalla de Monitoreo en Tiempo Real

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- Al seleccionar GRAFICAS en la pantalla de Monitoreo en Tiempo Real se puede observar la variación de valores mediante una gráfica de humedad, temperatura o de ambas variables.

En la **Figura 40-2**: se observa la pantalla de selección de gráficas de las variables.

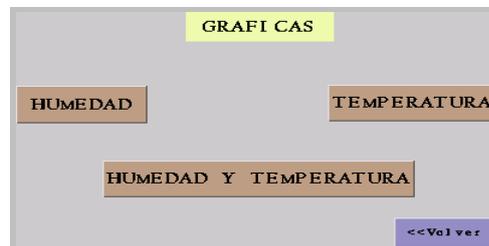


Figura 40-2: Pantalla de selección de gráficas

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- En la **Figura 41-2**: se muestra la pantalla en donde se grafica los datos de las variables con un intervalo de 10s.

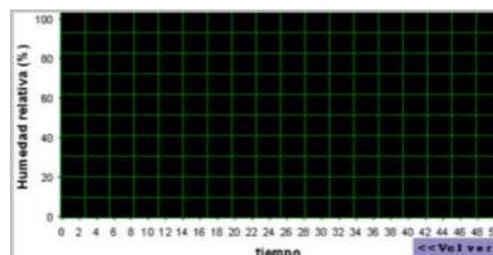


Figura 41-2: Pantalla de graficas en tiempo real

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- Al seleccionar el botón VALORES se observan los datos en forma numérica de las variables humedad y temperatura. La **Figura 42-2:** muestra la pantalla de valores de monitoreo en tiempo real.

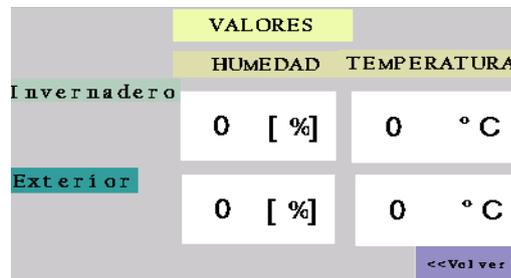


Figura 42-2: Pantalla de valores de monitoreo

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- Además se puede observar cuales fueron los valores máximo y mínimo de la humedad relativa seleccionados, tal como se muestra en la **Figura 43-2:**

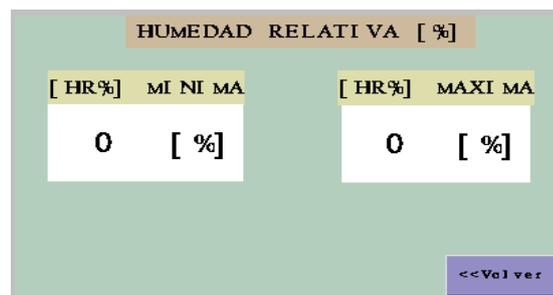


Figura 43-2: Pantalla de Valores de humedad Relativa

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- En esta pantalla se seleccionó el sistema de riego; el mismo que puede ser manual o automático. En la **Figura 35-2:** se muestra la pantalla de selección de modo del Sistema de Riego. Además la pantalla cuenta con el botón VOLVER en caso de que se haya seleccionado el sistema equivocado.



Figura 44-2: Pantalla de selección de modo

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se realiza la medición de los resultados obtenidos mediante las pruebas realizadas a cada elemento del Sistema Automatizado de Nebulización y Riego en la Estación Experimental INIAP de Santo Domingo; con ello se garantiza el funcionamiento óptimo de todos los dispositivos en una determinada etapa del proceso de clonación de las especies forestales.

3.1. Pruebas de conexión de los dispositivos instalados en el panel de control

Una vez culminada la instalación de cada uno de los equipos del sistema automatizado de Nebulización y Riego; se procedió a realizar las respectivas pruebas de conexión, con el fin de comprobar que cada uno de los elementos se encontraba energizados, además de evitar posibles daños como cortocircuitos debidos a una mala conexión.

En los circuitos electrónicos se comprobó el voltaje, que se visualiza en la **Tabla 1-3:**

Tabla 1-3: Pruebas de medición de voltaje

PRUEBAS DE MEDICIÓN DE VOLTAJE DIRECTO			
Voltaje entregado por la fuente de alimentación (V)	Dispositivo	Voltaje medido (V)	Porcentaje de error
5V	Sensor DHT-22	4.86	0.8 %
5V	Sensor FC-28	4.90	2.0 %
5V	Arduino MEGA 2060	4.89	2.2 %
5V	Pantalla HMI	4.96	0.8 %
5V	Módulo de relés	4.92	1.6 %
5V	Módulo SD CARD	4.96	0.8 %
5V	Módulo RTC DS1 302	4.92	1.6 %

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En base a los resultados obtenidos se asegura que el sistema está correctamente energizado puesto que cada elemento cuenta tiene un porcentaje de error aceptable menor al 3%.

En la **Figura 1-3:** se muestra las pruebas de conexión de los dispositivos instalados en el tablero de control.

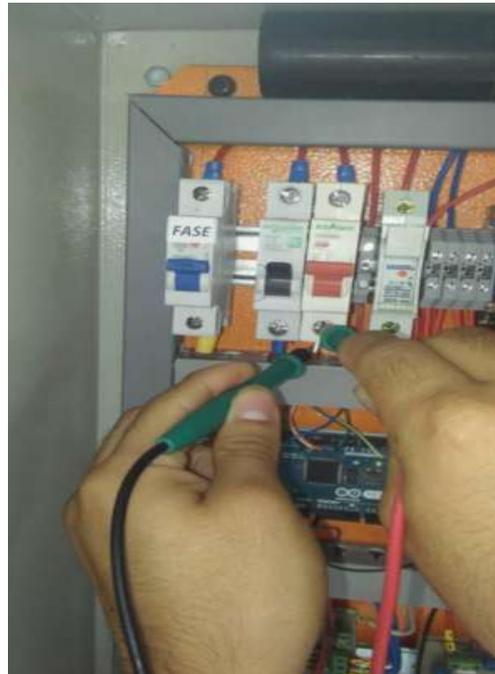


Figura 1-3: Pruebas de conexión de dispositivos

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

3.2. Monitoreo del Sistema mediante el HMI

En la pantalla táctil Nextion (HMI) se ingresa y monitorea los valores de temperatura y humedad variables fundamentales del proceso. El usuario ingresa un rango de humedad relativa, en este caso los valores son del 87% al 91%; es decir que en caso de que los valores no se encuentren dentro del intervalo establecido, inmediatamente se enviarían señales a los actuadores, para corregir la humedad relativa en el invernadero.

En la **Figura 2-3:** se muestra los valores máximo y mínimo ingresados en pantalla del HMI.



Figura 2-3: Rango de valores de humedad relativa

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017.

3.2.1. Monitoreo de humedad relativa y temperatura

El monitoreo de la humedad relativa y temperatura es de vital importancia; ya que el operador tendrá conocimiento de lo que sucede dentro del invernadero a determinada hora del día y así cerciorarse de que se encuentra en las condiciones adecuadas para la clonación.

La pantalla HMI permite mostrar la gráfica de la humedad relativa vs el tiempo, como se muestra en la **Figura 3-3:**



Figura 3-3: Grafica humedad relativa vs tiempo

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

A continuación se muestran las gráficas en la pantalla HMI; cabe mencionar que el sistema no trabaja en las noches, ya que debido al clima de la ciudad de Santo Domingo los valores de humedad relativa suben notablemente, lo que hace innecesario el funcionamiento del mismo.

La humedad relativa interna y la temperatura interna hacen referencia a los valores medidos por el sensor FC-28 en el suelo donde se encuentran sembradas las estacas de caña de bambú. Mientras que la humedad relativa externa y la temperatura externa hacen referencia a los valores medidos por el sensor DHT-22 dentro del invernadero.

- En el **Gráfico 1-3:** se visualiza la gráfica de la humedad relativa interna con respecto al tiempo. La humedad relativa viene dada en el porcentaje (HR %), mientras que el tiempo se distribuye en las 24 horas del día.

La humedad relativa oscila entre 86HR% y 98HR%, encontrándose en los niveles adecuados para la clonación.

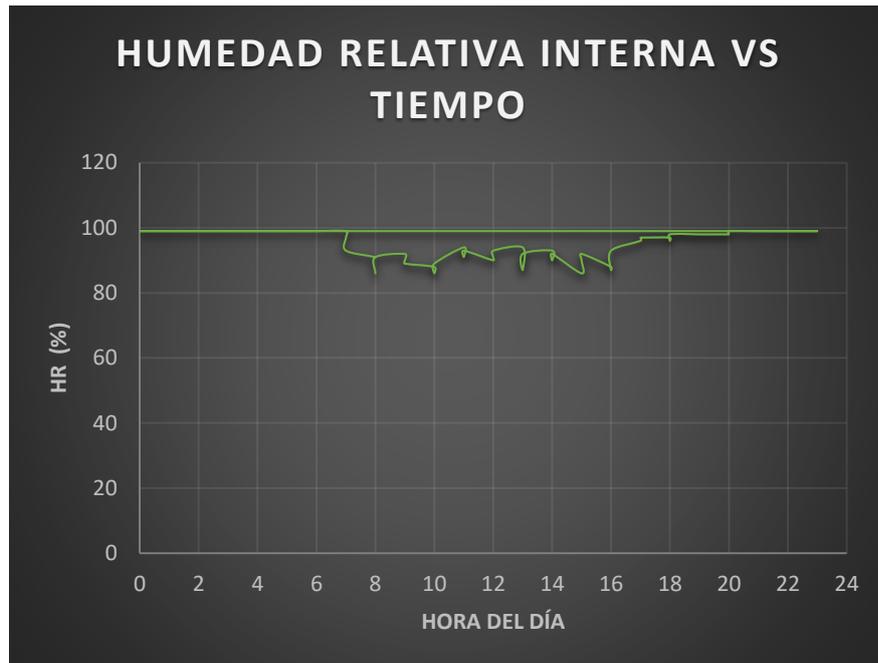


Gráfico 1-3: Humedad relativa interna vs tiempo

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- En el **Gráfico 2-3:** se visualiza la gráfica de la temperatura interna con respecto al tiempo. La temperatura viene dada en grados centígrados (°C), mientras que el tiempo se distribuye en las 24 horas del día. La temperatura oscila entre 18°C y 28°C, que son niveles apropiados para la clonación.

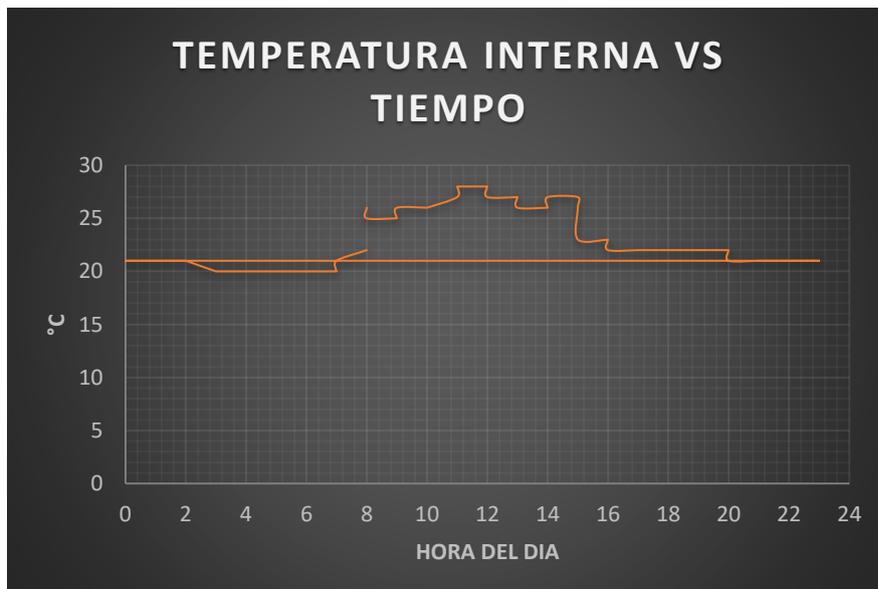


Gráfico 2-3: Temperatura interna vs tiempo

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- En el **Gráfico 3-3:** se visualiza la gráfica de la humedad relativa externa con respecto al tiempo. La humedad relativa viene dada en el porcentaje (HR %), mientras que el tiempo se distribuye en las 24 horas del día. La humedad relativa oscila entre 70HR% y 100HR%, encontrándose en los niveles adecuados para la clonación.



Gráfico 3-3: Humedad relativa externa vs tiempo

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

- En el **Gráfico 4-3:** se visualiza la gráfica de la temperatura externa con respecto al tiempo. La temperatura viene dada en grados centígrados (°C), mientras que el tiempo se distribuye en las 24 horas del día. La temperatura oscila entre 18°C y 26°C, que son niveles apropiados para la clonación.

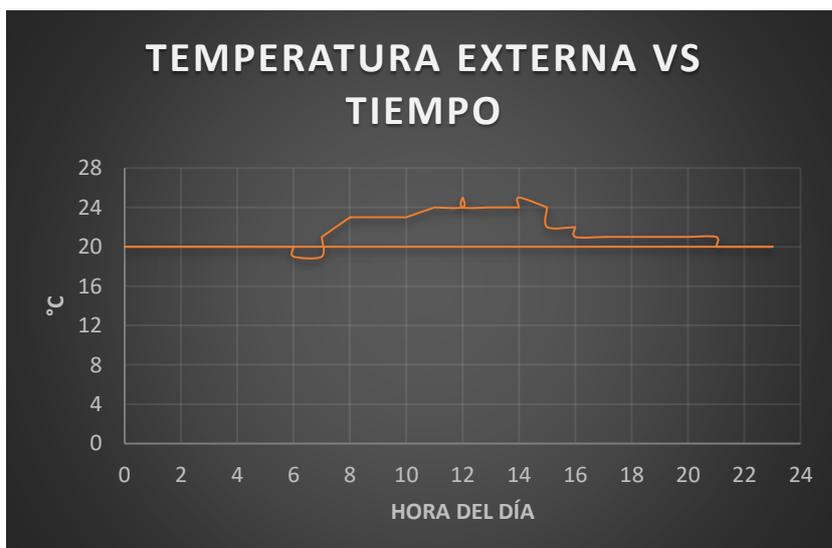


Gráfico 4-3: Temperatura externa vs tiempo

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

3.2.2. Almacenamiento de datos.

Para el almacenamiento de datos se empleó el módulo SD-CARD; donde se guardan los datos registrados por los sensores DHT-22 Y FC28 a lo largo del día. La tabla de almacenamiento consta de la fecha y hora en la que se registró un nuevo dato ya sea de humedad o temperatura tanto externa como interna.

El formato de los datos almacenados es .csv, los mismos que posteriormente pueden ser visualizados en Microsoft Excel. En el código de programación realizado en el IDE de Arduino se adicionó el siguiente comando que permite guardar los valor de humedad y temperatura en un archivo .csv.

```
File dataFile = SD.open("datalog.csv",FILE_WRITE);
```

csv es un formato de archivo de texto que se puede utilizar para intercambiar datos de una hoja de cálculo entre aplicaciones. Cada línea de un archivo csv de texto representa una fila de una hoja de cálculo. Cada celda de una fila de hoja de cálculo suele ir separada por una coma. Sin embargo, puede utilizar otros caracteres para delimitar un campo, como un carácter de tabulador.

Si el contenido de un campo o una celda contiene una coma, el contenido del campo o la celda debe especificarse entre comillas simples (') o dobles (").

En la **Tabla 2-3:** se visualizan los datos almacenados en formatos csv de humedad relativa interna y externa, de temperatura interna y externa; con fecha del 2 de octubre del 2017.

Tabla 2-3: Valores almacenados de humedad relativa y temperatura

Año	Mes	Día	Hora (24 horas)	Humedad relativa interna (HR%)	Temperatura interna (°C)	Humedad relativa externa (HR%)	Temperatura externa (°C)
2017	10	2	8	86	26	84	23
2017	10	2	8	91	25	80	23
2017	10	2	9	92	25	83	23
2017	10	2	9	90	25	80	23
2017	10	2	9	89	26	81	23
2017	10	2	10	88	26	81	23
2017	10	2	10	86	26	80	23
2017	10	2	10	89	26	83	23

2017	10	2	11	94	27	76	24
2017	10	2	11	91	28	75	24
2017	10	2	11	93	28	76	24
2017	10	2	12	90	28	72	24
2017	10	2	12	91	28	74	25
2017	10	2	12	93	27	74	24
2017	10	2	13	94	27	75	24
2017	10	2	13	87	27	72	24
2017	10	2	13	92	26	73	24
2017	10	2	14	93	26	74	24
2017	10	2	14	90	26	71	24
2017	10	2	14	92	27	74	25
2017	10	2	15	86	27	72	24
2017	10	2	15	90	26	73	24
2017	10	2	15	92	23	79	22
2017	10	2	16	88	23	82	22
2017	10	2	16	87	23	84	22
2017	10	2	16	93	22	88	21
2017	10	2	17	96	22	89	21
2017	10	2	17	97	22	99	21
2017	10	2	17	97	22	99	21
2017	10	2	18	97	22	99	21
2017	10	2	18	96	22	99	21
2017	10	2	18	98	22	99	21
2017	10	2	19	98	22	99	21
2017	10	2	19	98	22	99	21
2017	10	2	19	98	22	99	21
2017	10	2	20	98	22	99	21
2017	10	2	20	98	22	99	21
2017	10	2	20	99	21	99	21
2017	10	2	21	99	21	99	21
2017	10	2	21	99	21	99	20
2017	10	2	21	99	21	99	20
2017	10	2	22	99	21	99	20
2017	10	2	22	99	21	99	20
2017	10	2	22	99	21	99	20
2017	10	2	22	99	21	99	20
2017	10	2	23	99	21	99	20
2017	10	2	23	99	21	99	20
2017	10	2	23	99	21	99	20
2017	10	2	0	99	21	99	20
2017	10	2	0	99	21	99	20
2017	10	2	0	99	21	99	20
2017	10	2	1	99	21	99	20
2017	10	2	1	99	21	99	20
2017	10	2	1	99	21	99	20

2017	10	2	2	99	21	99	20
2017	10	2	2	99	21	99	20
2017	10	2	2	99	21	99	20
2017	10	2	3	99	20	99	20
2017	10	2	3	99	20	99	20
2017	10	2	3	99	20	99	20
2017	10	2	4	99	20	99	20
2017	10	2	4	99	20	99	20
2017	10	2	4	99	20	99	20
2017	10	2	5	99	20	99	20
2017	10	2	5	99	20	99	20
2017	10	2	5	99	20	99	20
2017	10	2	6	99	20	99	20
2017	10	2	6	99	20	99	20
2017	10	2	6	99	20	99	19
2017	10	2	7	99	20	97	19
2017	10	2	7	97	20	95	21
2017	10	2	7	93	21	90	21
2017	10	2	8	91	22	96	23

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

3.3. Análisis de la clonación de estacas de caña de bambú

Una vez implementado el sistema se inició un proceso de clonación; la especie a clonar fue caña de bambú. A continuación se detalla las fechas de inicio de clonación de la caña de bambú; tanto en el modo manual como en el automático.

- **MODO MANUAL:** El proceso de clonación mediante el modo manual inició el 15 agosto y finalizó el 11 septiembre. Con una duración de aproximadamente 27 días.
- **MODO AUTOMÁTICO:** El proceso de clonación mediante el modo automático inició el 14 de septiembre y finalizó el 04 octubre. Con una duración de aproximadamente 21 días.

3.3.1. Porcentaje de días reducidos

En el **Gráfico 5-3:** se detalla cual es el tiempo estimado por cada uno de los sistemas en efectuar el proceso de clonación.

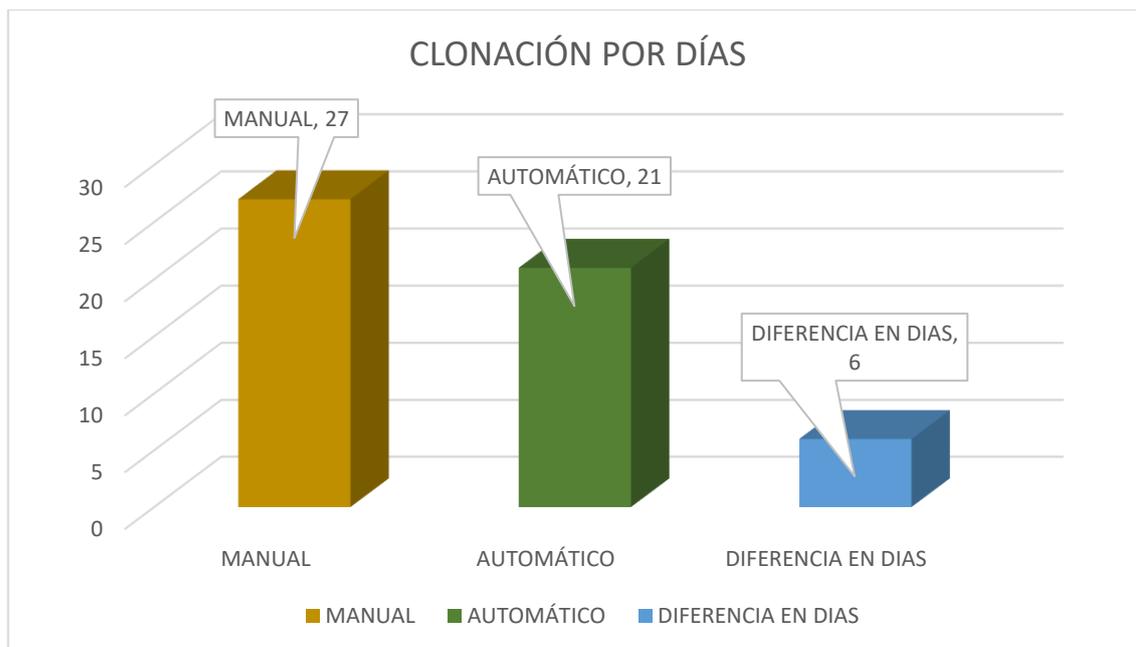


Gráfico 5-3: Días proceso de clonación

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

El tiempo de clonación con el modo automático del sistema implementado es menor con respecto al modo; pues difiere en 6 días para obtener resultados.

- Modo manual 100% de días de clonación
- Modo automático 77.77% de días de clonación
- El sistema mejoro un 22.22% los días en los que se entregó el producto final, en lo que se traduce en un ahorro considerable de recurso naturales y energéticos.

3.3.2. Caso Experimental de Prueba: Caña de Bambú

El bambú, al igual que otras especies vegetales, puede ser propagado a partir de diversas partes de la planta. Los más utilizados son las secciones de tallos, rizomas, riendas laterales, esquejes de tallos tiernos y multiplicación de plántulas (Asociación Peruana del Bambú PERUBAMBÚ, 2010).

Las consideraciones que se tuvieron en cuenta para la instalación de las camas de propagación son las siguientes:

- La plantación se realizó en camas de 6,0 m de largo y 1,2m de ancho, colocando una estaca de caña bambú por cada hoyo.

- Los bancos de propagación deben permanecer libres de malezas para evitar la competencia por agua, luz y nutrientes.

3.3.3. *Clonación mediante el sistema convencional*

El sistema tradicional utilizado en la Estación Experimental INIAP de Santo Domingo, consistía en encender la bomba de agua hidroneumática por un intervalo de 5 minutos 3 veces al día; en base a fundamentos empíricos de la humedad y temperatura del invernadero. Este sistema implica mayor uso de los recursos tanto humanos como físicos, además de mayor tiempo para obtener resultados de la clonación.

Las pruebas mediante el sistema se han realizado con estacas de la caña bambú. Se seleccionaron 36 estacas, de las cuales, únicamente 4 culminaron el proceso de propagación.

En la **Tabla 3-3:** se describe el número de estacas clonadas y los resultados obtenidos en la clonación mediante el sistema convencional.

Tabla 3-3: Clonación de estacas de caña de bambú sin automatización.

Estacas de caña de bambú sin clonar	Estacas de caña de bambú clonadas
36	4

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

Como se puede observar del 100% de estacas que iniciaron el proceso de clonación, únicamente el 11.11% terminaron el proceso con los resultados esperados. Este porcentaje está por debajo de la mitad de su totalidad, lo que no resulta beneficioso para la estación experimental.

3.3.4. *Clonación mediante el sistema automatizado*

En los apartados anteriores se describe el funcionamiento del sistema automatizado de nebulización y riego. Una vez culminada la implementación se procedió a realizar las primeras pruebas de clonación de especies. Para lo cual se seleccionó la caña de bambú.

Se seleccionaron 36 estacas de la caña de bambú; de las cuales 26 culminaron el proceso de clonación con el uso del sistema automatizado. En la **Tabla 4-3:** se muestra el número de estacas de caña de bambú que iniciaron el proceso de clonación y el número de estacas que finalmente se clonaron.

Tabla 4-3: Clonación de estacas de caña de bambú con automatización.

Estacas de caña de bambú sin clonar	Estacas de caña de bambú clonadas
36	26

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

Mediante el sistema automatizado se obtuvieron resultados favorables, del 100% de estacas que iniciaron el proceso, el 72.22% lo culminaron con éxito. Observándose una notoria mejora en el número de estacas clonadas.

Porcentaje mejorado= $(72.22 - 11.11) \%$

Porcentaje mejorado= 61.11%

El porcentaje de mejora en el número de estacas clonadas es del **61.11%** mediante el sistema automatizado que se implementó en la estación de Experimental INIAP. Se comprobó que el sistema implementado es mucho más robusto y confiable que el sistema convencional.

En el **Gráfico 6-3:** se detalla cual es el porcentaje de especies clonadas por cada uno de los sistemas.

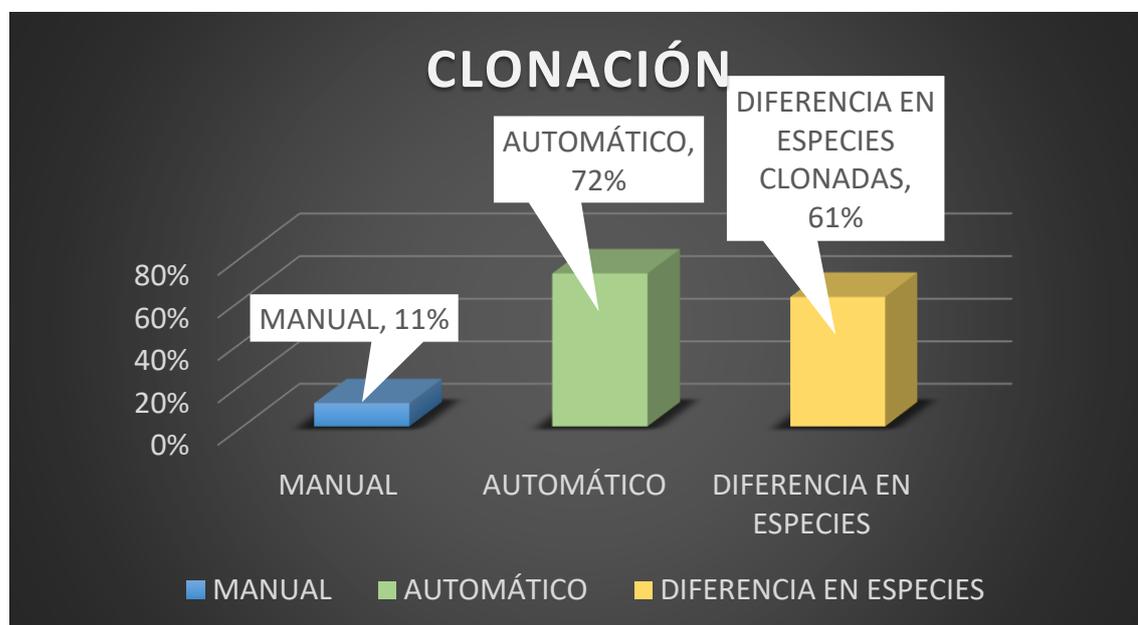


Gráfico 6-3: Porcentaje de especies clonadas por cada uno de los sistemas.

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

En el **Gráfico 7-3:** se detalla cual es el número de especies clonadas por cada uno de los sistemas.

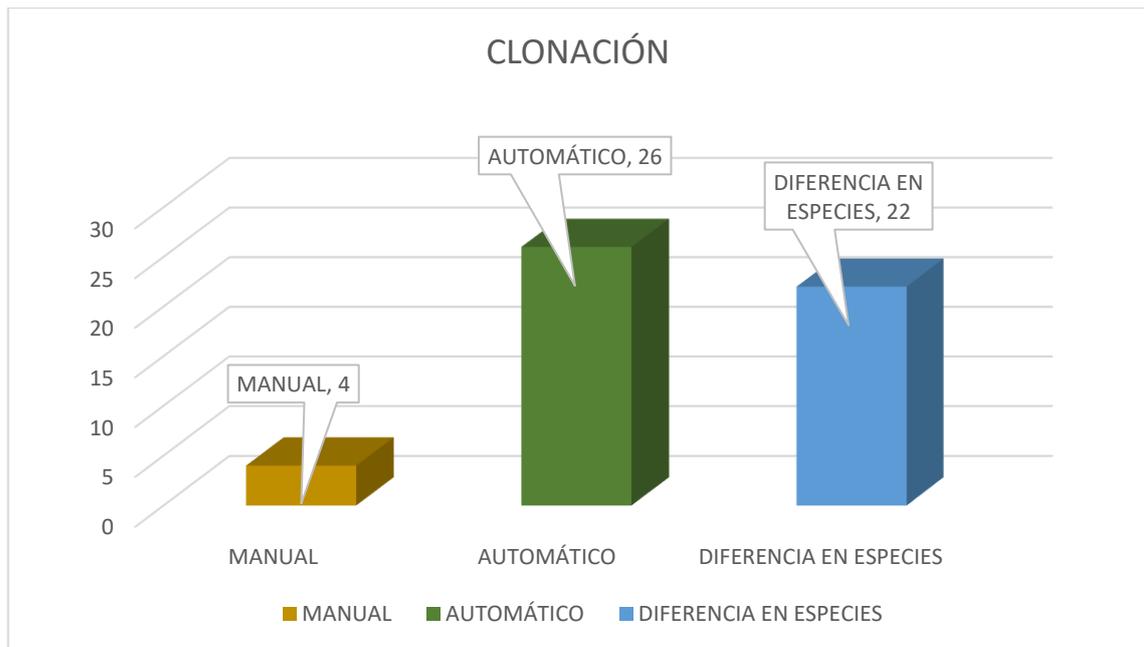


Gráfico 7-3: Número de especies clonadas por cada uno de los sistemas.

Realizado por: ZAMBRANO, Xavier, 2017

CONCLUSIONES

- En el presente proyecto se implementó un sistema automatizado que controla las variables de humedad y temperatura del invernadero de la estación experimental INIAP Santo Domingo con el fin de mejorar y obtener un mayor número de especies clonadas. Además, el sistema implementado garantizó la flexibilidad necesaria para que los técnicos puedan establecer rangos de variaciones aceptables de las variables en función de las especies clonadas.
- El sistema propone dos modos de funcionamiento: Manual y Automático. En el modo automático, los sensores se encargan de enviar la señal de monitoreo a la placa de control, la misma que activa la bomba hidroneumática según las configuraciones realizadas por técnicos capacitados del INIAP. Con esta función los operarios no capacitados no tiene que recurrir a información empírica para el funcionamiento manual del sistema.
- El experimento llevado a cabo con caña de bambú reveló que el sistema automatizado mejoró significativamente el proceso de clonación en comparación con el proceso manual que se realizaba en la estación. De hecho, el número de especies clonadas con el sistema automatizado fue de 26 respecto a las 4 obtenidas con el modo convencional. Esto significó una mejora del 62% respecto al sistema convencional que se usaba en la estación
- Además, los tiempos necesarios para lograr clonaciones exitosas se redujeron de 27 días necesarios con el sistema manual a 21 días usando el sistema automatizado reportado en este trabajo. Esto representó una mejora del 22.22% en recursos de tiempo de clonación, lo cual es muy importante para el INIAP y los procesos de reforestación de la zonas de influencia de la estación experimental.

RECOMENDACIONES

- Es muy importante calibrar los sensores de humedad y temperatura de acuerdo al ambiente que se va a utilizar dependiendo de la región en la que se encuentre.
- Revisar periódicamente las etapas de clonación para así asegurar la reproducción de la mayoría de las especies forestales y de ser necesario ajustar los parámetros de funcionamiento del sistema automatizado.
- Revisar el manual de operación antes de manipular los dispositivos instalados en el sistema; en especial los eléctricos y electrónicos, para así evitar posibles daños en equipos o accidentes al operador.
- Realizar un mantenimiento periódico programado del sistema, con el fin de asegurarse que los equipos tanto hidráulicos, eléctricos y electrónicos estén en buenas condiciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALDANA GARCIA, M.** *La multiplicación por estaca o enraizamiento de ramilla* [En línea], 2014 (Colombia), pp. 5-7. [Citado el: 12 de junio de 2017].
<http://www.gambitana.com/cartillas/CARTILLA%20RAMILLA.pdf>.
2. **ALTEC.** *¿Qué son las Electroválvulas?*. [En línea]. México: Alta Tecnología de Vanguardia S.A de C.V, 2013. [Citado el: 10 de octubre 2017]. Disponible en:
<http://www.altecdust.com/soporte-tecnico/que-son-las-electrovalvulas>
3. **AOSONG ELECTRONICS.** *Capacitive-type humidity and temperature module/sensor* [En línea]. USA: Thomas Lui, 12 de marzo, 2010. [Citado el: 17 de agosto 2017].Disponible en:
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
4. **ARDUINO.** *Arduino mega 2560 rev3* [En línea]. USA: Store Arduino c.c., 15 de enero, 2017. [Citado el: 10 de julio 2017].Disponible en:
<https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>
5. **ASOCIACIÓN PERUANA DEL BAMBÚ PERUBAMBÚ.** *Promoción de la rehabilitación, manejo y uso sostenible de los bosques tropicales de bambú en la región noroccidental del Perú* [En línea]. Perú: Proyecto PD 248/06, 2010. [Citado el: 10 de julio 2017].Disponible en:
[http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/pd428_06/PD%20428-06%20R.2%20\(F\)%20Propagaci%C3%B3n%20G%20Angustifolia.pdf](http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/pd428_06/PD%20428-06%20R.2%20(F)%20Propagaci%C3%B3n%20G%20Angustifolia.pdf)
6. **CARRILLO REVELES David Alejandro; & VÁSQUEZ MINJARES José Luis.** *Automatización de un invernadero con el PLC S7-200 (Tesis de pregrado)*. Universidad Autónoma De Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica Zacatecas - México. 2008, pp. 65-72. [Consulta: 15 de agosto 2017]. Disponible en:
<https://es.scribd.com/document/148904400/Automatizacion-de-un-invernadero-con-el-PLC-S7-200-1b>
7. **COLLNET PRO.** *Nebulizador super fino* [En línea]. México: Netafim, 18 de abril, 2012. [Citado el: 3 de agosto 2017].Disponible en:
http://www.riegoainvernaderos.com.co/images/PDF/COOLNET_PRO_SP_low.pdf

8. **LOZAR BERROCOSA, J.** Equipamientos básicos en invernaderos. *Orticultura* [en línea], 2015, (España) 1 (16), pp. 25-28. [Citado el: 4 de septiembre 2017]. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_1989_52_completa.pdf
9. **FERRE MASIA, Carles.** Automatización y control de los sistemas de un complejo agrícola. (Tesis de pregrado). Universidad Rovira Virgili. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Cataluña España. 2013 pp. 14- 18. Disponible en: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/2049pub.pdf>
[Citado el: 21 de julio de 2017].
10. **GARCÉS HERNÁNDEZ, David Rafael; & JIMÉNEZ ACARO, Sergio Willan.** Sistema de control y monitoreo del Invernadero del centro experimental del riego de la Epoch mediante tecnología Zigbee (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales Riobamba- Ecuador. 2012, pp. 45-50. [Consulta: 05 de agosto 2017]. Disponible en: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/2889/1/108T0052.pdf>
11. **GARCÍA GONZÁLEZ, A.** *DHT22: Sensor de humedad/temperatura de precisión para Arduino* [En línea]. Panamá: Panamahitek, 8 de febrero, 2014. [Citado el: 7 de julio 2017]. Disponible en: <http://panamahitek.com/dht22-sensor-de-humedadtemperatura-de-precision-para-arduino/>
12. **INIAP Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.** *La institución* [En línea]. Estación Experimental de Santo Domingo. [Citado el: 15 de junio, 2017]. Disponible en: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/estaciones/meedom>
13. **ITEAD.** *Nextion nx4024t032 - generic 3.2" hmi tft intelligent lcd touch display module.* USA: Itead.cc, 2015. [Citado el: 10 de septiembre 2017]. Disponible en: <https://www.itead.cc/nextion-nx4024t032.html>
14. **ITEAD.** *NX4024T032.* USA: Itead.cc, 2015. [Citado el: 17 de septiembre 2017]. Disponible en: <https://www.itead.cc/wiki/NX4024T032>

15. **LLAMAS, Luis.** *Medir la humedad del suelo con arduino e higrómetro FC-28* [blog]. 19 de enero 2016. [Citado el: 17 de abril de 2017]. Disponible en:
<https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>
16. **MANTECH.CO.ZA.** *Arduino mega VC* [En línea]. USA: Radionics, 5 de febrero, 2010. [Citado el: 25 de agosto 2017].Disponible en:
<http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>
17. **PAYERAS, ANTONI.** *Mist-System y Fog-System* [En línea]. España: Bonsaimenorca– Artículos, 13 de febrero, 2013. [Citado el: 7 de agosto 2017].Disponible en:
<http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/mist-system-y-fog-system/>
18. **TRUPER.** *Equipo hidroneumático* [En línea]. México: Centro e servicio autorizado Truper, 01 de marzo, 2014. [Citado el: 10 de agosto 2017].Disponible en:
<https://www.truper.com/pdf/manuales/hidr-pres.pdf>
19. **UCONNECTME.** *Sensor de Humedad del suelo FC-28* [En línea]. México: Netafim, 10 de octubre, 2016. [Citado el: 10 de julio 2017].Disponible en:
http://www.uconnectme.com/producto/sensor-de-humedad-del-suelo/?wpp_export=pdf

ANEXOS

ANEXO A. HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL HMI NEXTION LCD 3.2

Nextion Type	Basic
Nextion Models	NX4024T032_011N (N: No touch) NX4024T032_011R (R: Resistive touchscreen)



Specification

	Data	Description
Color	65K (65536) colors	16 bit, 5R6G5B
Layout size	95(L)×47.6(W)×4.6(H)	NX4024T032_011N
	95(L)×47.6(W)×5.8(H)	NX4024T032_011R
Active Area (A.A.)	80.90mm(L)×47.60mm(W)	-
Visual Area (V.A.)	69.60mm(L)×41.76mm(W)	-
Resolution	400×240 pixel	Also can be set as 240×400
Touch type	Resistive	-
Touches	> 1 million	-
Backlight	LED	-
Backlight lifetime (Average)	>30,000 Hours	-
Brightness	200nit (NX4024T032_011N)	0% to 100%, the interval of adjustment is 1%
	180 nit (NX4024T032_011R)	0% to 100%, the interval of adjustment is 1%
Weight	35.5g (NX4024T032_011N)	-
	42.5g (NX4024T032_011R)	-

Electronic Characteristics

	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Operating Voltage		4.75	5	7	V
Operating Current	VCC=+5V, Brightness is 100%	-	85	-	mA
	SLEEP Mode	-	15	-	mA

Power supply recommend: 5V, 500mA, DC

Working Environment & Reliability Parameter

	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Working Temperature	5V, Humidity 60%	-20	25	70	°C
Storage Temperature	-	-30	25	85	°C
Working Humidity	25°C	10%	60%	90%	RH

Interfaces Performance

	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Serial Port Baudrate	Standard	2400	9600	115200	bps
Output High Voltage	IOH=1mA	3.0	3.2	-	V
Output low Voltage	IOL=1mA	-	0.1	0.2	V
Input High Voltage	-	2.0	3.3	5.0	V
Input low Voltage	-	-0.7	0.0	1.3	V
Serial Port Mode	TTL				
Serial Port	4Pin_2.54mm				
USB interface	NO				
SD card socket	Yes (FAT32 format), support maximum 32G Micro SD Card				

Memory Features

Memory Type	Test Conditions	Min	Typical	Max	Unit
FLASH Memory	Store fonts and images	-	-	4	MB
RAM Memory	Store variables	-	3584	-	BYTE

Fuente: <https://www.itead.cc/wiki/NX4024T032>

ANEXO B. HOJA DE ESPECIFICACIONES DE BOMBA HIDRÁULICA

Antes de usar este equipo hidroneumático, debe leer el instructivo

⚠ ADVERTENCIA Lea y siga todas las instrucciones de seguridad y operación para reducir riesgos de daños personales y daños al equipo.

CONSERVE ESTE INSTRUCTIVO

Usted necesitará el instructivo para revisar las reglas de seguridad y precaución, instrucciones de ensamble, procedimientos de mantenimiento y operación, lista y diagrama de partes.

Mantenga su factura junto con este instructivo. Escriba el número de factura en la parte interna de la cubierta frontal. Guarde el instructivo y la factura en un lugar seco y seguro para futuras referencias.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Modelo	Tensión	Frecuencia	Corriente	Velocidad	Diámetro de entrada / salida	Altura máxima	Máxima profundidad	Flujo máximo	Capacidad del tanque
HDR-1/2X24 12277	120 V-	60 Hz	5 A	3 400 r/min	25,4 mm X 25,4 mm (1" X 1")	28 m	9 m	43 L/min	24 L
HDR-1/2X30 12254	120 V-	60 Hz	5 A	3 400 r/min	25,4 mm X 25,4 mm (1" X 1")	28 m	9 m	43 L/min	50 L
HDR-1X100 12259	120 V-	60 Hz	11 A	3 400 r/min	25,4 mm X 25,4 mm (1" X 1")	35 m	9 m	70 L/min	100 L
HDR-1-1/2X150 12257	120 V-	60 Hz	15 A	3 400 r/min	25,4 mm X 25,4 mm (1" X 1")	35 m	9 m	70 L/min	150 L

Ciclo de trabajo: 50 min de trabajo x 20 min de descanso.

Máximo diario 6 horas.

El cable de alimentación tiene sujeta-cables tipo: Y

La clase de construcción del equipo es: Aislamiento reforzado

Clase de aislamiento: Clase OI

La clase de aislamiento térmico de los devanados del motor: Clase B

⚠ ATENCIÓN Si el cable de alimentación se daña, éste debe ser reemplazado por el fabricante o Centro de Servicio Autorizado Truper®, con el fin de evitar algún riesgo de descarga o accidente considerable.

El tipo de sujeta-cables empleado para este equipo es tipo "Y".

La construcción de este equipo está diseñada de manera que su aislamiento eléctrico es alterado por salpicaduras o derramamiento de líquidos durante su operación.

Fuente: <https://www.truper.com/pdf/manuales/hidr-pres.pdf>

ANEXO C. HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL CONTACTOR

AC Contactors CJX1

1. Application

CJX1 series AC contactors are suitable for frequency 50/60Hz, rated insulation voltage up to 1000V, rated operation current 9~475A under AC-3 duty. It is mainly used for making/breaking electric circuit at a long distance & for frequent starting/stopping & with thermal relay to compose a magnetic motor starter. The product conforms to IEC60947-4-1 standard.



2. Specification

Type	CJX1-9 CJX1-12	CJX1-18 CJX1-22	CJX1-32	CJX1-45 CJX1-63	CJX1-75 CJX1-95	CJX1-110 CJX1-140	CJX1-170 CJX1-205	CJX1-250 CJX1-300	CJX1-400 CJX1-475	
Mechanical endurance($\times 10^6$)	10	10	10	8	8	8	8	8	8	
Conventional thermal current(A)	20	30	45	80	100	160	210	300	400/550	
Rated insulation voltage(V)	660	660	660	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
Rated(380V) operating current(A)	AC-3	9/12	16/22	32	45/63	75/95	110/140	170/205	250/300	400/475
	AC-4	3.3/4.3	7.7/8.5	15.6	24/28	34/42	54/68	75/96	110/125	150
Power of controllable motor (KW)AC-3	380V	4/5.5	7.5/11	15	22/30	37/45	55/75	90/110	132/160	200/250
	660V	5.5/7.5	11	23	36/55	67	100	156	235	375
Power of controllable motor (KW)AC-4	380V	1.4/1.9	3.5/4	7.5	12/14	17/21	27/35	38/50	58/66	81
	660V	2.4/3.3	6/6.6	13	20.8/24	29.5/36	46.0/60	66/86	100/114	140
Frequency of operation (1/h)	AC3	1000	750	750	1200/1000	1000/850	1000/750	700/600	700/600	600/420
	AC4	250	250	250	400/300	300/250	300/200	200/130	200/130	150
Electrical endurance ($\times 10^6$)	AC3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
	AC4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
Operating voltage range of coil	(0.8~1.1)U _e									

Fuente: Hoja de especificaciones

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal *Outstanding long-term stability *Extra components not needed
- * Long transmission distance * Low power consumption *4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +-2%RH(Max +-5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+0.3%RH
Long-term Stability	+0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

4. Dimensions: (unit---mm)

1) Small size dimensions: (unit---mm)

ANEXO F. HOJA DE ESPECIFICACIONES DE ARDUINO MEGA

Technical Specification

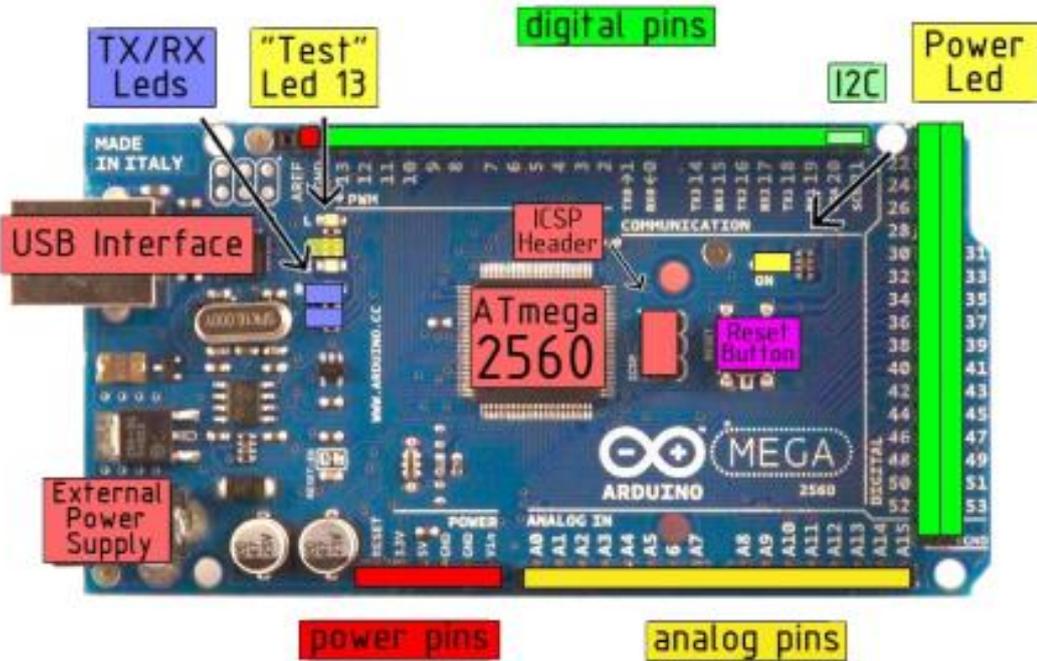


EAGLE files: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#) Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



Fuente: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>

ANEXO G. HOJA DE ESPECIFICACIONES DE NEBULIZADOR COLNET PRO



COOLNET PRO™ NEBULIZADOR SUPER-FINO

APLICACIONES:

Nebulizador estático Super-fino especialmente diseñado para la humidificación y enfriamiento de invernaderos y ganado, y para riego sobre mesas de germinación.

ESPECIFICACIONES:

- Diseño sin puente
- Nebulizador estático, 2 caudales diferentes: 5.5 , 7.5 l/h & una boquilla de conexión
- Caudal Nominal 4.0 bar de presión
- Rango de presión 3.0 - 5.0 bar
- Conector de inserción::
- Ajuste a presión
- 3 configuraciones diferentes:
- 4 boquillas en cruz
- 2 boquillas en "T"
- 1 boquilla recta
- Las boquillas están codificadas en colores
- 5.5 l/h. verde claro
- 7.5 l/h. gris plateado
- Boquilla de conexión: naranja

DATOS DE DESEMPEÑO

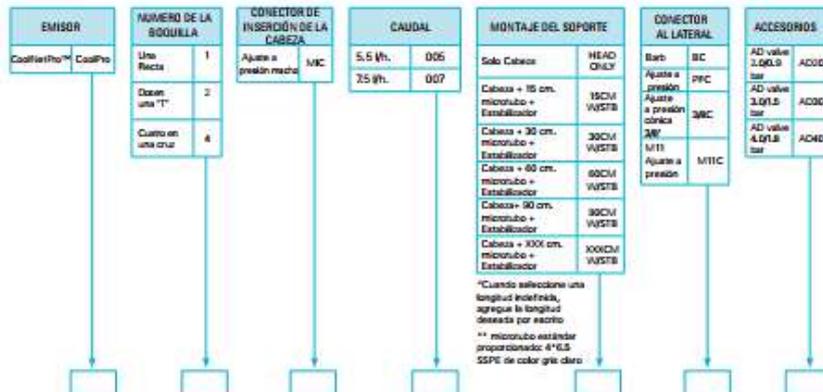
MODELO	CODIGO DE COLOR DE LA BOQUILLA	TAMAÑO DE LA BOQUILLA (MM)	PRESIÓN DE TRABAJO RECOMENDADA (BAR)	€	X
065	Verde claro	0.51	4.0 a 5.0	1.03	0.45
075	Gris plateado	0.61	4.0 a 5.0	1.40	0.45

DATOS DE EMPAQUE

COOLNET PRO™	CANTIDAD P/CAJA UNIDADES	TAMAÑO DE LA CAJA CM X CM X CM	PESO DE LA CAJA KG	CAJAS P/PALET	TOTAL UNIDADES P/PALET	PESO DEL PALET KG.
Cabeza, unidad de cruz con conexión macho	750	18x34x79	11.0	20	15,000	220
Soporte completo (30 cm.) con estabilizador & válvula	150	28x28x57	10.1	32	4,800	323
Soporte completo (60 cm.) con estabilizador & válvula AD	100	18x34x79	8.2	20	2,000	185
Cabeza, unidad T con conexión macho	1,000	28x28x57	14.8	32	32,000	474
Soporte completo (90 cm.) con estabilizador & válvula AD	200	28x28x57	11.0	32	6,400	352
Soporte completo (60 cm.) con estabilizador & válvula AD	100	18x34x79	8.2	20	2,000	173
Cabeza, una salida	5,000	18x34x79	21.5	20	100,000	430

COOLNET™ PRO

Diagrama de flujo para determinar la definición deseada del producto
Como utilizarlo: Para determinar la definición deseada del producto, seleccione una opción de cada set de opciones mostradas en el diagrama.



ANEXO H. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE NEBULIZACIÓN Y RIEGO EN MODO MANUAL

```
if (b1==1){ //Se presionó el botón modo manual-nebulización

while(j1>1){ //ciclo infinito mientras este en modo-manual

//LECTURA DEL PUERTO SERIE
if (Serial1.available(>0){
String boton = myNextion.listen(); // Se toma el valor del puerto serie
boton2=boton;
}

//SE HA PRESIONADO EL BOTÓN ON- SU ACCIÓN ES ACTIVAR LOS ACTUADORES
if (boton2=="65 a 4 0 ffff ffff ffff"){
digitalWrite(B_VERDE,LOW);
digitalWrite(V_NEBULIZACION,LOW);
digitalWrite(B_AGUA,LOW);
} //FIN CICLO ACTIVACION

//SE HA PRESIONADO EL BOTÓN OFF- SU ACCIÓN ES DESACTIVAR LA BOMBA Y LAS ELECTROVÁVULAS
else if (boton2=="65 a 5 0 ffff ffff ffff"){
digitalWrite(B_VERDE,HIGH);
digitalWrite(V_NEBULIZACION,HIGH);
digitalWrite(B_AGUA,HIGH);
} //FIN CICLO DESACTIVACIÓN

//BOTÓN TERMINAR SU ACCIÓN ES DESACTIVAR LOS ACTUADORES Y VOLVER AL INICIO
else if (boton2=="65 a 6 0 ffff ffff ffff"){
j1=0; //para que salga de este ciclo
j=2; //para que entre al ciclo de lectura de botones
b1=0; //encera el valor del b1 que sirve para el control de modo manual o automático
boton2="";
digitalWrite(B_VERDE,HIGH);
digitalWrite(V_NEBULIZACION,HIGH);
digitalWrite(B_AGUA,HIGH);
//ACTIVAR ZUMBADOR PARA INDICAR QUE HA TERMINADO EL PROCESO
digitalWrite(Z_BUZER,LOW);
delay(1000); //
digitalWrite(Z_BUZER,HIGH);
delayMicroseconds(200);
}
} //FIN DEL CICLO WHILE J
} //FIN DEL CICLO B
```

ANEXO I. MANUAL DE OPERACIONES MODO MANUAL



SISTEMA AUTOMATIZADO DE NEBULIZACIÓN Y RIEGO PARA LA CLONACIÓN DE ESPECIES FORESTALES

MANUAL DE OPERACIONES

Con el siguiente manual se pretende brindar información necesaria al usuario, para la correcta operación y funcionamiento del sistema.



FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA



ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA
en
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

AUTOR:
JONATHAN XAVIER ZAMBRANO MENDOZA
2017



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
Fundada en 1972
Riobamba - Ecuador

MANUAL PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE NEBULIZACIÓN Y RIEGO PARA LA CLONACIÓN DE ESPECIES FORESTALES.

“MODO MANUAL”

ESTACIÓN EXPERIMENTAL INIAP SANTO DOMINGO



INiAP
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

A CONTINUACIÓN SE DETALLAN LOS PASOS QUE UD. DEBE REALIZAR PARA EL PROCESO DE CLONACIÓN MODO MANUAL.

- Para encender el tablero de control, se deben activar los breakers fase 1 y fase 2.
- Esperar a que se visualicen las caratulas de presentación con un intervalos de 2 segundos cada una.
- Una vez encendido el tablero, se debe ingresar la contraseña.
- Posteriormente se debe seleccionar que tipo de sistema se desea utilizar, nebulización o riego para ambos sistemas el funcionamiento del modo manual es idéntico.
- Seleccionado el sistema se procederá a escoger la opción modo manual, para poder estar seguro de que se ingresó satisfactoriamente a este modo se activará el zumbador por un tiempo de 1 segundo.

- En esta pantalla existirán tres botones.
- Botón ON da paso a la activación de las electroválvulas del sistema que se seleccionó, el indicador luminoso verde, por último se activará la bomba hidroneumática.
- Botón OFF desactiva los actuadores que se accionaron con el botón ON.
- Botón TERMINAR se puede dar el caso de que estén activados los actuadores por tal motivo este botón permite su desactivación, se activará el zumbador por 1 segundo para indicar que terminó satisfactoriamente el proceso y por último vuelve a la pantalla de inicio.

PROBLEMAS EVENTUALES QUE PUEDEN SURGIR

- En caso de haber seleccionado el modo manual y que no se haya activado el zumbador, esto se origina por que la comunicación entre la pantalla y el microcontrolador se perdió, su solución es presionar el botón de reset del microcontrolador o de bajar y subir nuevamente los breakers.

- Si se presionó el botón de OFF, TERMINAR y aun así siguen activado los actuadores, posiblemente se perdió la comunicación y se debe proceder como en el paso anterior

PARO DE EMERGENCIA

- El botón paro de emergencia se encuentra ubicado debajo de la pantalla HMI, y su función es para por completo al proceso, y solamente debe ser usado cuando sea necesario, caso contrario el proceso se verá interrumpido, lo que origina que el proceso se inicie de nuevo.

ANEXO J. PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE NEBULIZACIÓN Y RIEGO EN MODO AUTOMÁTICO

```
if (b1==2){ //se presiono el modo automático de nebulización

//CICLO WHILE J2 MODO AUTOMÁTICO
while (j2>1){ //ciclo infinito mientras este en modo automatico

//LECTURA DEL PUERTO SERIAL
if (Serial1.available(>0){
    String boton = myNextion.listen(); // Se toma el valor del puerto serie
    boton3=boton;
    Serial.println(boton3);

//BOTÓN VALIDAR EL VALOR DE LA HUMEDAD MAX Y MIN
if (boton3=="65 1b 5 0 ffff ffff ffff"){
    hrmax=myNextion.getComponentValue("hrmax"); //se tomó el valor de la humedad ingresada por el usuario
    hrmin=myNextion.getComponentValue("hrmin"); //se tomó el valor de la humedad ingresada por el usuario
    boton3="";
    delayMicroseconds(200);
}

//BOTÓN VALIDAR EL VALOR DE LA HUMEDAD
if (boton3=="65 b 6 0 ffff ffff ffff"){
    hr=myNextion.getComponentValue("h1"); //se tomó el valor de la humedad ingresada por el usuario
    boton3="";
    v1=1; //variable que me permite conocer si el botón validar ha sido presionado
    delayMicroseconds(200);
}

//BOTÓN EMPEZAR MODO AUTOMÁTICO
if (boton3=="65 b 7 0 ffff ffff ffff"){
    v=1; //variable que inicializa el modo automático
    j2=0; //sale de este ciclo de adquisición de datos
    boton3="";
    time=millis();
    k=time+6000;
    k1=time+20000;
    digitalWrite(Z_BUZER ,LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(Z_BUZER ,HIGH);
    ae=1;
    hrmaxe=hrmax;
    hrmine=hrmin;
    hre=hr;

//SE ALMACENAN LOS VALORES EN LA EEPROM DE ARDUINO MEGA UNA VEZ INICIADO EL PROCESO
EEPROM.write(0,ae);
EEPROM.write(1,hrmaxe);
EEPROM.write(2,hrmine);
```

```

    EEPROM.write(3,hre);
  }
} //FIN CICLO DE LECTURA DEL PUERTO SERIE
} //FIN CICLO WHILE J2

//MODO AUTOMATICO INICIALIZADO
if ((v==1) && (v1==1)){ //variables de control se han presionado los botones [VALIDAR-EMPEZAR]

  hmax=hr+hrmax;
  hmin=hr-hrmin;

  //LECTURA DE BOTONES PARA VISUALIZACIÓN DE LOS TATOS
  if (Serial1.available()>0){
    String boton = myNextion.listen(); // Se toma el valor del puerto serie
    boton4=boton;

    //BOTÓN VER GRAFICA SOLO HUMEDAD
    if (boton4=="65 d 2 0 ffff ffff ffff"){
      z1=2;
      boton4="";
    }

    //BOTÓN VER GRAFICA SOLO TEMPERATURA
    if (boton4=="65 d 3 0 ffff ffff ffff"){
      z1=3;
      boton4="";
    }

    //BOTÓN VER GRAFICA HUMEDAD Y TEMPERATURA
    if (boton4=="65 d 4 0 ffff ffff ffff"){
      z1=4;
      boton4="";
    }

    //BOTÓN VER VALORES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA EN VALORES NUMÉRICOS
    if (boton4=="65 c 5 0 ffff ffff ffff"){
      z1=1;
      boton4="";

    }

    //BOTÓN VER RANGOS MAX Y MIN DE HUMENDAD
    else if (boton4=="65 c a 0 ffff ffff ffff"){
      z1=5;
      boton4="";
    }

    //BOTÓN RESETEAR LOS VALORES DE Z1
    else if ((boton4=="65 e 2 0 ffff ffff ffff")||((boton4=="65 f 2 0 ffff ffff ffff")||((boton4=="65 10 2 0 ffff ffff ffff"))){
      z1=0;
      boton4="";
    }
  }
}

```

```

}
} //FIN DEL DEL CICLO DE LECTURAS POR EL PUERTO SERIE

//GARANTIZO QUE LOS VALORES DE HRMIN Y HRMAX DE NO SER INGRESADOS TENGAN UN VALOR
if ((hrmax==0)&&(hrmin==0)){
    hrmax=3;
    hrmin=3;
}

//LECTURA DEL VALOR DEL MILLIS
time=millis();
delayMicroseconds(200);
digitalWrite(B_VERDE, LOW);

//LECTURA DEL SENSOR CONTROL Y ACTIVACIÓN

if (time>=k1){

    hs2 = dht2.readHumidity();
    tts2 = dht2.readTemperature();
    delayMicroseconds(200);
    h1s2=int(hs2);
    h1s2=h1s2-10;
    t1s2=int(tts2);
    delayMicroseconds(500);
    k1=k1+(20000);
}

if (time>=k){
    h = dht1.readHumidity();
    tt = dht1.readTemperature();
    delayMicroseconds(200);
    h1=int(h);
    t1=int(tt);
    delayMicroseconds(500);
    k=k+(6000);
    m=1;
    cont=cont+1; //contador para almacenar en la sdcard
//CONTROL ENCENDIDO DE LA BOMBA
//BOMBA ACTIVADA
if ((h1<(hr-hrmin))){
    delayMicroseconds(200);
    digitalWrite(V_NEBULIZACION,LOW);
    delayMicroseconds(200);
    digitalWrite(B_AGUA,LOW);
    delayMicroseconds(200);
}

//BOMBA APAGADA
if ((h1>(hr+hrmax)||(h1>=98))){ //control para no exceder el 99% del sensor
    delayMicroseconds(200);
}
}

```

```

digitalWrite(V_NEBULIZACION,HIGH);
delayMicroseconds(200);
digitalWrite(B_AGUA,HIGH);
delayMicroseconds(200);
}

//ESCRITURA DE LOS VALORES EN LA TARJETA SD CARD
if (cont>=100){ //contador que almacena los valores de humedad cada 5 minutos y medio

//ADQUIRIENDO DATOS DEL TIEMPO
t = rtc.getTime();

//ALMACENANDO DATOS EN SDCARD
String Datos_Humedad="";
Datos_Humedad += String(t.dow);
Datos_Humedad += ",";
Datos_Humedad += String(t.year);
Datos_Humedad += ",";
Datos_Humedad += String(t.mon);
Datos_Humedad += ",";
Datos_Humedad += String(t.date);
Datos_Humedad += ",";
Datos_Humedad += String(t.hour);
Datos_Humedad += ",";
Datos_Humedad += String(t.min);
Datos_Humedad += ",";
Datos_Humedad += String(t.sec);
Datos_Humedad += ",";
Datos_Humedad += String(h1);
Datos_Humedad += ",";
Datos_Humedad += String(t1);
Datos_Humedad += ",";
Datos_Humedad += String(h1s2);
Datos_Humedad += ",";
Datos_Humedad += String(t1s2);
Datos_Humedad += ",";
delayMicroseconds(200);
File dataFile = SD.open("datalog.csv",FILE_WRITE);
delayMicroseconds(200);

if (dataFile){
  dataFile.println(Datos_Humedad);
  dataFile.close();
  delayMicroseconds(200);
  cont=0;
}

}

//ESCRITURA DE VALORES NUMERICOS EN LA PANTALLA
if ((z1==1)){

```

```
myNextion.setComponentValue("page17.n0",h1);
delayMicroseconds(300);
myNextion.setComponentValue("page17.n1",t1);
delayMicroseconds(300);
myNextion.setComponentValue("page17.n2",h1s2);
delayMicroseconds(300);
myNextion.setComponentValue("page17.n3",t1s2);
delayMicroseconds(300);
}
```

```
if ((z1==5)){
  myNextion.setComponentValue("page28.n0",hmin);
  myNextion.setComponentValue("page28.n1",hmax);
  delayMicroseconds(200);
}
}
```

//GRAFICA DE LOS VALORES DE HUMEDAD

```
if ((z1==2) && (m==1)){
  String c="add ";
  c +=1;
  c +=",";
  c +=1;
  c +=",";
  c +=(h1*2);
  c += "\xFF\xFF\xFF";
  nextion.print(c);
  m=0;
  delayMicroseconds(200);
}
```

//GRAFICA DE LOS VALORES DE TEMPERATURA

```
if ((z1==3) && (m==1)){
  String comando="add ";
  comando +=1;
  comando +=",";
  comando +=0;
  comando +=",";
  comando +=(t1*2);
  comando += "\xFF\xFF\xFF";
  nextion.print(comando);
  m=0;
  delayMicroseconds(200);
}
```

//GRAFICA DE LOS VALORES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA

```
if ((z1==4) && (m==1)){
  String comando="add ";
  comando +=1;
  comando +=",";
  comando +=0;
```

```

comando += ",";
comando +=(t1*2);
comando += "\xFF\xFF\xFF";
nextion.print(comando);
String c="add ";
c +=1;
c += ",";
c +=1;
c += ",";
c +=(h1*2);
c += "\xFF\xFF\xFF";
nextion.print(c);
m=0;
delayMicroseconds(200);
}

//BOTON PARO Y CONTINUAR
if (boton4=="65 c 6 0 ffff ffff ffff"){
  boton4="";
  delayMicroseconds(200);
  digitalWrite(B_AGUA,HIGH);
  delayMicroseconds(200);
  digitalWrite(B_VERDE, HIGH);
  delayMicroseconds(200);
  digitalWrite(B_NARANJA, LOW);
  delayMicroseconds(200);
  digitalWrite(Z_BUZER, LOW);
  delayMicroseconds(200);
for( ; ;){
  if (Serial1.available(>0){
    String boton = myNextion.listen(); // Se toma el valor del puerto serie
    String boton5=boton;
    delayMicroseconds(200);

    if (boton5=="65 c 8 0 ffff ffff ffff"){
      delayMicroseconds(200);
      digitalWrite(B_NARANJA, HIGH);
      delayMicroseconds(200);
      digitalWrite(Z_BUZER, HIGH);
      delayMicroseconds(200);
      digitalWrite(B_VERDE, LOW);
      delayMicroseconds(200);
      break;
    }
  }
}
}

//BOTON TERMINAR PROCESO
if (boton4=="65 c 7 0 ffff ffff ffff"){

```

```
v=0;
v1=0;
b1=0;
j=2;
j2=2;
boton4="";
ae=0;
EEPROM.write(0, 0);
EEPROM.write(1, 0);
EEPROM.write(2, 0);
EEPROM.write(3, 0);

digitalWrite(B_ROJO, LOW);
delayMicroseconds(200);
digitalWrite(B_NARANJA, HIGH);
delayMicroseconds(200);
digitalWrite(B_VERDE, HIGH);
delayMicroseconds(200);
digitalWrite(Z_BUZER, LOW);
delayMicroseconds(200);
digitalWrite(V_NEBULIZACION, HIGH);
delayMicroseconds(200);
digitalWrite(V_RIEGO, HIGH);
delayMicroseconds(200);
digitalWrite(B_AGUA, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(B_ROJO, HIGH);
digitalWrite(Z_BUZER,HIGH);
}
}
}
```

ANEXO K. MANUAL DE OPERACIONES DEL MODO AUTOMÁTICO



SISTEMA AUTOMATIZADO DE NEBULIZACIÓN Y RIEGO PARA LA CLONACIÓN DE ESPECIES FORESTALES

MANUAL DE OPERACIONES

Con el siguiente manual se pretende brindar información necesaria al usuario, para la correcta operación y funcionamiento del sistema en el modo automático.



FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA



ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA
en
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

AUTOR:
JONATHAN XAVIER ZAMBRANO MENDOZA
2017



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
Fundada en 1972
Riobamba - Ecuador

MANUAL PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE NEBULIZACIÓN Y RIEGO PARA LA CLONACIÓN DE ESPECIES FORESTALES.

“MODO AUTIMÁTICO”

ESTACIÓN EXPERIMENTAL INIAP SANTO DOMINGO



INiAP
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

A CONTINUACIÓN SE DETALLAN LOS PASOS QUE UD. DEBE REALIZAR PARA EL PROCESO DE CLONACIÓN DE ESPECIES FORESTALES MODO AUTOMÁTICO.

- Para encender el tablero de control, se deben activar los breakers fase 1 y fase 2.
- Esperar a que se visualicen las caratulas de presentación con un intervalos de 2 segundos cada una.
- Una vez encendido el tablero, se debe ingresar la contraseña.
- Posteriormente se debe seleccionar que tipo de sistema se desea utilizar, nebulización o riego para ambos sistemas el funcionamiento del modo automático es idéntico.
- Seleccionado el sistema se procederá a escoger la opción modo automático, para estar seguro de que se ingresó satisfactoriamente a este modo se activara el zumbador por un tiempo de 1 segundo.
- Aquí se deben ingresar los rangos en los cuales se encontrara la humedad relativa, HRMAX, HRMIN, para garantizar que el microcontrolador reciba la información se debe presionar el botón validar y posteriormente el botón continuar.
- En esta pantalla se debe seleccionar el valor de humedad relativa en la cual se encontraran las

estacas a ser clonadas para garantizar que el microcontrolador reciba la información se debe presionar primeramente el botón validar y posteriormente el botón continuar, lo que origina que se active el zumbador por 1 segundo y el indicador luminoso verde, ocasionando el inicio del proceso.

- En esta pantalla se podrá realizar un monitoreo en tiempo real de la variables que intervienen en la etapa de clonación así como de pausar y terminar el proceso.
- En el apartado de grafica se debe presionar el botón de ver, en la siguiente pantalla existen 4 botones que son, grafica de humedad relativa, grafica de temperatura, una gráfica de ambas y volver esta opción nos regresa a la pantalla de monitoreo en tiempo real, cabe mencionar que estas magnitudes físicas se graficaran con respecto al tiempo en las pantallas que se está graficando en tiempo real se puede salir presionando el botón volver.
- En humedad relativa máxima y mínima se debe presionar el botón ver, en la siguiente pantalla se indicaran los valores max-min, con lo que se encuentra funcionando el sistema.
- En valores numéricos se debe presionar el botón ver, en la siguiente pantalla se mostraran en forma numérica los valores de, si es el caso de nebulización humedad relativa y temperatura en el interior del invernadero y en el exterior, si es el caso de riego solo el valor de la humedad relativa.

- Botón PARO permite a los técnicos encargados del monitoreo de las estacas ingresar evitando que se active el sistema para lo cual se le incorpora el zumbador y el indicador luminoso anaranjado los cuales estarán activados mientras se permanezca en el interior del invernadero.
- Botón CONTINUAR este permite que el sistema regrese a la normalidad.
- Botón TERMINAR este botón, pone fin al proceso, activando el zumbador y el indicador luminoso rojo.

PROBLEMAS EVENTUALES QUE PUEDEN SURGIR

- En caso de haber seleccionado el modo automático y que no se haya activado el zumbador en las etapas indicadas anteriormente, esto se origina por que la comunicación entre la pantalla y el microcontrolador probablemente se perdió, su solución es presionar el botón de reset del microcontrolador o de bajar y subir nuevamente los breakers.
- Si se presiona los botones de graficar, ver humedad relativa máxima y mínima o ver valores numéricos, y no se observa ninguna actividad en la pantalla es posible que se haya se perdió la comunicación y se debe proceder como en el paso anterior

Fuente: ZAMBRANO, Xavier, 2017