



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

“Sistema electrónico para el monitoreo y control de cultivos utilizando tecnología inalámbrica en la comunidad La Unión del cantón Quero mediante software libre”.

Trabajo de Graduación Modalidad: TEMI Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

SUBLINEA DE INVESTIGACIÓN: Sistemas Embebidos

AUTOR: Rojas Pérez Mauro Israel

TUTOR: Ing. M.Sc. Julio Cuji

Ambato – Ecuador

Febrero 2015

APROBACIÓN POR EL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: “SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE CULTIVOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA INALÁMBRICA EN LA COMUNIDAD LA UNIÓN DEL CANTÓN QUERO MEDIANTE SOFTWARE LIBRE” del señor Rojas Pérez Mauro Israel, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones , de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe de investigación reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

EL TUTOR

Ing. M.Sc. Julio Cuji

AUTORÍA DE LA TESIS

El presente trabajo de investigación titulado “SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE CULTIVOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA INALÁMBRICA EN LA COMUNIDAD LA UNIÓN DEL CANTÓN QUERO MEDIANTE SOFTWARE LIBRE” es absolutamente original, auténtico y personal en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicas que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Febrero 2015

Mauro Israel Rojas Pérez

CC.: 180382287-1

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE CULTIVOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA INALÁMBRICA EN LA COMUNIDAD LA UNIÓN DEL CANTÓN QUERO MEDIANTE SOFTWARE LIBRE” presentado por el señor Rojas Pérez Mauro Israel de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de Graduación para obtener el título Terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Msc. Vicente Morales L.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Mg. Santiago Manzano
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Mg. Santiago Altamirano
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado primeramente a Dios quien me guío y cuidó toda mi vida, A las personas que me dieron la vida mis Padres quienes siempre me apoyaron en todos los momentos de mi vida, con ellos aprendí muchos valores que me permitieron perseverar y esforzarme para alcanzar cualquier meta propuesta, al amor de mi vida que con su apoyo incondicional me acompaño y ayudo para salir adelante siempre.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar por haberme permitido aprender y compartir tantos momentos a lo largo de mi carrera, vida personal y vida laboral.

A mis padres Julio, Angélica y a mis hermanos Evelyn y Erick por animarme, apoyarme, amarme y educarme siempre de la mejor manera.

Al ingeniero Julio Cuji por esa paciencia y apoyo brindados a lo largo de la ejecución de este trabajo, a todo el equipo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial que de una u otra manera siempre me han apoyado. A mis amigos compañeros que siempre nos apoyamos a lo largo de la carrera.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN POR EL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DE LA TESIS.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xvii
CAPÍTULO I.....	18
EL PROBLEMA.....	18
1.1 Tema.....	18
1.2 Planteamiento del Problema.....	18
1.3 Delimitación.....	20
Delimitación de Contenido:.....	20
Delimitación Espacial:.....	20
Delimitación Temporal:.....	20
1.4 Justificación.....	21
1.5 Objetivos.....	22
1.5.1 Objetivo General.....	22
1.5.2. Objetivos Específicos.....	23
CAPÍTULO II.....	24
MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Antecedentes Investigativos.....	24
2.2 Fundamentación Teórica.....	26
2.2.1 Agricultura en el Ecuador.....	26
a. Cultivos de la sierra ecuatoriana.....	26
b. Enfermedades.....	27
c. Plagas.....	27
2.2.2 Invernaderos.....	28
2.2.3 Ventajas de un Invernadero.....	28
2.2.4 Tipos y selección de Invernaderos.....	29
2.2.5 Invernadero tipo capilla.....	30
a. Ventajas de un invernadero tipo capilla:.....	31
b. Desventajas de un invernadero tipo capilla.....	32
c. Elementos estructurales del invernadero.....	32
d. Pasos para la construcción de un invernadero tipo capilla.....	33
2.2.6 Invernadero tipo cercha.....	33
a. Ventajas de un invernadero tipo cercha.....	34
b. Desventajas.....	35
c. Elaboración de la cercha.....	35
d. Costo de construcción de dos tipos de invernadero.....	35

e. Factores que influyen en el establecimiento de un invernadero.....	36
Suelo.....	36
Topografía.....	37
Agua.....	37
Viento.....	37
Ubicación.....	38
Vías de acceso.....	38
Disponibilidad de energía eléctrica.....	39
Condiciones climáticas.....	39
2.2.7 Invernadero Inteligente.....	40
2.2.8 Sistema para control de invernadero.....	40
a. Sistema de control electrónico.....	40
b. Sensores.....	41
b.1 Clasificación.....	42
Atendiendo a su funcionamiento.....	42
Activos:.....	42
Pasivos:.....	42
Atendiendo a las señales que proporcionan.....	43
Analógicos:.....	43
Digitales:.....	43
Atendiendo a la naturaleza de su funcionamiento.....	43
Posición:.....	43
Fotoeléctricos:.....	43
Magnéticos:.....	44
Temperatura:.....	44
Humedad:.....	44
Presión:.....	44
Movimiento:.....	44
Químicos:.....	44
Atendiendo a los elementos utilizados en su fabricación:	45
Mecánicos:.....	45
Resistivos:.....	45
Capacitivos:.....	45
Inductivos:.....	45
b.2 Características de los sensores.....	46
c. Sensor de Humedad.....	48
c.1 El sensor de humedad HCH1000.....	49
d. Termistor.....	51
Termistor NTC.....	52
e. Sensores de Temperatura.....	53
El Sensor Analógico LM335.....	54
f. Sensores arduino.....	56
DHTxx.....	56
Conexión a un sensor DHTxx.....	56
2.2.9 Sistema de Comunicación.....	57
a. Interfaces de Comunicación.....	58

b. Software de control y supervisión.....	60
Adquisición de datos:.....	60
Supervisión:.....	61
Control:.....	61
Transmisión:.....	61
Base de datos:.....	61
Presentación:.....	61
Explotación:.....	61
Interface Hombre-Máquina.....	62
Unidad Central (MTU).....	62
Unidades remotas (RTUs).....	62
Transductores.....	63
c. Comunicación inalámbrica.....	63
c.1 Arquitectura de redes Wi-Fi.....	64
c.2 Elementos de una red Wi-Fi.....	64
Punto de acceso (AP):.....	64
Antena:.....	64
c.3 Topologías en las redes Wi-Fi.....	65
c.4 Estándares Wi-Fi.....	66
CAPÍTULO III.....	68
METODOLOGÍA.....	68
3.1 Modalidad de la Investigación.....	68
3.1 Modalidad de la Investigación.....	68
.....	68
3.2 Población y Muestra.....	69
3.3 Recolección de Información.....	69
3.3 Recolección de Información.....	69
3.4 Procesamiento y Análisis de la Información.....	69
3.5 Desarrollo del Proyecto.....	70
CAPÍTULO IV.....	72
DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	72
4.1 Propuesta.....	74
Requerimientos.....	74
4.1.1 Control Climático.....	75
a) Temperatura y Humedad Relativa.....	75
b) Ventilación.....	76
4.1.2 Sistema de riego.....	76
4.1.3. Control de Humedad del suelo.....	77
4.1.4 Sistema de comunicación.....	77
a) Red Cableada.....	78
b) Red Inalámbrica.....	78
4.2 Diseño del Invernadero Inteligente.....	79
4.2.1 Variables y condiciones del sistema electrónico:.....	80
4.2.2 Invernadero.....	81
4.2.2 Invernadero.....	81
4.2.3 Siembra.....	82

4.2.4 Sistema de control.....	83
a. Selección de equipos de control:.....	83
b. Selección de Tarjeta Máster.....	83
c. Selección del dispositivo Esclavo.....	87
d. Selección de los Sensores:.....	87
d.1 Sensor de temperatura:.....	87
d.2 Sensor de humedad del suelo y detector de lluvia :.....	89
e. Selección de Actuadores:.....	90
e.1 Riego.....	90
e.2 Ventilación.....	91
Ventilación Natural:.....	91
Ventilación forzada:.....	92
Techo:.....	93
Calefactor:.....	93
a) Control manual.....	95
b) Control automático.....	96
4.2.5 Descripción de los sistemas.....	96
a. Sistema de riego.....	99
b. Sistema de ventilación.....	99
4.2.6 Sistema de comunicación.....	101
a. Comunicación serial.....	102
b. Comunicación inalámbrica.....	102
b.1 Perfil del terreno.....	105
b.2 Primera zona de Fresnel.....	107
b.3 Reflexión, difracción y atenuación.....	108
b.4 Atenuación:.....	108
b.5 Reflexión:.....	109
b.6 Difracción:.....	109
b.7 Balance del enlace.....	110
4.3 Desarrollo de la aplicación.....	113
4.4 Pruebas de funcionamiento:.....	114
4.5 Presupuesto del sistema:.....	121
CAPITULO V.....	122
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	122
5.1 Conclusiones:.....	122
5.2 Recomendaciones:.....	122
BIBLIOGRAFÍA.....	124
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	129
ANEXOS.....	131
ANEXO A.....	132
DATASHEET Y CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS.....	132
Conexión de los sensores DHTxx con Arduino-Uno y Raspberry Pi.....	133
Sensor de Humedad del Suelo (FC-28) y sensor de Lluvia (YL-83).....	133
Tarjetas Arduino :.....	136
Tarjeta Raspberry Pi:.....	137
ANEXO B.....	138

TUTORIAL DE APLICACIÓN DEL INVERNADERO.....	138
Introducción:.....	139
ANEXO C.....	142
PROGRAMACIÓN DEL INVERNADERO INTELIGENTE.....	142
Diagramas de Flujo:.....	143
Código de programación de Raspberry Pi:.....	147
ANEXO D.....	149
ENTREVISTAS REALIZADAS.....	149

ÍNDICE FIGURAS

Figura 2.1: Estructura de un Invernadero.....	31
Figura 2.2: Invernadero tipo cercha.....	34
Figura 2.3: Diagrama de un Sistema de Control.....	41
Figura 2.4: Clasificación de sensores atendiendo a su funcionamiento.....	42
Figura 2.5: Señal analógica y señal digital.....	43
Figura 2.1: Clasificación atendiendo a la naturaleza de funcionamiento.....	45
Figura 2.1: Clasificación atendiendo a los elementos utilizados en su fabricación.....	46
Figura 2.2: Varios sensores de humedad.....	49
Figura 2.3: Características del sensor HCH1000.....	50
Figura 2.4: Símbolo y ecuación de un Termistor.....	51
Figura 2.5: Termistor NTC.....	52
Figura 2.6: Curva característica de termistores NTC.....	53
Figura 2.7: Encapsulado del LM335.....	54
Figura 2.8: Conexión de sensores DHT.....	57
Figura 2.9: Sistema de Comunicación.....	58
Figura 4.1: Terreno listo para la siembra.....	72
Figura 4.2: Conexión entre Raspberry pi y Arduino uno.....	78
Figura 4.3: Red Inalámbrica.....	79
Figura 4.4: Sistema del invernadero.....	80
Figura 4.5: Medidas y estructura del invernadero.....	82
Figura 4.6: Terreno listo para la siembra.....	82
Figura 4.7: Tarjeta Raspberry Pi.....	86
Figura 4.8: C.I. LM393 y sensor FC-28.....	90
Figura 4.9: Diseño de ventilación.....	91
Figura 4.10: Ventilación Forzada del invernadero.....	94
Figura 4.11: Diagrama del control manual.....	95
Figura 4.12: Diagrama del control automático.....	96
Figura 4.13: Distribución de los sensores.....	97
Figura 4.14: Conexión de los sensores y actuadores.....	98
Figura 4.15: Diseño del sistema de control.....	98
Figura 4.16: Sensor de humedad del suelo.....	99
Figura4.17: Conexión del sistema de Ventilación.....	100
Figura 4.18: Conexión Análoga y Digital.....	100
Figura 4.19: Conexión del sistema de ventilación V2.....	101
Figura 4.20: Área exacta a cubrir.....	105
Figura 4.21: Perfil del terreno.....	107
Figura 4.22: Primera zona de Fresnel.....	108
Figura 4.23: Balance del enlace.....	111
Figura 4.24: Software desarrollado en QT Creator.....	114
Figura 4.25: Prueba de conectividad desde el invernadero hasta la Vivienda.....	115
Figura 4.26: Prueba de conectividad desde la vivienda hasta el invernadero.....	115
Figura 4.27: Conectividad con la tarjeta Raspberry Pi.....	116
Figura 4.28: Interfaz gráfica del sistema del invernadero.....	117
Figura 4.29: Ejemplo de Activación del puerto Arduino.....	117

Figura 4.30: Ventilación Activada.....	118
Figura 4.31: Indicador del Sistema de Riego Activado.....	118
Figura 4.32: Indicador de Techo Abierto.....	119
Figura 4.33: Indicador de Techo Cerrado.....	119
Figura 4.34: Indicador de Modo Manual.....	119
Figura 4.35: Indicador de Modo Automático.....	120
Figura 4.36: Monitoreo de Temperatura y Humedad.....	120
Figura A.1: Conexión de sensores DHTxx con Arduino.....	133
Figura A.2: Conexión de sensores DHTxx con Raspberry Pi.....	133
Figura A.3: datasheet del amplificador operacional LM393.....	134
Figura A.4: Conexión C.I LM393.....	135
Figura A.5: Conexión entre C.I. LM393 y FC-28.....	135
Figura A.6. Conexión entre C.I. LM393 y el sensor YL-83.....	136
Figura A.7: Datasheet del Arduino-Uno.....	136
Figura A.8: Raspberry Pi y sus pines.....	137
Figura B.1: Ejemplo de selección de cultivo.....	139
Figura B.2: Selección Modo Manual.....	140
Figura B.3: Ejemplo de activación de actuadores.....	140
Figura B.4: Activado Modo Automático.....	141
Figura C.1:Diagrama de Flujo Sistema de Riego.....	143
Figura C.2: Diagrama de Flujo Sistema de ventilación.....	144
Figura C.3: Diagrama de Flujo Humedad relativa.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tipo de sensores más utilizados.....	48
Tabla 2.2: Especificaciones de sensores arduino.....	56
Tabla 2.3: Especificaciones Técnicas Sensor DHT11.....	57
Tabla 4.1: Variables del sistema electrónico.....	80
Tabla 4.2: Tabla comparativa entre modelos Raspberry Pi.....	84
Tabla 4.3 : Tabla de datos de la tarjeta BEAGLEBONE Negro.....	85
Tabla 4.4: Comparativa entre Sensores de temperatura.....	88
Tabla 4.5: Rangos de variables en cultivos.....	101
Tabla 4.6: Evolución del Estándar 802.11.....	102
Tabla 4.7: Equipos de radiofrecuencia.....	103
Tabla 4.8: Especificaciones de transmisión y recepción.....	104
Tabla 4.9: Perfil del terreno.....	105
Tabla 4.10: Atenuación en cable UTP para 900m de cable rígido.....	110
Tabla 4.11: Presupuesto del sistema.....	121

RESUMEN

En el caserío La Unión del cantón Quero una de las principales fuentes de ingresos económicos es la agricultura, que en su mayoría es realizado a la intemperie sin considerar cambios bruscos de temperatura que en la actualidad se presentan con mucha frecuencia. La implementación de un Invernadero que mediante una aplicación permita monitoreo y control de los factores climáticos, humedad relativa y humedad del suelo ayudan considerablemente manteniendo el equilibrio de estos tres factores permitiendo al agricultor tener más confianza para poder invertir en los distintos cultivos de la zona. Al mantener un nivel de temperatura óptimo mediante cada uno de los equipos y procesos del sistema los costos de producción de los cultivos se reduce porque los tiempos de crecimiento de las plantaciones son menores y además se utiliza menos cantidad de agroquímicos, provocando ahorro en dinero y protección de la salud del agricultor y del consumidor del producto agrícola cosechado.

La vivienda del agricultor en la mayoría de los casos no se encuentra cerca de los cultivos, por este motivo se traslada al terreno cultivado diariamente o varias veces al día; ocasionando pérdida de tiempo y algunas veces hasta pérdidas económicas, una ayuda importante para ahorro de tiempo es la opción de un monitoreo y control inalámbrico del invernadero desde el domicilio mediante el estudio del radio enlace, por tanto el traslado al invernadero será solo cuando exista la necesidad de trabajos como: siembra, limpieza de maleza, cosecha, etc.

ABSTRACT

In the neighborhood La Unión of the canton Quero one of the main sources of economic income is agriculture , that is mostly carried out outdoors without regard to abrupt changes of temperature that currently are very frequent. The implementation of a greenhouse that use an application allows the monitoring of climatic factors, relative humidity and ground humidity, helps which notably to maintain to balance of these tree factors allowing the farmer to be more confident in his invest in the different crops to the zone.

By maintaining on temperature the cost of production reduced the time of grow crop are less and use less agrochemicals, which saves money and protects the health of the farmer and consumer of agricultural product harvested.

The residence of the farmer in the many cases is not near to the crops, for this reason the farmer move to the terrain cultivated daily or many times each day; which causes losses of time and sometimes economic losses, a main help for saving time is the option of the monitoring and wireless control of greenhouse from house, for this reason the farmer moves to the greenhouse only when work`s necessary such as: planting, cleaning of plants, harvest, etc.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se analiza la implementación de un prototipo Inteligente de Invernadero en la comunidad La Unión del cantón Quero, el mismo que posee características de control de factores climáticos, humedad del suelo y humedad relativa, además el monitoreo y control se lo puede hacer remotamente desde el lugar de vivienda del agricultor, permitiendo mejorar la calidad de los cultivos de la zona.

En el primer capítulo se expone el problema de investigación ha ser desarrollado en el cual se incluye: Planteamiento del problema, además los objetivos generales y específicos del proyecto.

En el segundo capítulo se enuncian los conceptos, definiciones que ayudarán en la selección de los sistemas más óptimos para desarrollar el proyecto, incluyendo los tipos de invernaderos, sensores y actuadores mas utilizados para monitorear y controlar remotamente un invernadero, permitiendo encontrar los elementos compatibles con el dispositivo máster.

En el tercer capítulo se indica las modalidades de investigación realizadas en el proyecto, además describe los procesos y distribución de tiempo para la correcta ejecución de la investigación.

En el cuarto capítulo se Desarrolla la propuesta la que incluye: requerimientos, diseño y pruebas de funcionamiento de todos los dispositivos a utilizar para el sistema de comunicación serial Arduino y el radio enlace Wi-Fi Ubiquiti.

En el quinto capítulo se dan las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación desarrollado.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema

“SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE CULTIVOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA INALÁMBRICA EN LA COMUNIDAD LA UNIÓN DEL CANTÓN QUERO MEDIANTE SOFTWARE LIBRE”.

1.2 Planteamiento del Problema

Los factores climáticos afectan al sector agropecuario de nuestro país de forma permanente, pues la inestabilidad en las condiciones climáticas reflejan repercusiones en las siembras de sus principales producciones, con esta variación climática se ha favorecido la presencia de plagas e insectos que al no ser controlados hacen que los productos agrícolas sean de baja calidad e incluso la pérdida total o parcial de los cultivos.

Las condiciones ambientales se ven afectadas tanto por el calentamiento global y la ubicación geográfica de nuestro país, razón por la cual al no tener un monitoreo permanente el agricultor desconoce el estado real de sus plantaciones además en su gran mayoría se encuentran alejadas de su lugar de vivienda e incluso al tener un monitoreo se presenta la necesidad de poder controlar parcial o totalmente variables climáticas.

Uno de los ingresos económicos principales para los habitantes de las zonas Rurales en la provincia de Tungurahua es la agricultura la cual se ve afectada por todas las condiciones que a nuestra región le corresponden sumado a la presencia de plagas afectan en gran magnitud el crecimiento normal de los sembríos, que aun en condiciones aceptables del ambiente necesita de ayuda de compuestos químicos para eliminación de plagas los mismos que usados indiscriminadamente afectan la salud de los habitantes de la provincia e incluso los de fuera de la provincia.

En el cantón Quero los dueños de cultivos hacen inversiones o cualquier tipo de endeudamiento para poder adquirir semillas, preparar el terreno y tener un adecuado cuidado en el crecimiento de los sembríos, pero a medida que pasan los días el no poder controlar permanentemente los factores ambientales, produce perdidas en la producción desde el inicio de la siembra, por esta razón las semillas no logran crecer con normalidad y sufren diversas complicaciones que llevan a dañarse tempranamente e incluso el producto termina siendo afectado en tamaño, color y grosor, lo cual pone en el mercado un producto de bajo costo, lo que genera pérdida económica y conlleva a mayor endeudamiento de los agricultores.

1.3 Delimitación

Delimitación de Contenido:

Línea de investigación: Sistemas Electrónicos.

Sublíneas de investigación: Sistemas Embebidos.

Área académica: Física y Electrónica.

Delimitación Espacial:

El proyecto de investigación se realizará en el Barrio La Unión del Caserío Pueblo Viejo del Cantón Quero.

Delimitación Temporal:

La presente investigación se la llevará a cabo en seis meses a partir de la aprobación del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.4 Justificación

Para poder ayudar a los productores en el proceso de cultivo de los productos es necesario buscar propuestas que ayuden a tener un seguimiento y control de los factores ambientales que pueden afectar gravemente a los cultivos.

Una de las formas de aumentar calidad de los productos es el control y monitoreo de cada una de las actividades que se desarrollan tanto dentro como fuera del ambiente en el que se está cultivando permitiendo así a la persona que lleva el control tomar decisiones e incluso poder actuar de una manera eficaz para solucionar problemas o inconvenientes que pueden aparecer en el proceso.

En el caserío la Unión del cantón Quero las condiciones ambientales no son predecibles en ocasiones las lluvias abundantes pueden llegar a pudrir el producto por otro lado el exceso de calor produce que la semilla se seque y no germine adecuadamente, por estas razones el sistema electrónico de monitoreo y control será para la ventilación, heladas y humedad del suelo el mismo que mediante un terminal inalámbrico permitirá al usuario tomar decisiones en la siembra para que si aparece una temperatura superior o inferior a la que necesita el producto agrícola el sistema electrónico emitirá señales de advertencia

para temperatura, además permitirá conocer si el suelo esta con la humedad necesaria para que los productos no encarezcan su precio en los mercados ya que al no controlar factores ambientales que se presenta una falta de abastecimiento normal de los productos a los diferentes mercados, los comerciantes se ven obligados a elevar costos lo cual afecta a la economía de toda la sociedad. Por lo tanto se debe tomar muy en cuenta en el proceso de cultivo de cualquier tipo de semilla, la mayor parte de personas dejan este punto al azar debido a que sin importar la hora, el clima puede variar de una manera brusca la misma que afecta de manera considerable al crecimiento normal de cualquier plantación.

Los beneficiarios directos de esta investigación serán los productores que son las personas que inviertan en cultivos y los consumidores de estos productos agrícolas de vital importancia para la alimentación diaria de todos los ecuatorianos.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Implementar un prototipo de un sistema electrónico para el monitoreo y control de cultivos mediante la tecnología inalámbrica en la comunidad La Unión del cantón Quero mediante software libre.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Analizar los procesos que se emplean para el cultivo de terrenos en la comunidad La Unión.
- Identificar las variables climáticas que intervienen en el proceso cultivo de terrenos en la comunidad La Unión.
- Diseñar el prototipo de un sistema electrónico para el monitoreo y control inalámbrico de cultivos utilizando software libre.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos

En el trabajo de Oziel Lugo Espinosa del Centro Universitario UAEM Texcoco del estado de México presentado en agosto del 2013 muestra un Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre el mismo que cuenta con un paquete para la construcción y adaptación de sensores para medir las variables climatologías [1].

En el trabajo realizado por Sarahí Fernández Sánchez y Eduardo Osorio Hernández de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Veracruzana presentado en Baja California en Octubre del 2013 muestra un control de Temperatura de un Invernadero a Escala mediante Programación en Arduino el mismo que propone emular un cultivo de tomate [2].

En su trabajo Mayra Johanna Erazo Rodas presenta un diseño inalámbrico utilizando módulos zigbee para el control interno de un prototipo de invernadero de rosas para controlar factores ambientales hace referencia a tecnologías tales como WIFI y WIMAX que son ideales para largas distancias y comunicaciones que requieren gran ancho de banda [3].

En el estudio de Erazo Rodas Mario Leoninas y Sánchez Alvarado José Luis muestran un invernadero inteligente el mismo que posee un control electrónico y sus respectivas ventajas y desventajas de algunos de los factores que afectan a un invernadero tales como plagas, sistema de ventilación, regadío y antiheladas cuyo objetivo es un producto final de alta calidad mediante sensores digitales, sensores de temperatura, sensores de humedad y demás dispositivos electrónicos que están controlados por un PLC (Programmable Logic Controller) que es el encargado de automatizar los procesos [4].

En su proyecto David Rafael Garcés Hernández controla específicamente el riego permitiendo controlar la temperatura y la humedad del invernadero el cual busca la disminución de intervención de personas para optimizar tiempos y recursos utiliza tecnología ZIGBEE basado en el estándar IEEE 802.11.4 utilizado para redes WPAN de bajas tasas de envío de datos y mayor vida útil de baterías [5].

En el proyecto de Luis Alberto Puma Caiza, presenta una aplicación en la cual proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la

pantalla del ordenador [6].

En el trabajo de Tannia Elizabeth Castillo Sánchez de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato presenta la implementación de un sistema scada para integrar a varios dispositivos de automatización en el monitoreo y control de un prototipo de invernadero con el cual propone monitorear y controlar cultivo de rosas mediante un Controlador de Lógica Programable [7].

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Agricultura en el Ecuador

La agricultura es el conjunto de técnicas y procedimientos para cultivar la tierra.

a. Cultivos de la sierra ecuatoriana

El cultivo de papa en Ecuador se realiza en la Sierra, en alturas comprendidas entre los 2700 a 3400 msnm, sin embargo los mejores rendimientos se presentan en zonas ubicadas entre los 2.900 y 3.300 msnm donde las temperaturas fluctúan desde los 11 °C. El Haba es un cultivo tradicional de la sierra ecuatoriana, generalmente se cultiva sola o en asociación con otras especies como el maíz, quinua o melloco. La haba es un cultivo que requiere de una temperatura que fluctúa entre los 8 y 14 °C y

una precipitación de 700 a 1000 mm de lluvia. El cultivo puede desarrollarse en varios tipos de suelos: franco arenoso, franco arcilloso, negro andino (andisoles), que sean profundos con buena cantidad de materia orgánica [8].

b. Enfermedades

Las enfermedades son provocadas por microorganismos tales como hongos, bacterias y virus; muchas veces ocasionan la muerte de las plantas. Como en los seres humanos, las enfermedades que padecen las plantas son desórdenes fisiológicos causados por la presencia de algún microorganismo. Es todo cambio interno y externo en la planta que afecta su correcto funcionamiento durante el crecimiento y desarrollo.

c. Plagas

Se llama plaga a cualquier organismo vivo que por su presencia y cantidad constituye un grave riesgo para el estado sanitario de los cultivos y productos agrícolas almacenados. Entre los distintos tipos de plagas se tiene las siguientes :

- Plagas potenciales.
- Áfidos o pulgones.
- Gusanos de tierra y defoliadores.

Para prevención y mejor control de plagas los agricultores en los últimos años han recurrido a la utilización de Invernaderos [9].

2.2.2 Invernaderos

Un invernadero es una instalación cubierta y abrigada artificialmente con materiales transparentes para defender las plantas de la acción de los meteoros exteriores. Esta instalación permite el control de determinados parámetros productivos, como: temperatura ambiental y del suelo, humedad relativa, concentración de anhídrido carbónico en el aire además de la luz en el interior.

Estas instalaciones están formadas por una estructura o armazón ligero (metálico, madera, hormigón, etc.), sobre la que se asienta una cubierta de material transparente (polietileno, copolimero EVA, policarbonato, policloruro de vinilo, poliéster, cristal, etc.), con ventanas frontales y cenitales y puertas para el servicio del invernadero.

2.2.3 Ventajas de un Invernadero

Son muchas las ventajas que los invernaderos proporcionan a los cultivos de hortalizas y flores [10].

En hortofloricultura los invernaderos permiten las siguientes ventajas:

- Cultivar fuera de época y conseguir mayor productividad.
- Realizar cultivos en determinadas zonas climáticas y épocas estacionales en que no es posible hacerlos al aire libre.
- Disminuir el tiempo de los ciclos vegetativos de las plantas, permitiendo obtener mayor número de cosechas por año.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.
- Aumento de producción.
- Obtención de mejor calidad.
- Mejor control de plagas y enfermedades.
- Ahorro en agua de riego.
- Menos riesgos catastróficos.
- Trabajar con más comodidad y seguridad.

2.2.4 Tipos y selección de Invernaderos

Existen varios tipos de Invernaderos, los más comunes son:

- Tipo túnel
- Tipo capilla
- Tipo cercha
- En diente de sierra

Estos Invernaderos se construyen en grandes extensiones para plantaciones de flores y en menor extensión para cultivo de hortalizas; cada invernadero tiene características específicas de diseño y construcción, así como también ventajas y desventajas.

En Cañar, inicialmente, los pequeños agricultores construyeron estructuras metálicas tipo túnel de 84 m²; posteriormente construyeron invernaderos tipo cercha, aprovechando los recursos existentes como madera de eucalipto.

En su construcción tuvieron como bases los conocimientos y habilidades adquiridos en la capacitación con técnicos de las ONG existentes en la zona.

Sin embargo, estos invernaderos tuvieron serias dificultades, ya que en su construcción no se consideraron factores como orientación, dirección del viento, disponibilidad de agua, entre otros. Estos problemas ocasionaron la corta duración de las estructuras, que trajo consigo pérdidas económicas y la deserción de los productores a esta tecnología. De los modelos existentes, en el proyecto se validaron dos tipos: capilla y cercha.

2.2.5 Invernadero tipo capilla

Este invernadero, con dos techos planos inclinados, está formado por dos naves unidas a dos aguas que parecen una capilla. Es similar al tipo cercha, con la única diferencia que dispone pilares en el centro de la nave. Esta característica ofrece mayor estabilidad a la estructura, resiste a la vibración causada por el viento, brinda mayor duración del plástico o requiere menor gasto de mantenimiento.

El primer tirante del techo que une el pilar lateral con el central se apoya en lo alto de

postes centrales mientras el segundo tirante se apoya 15 cm debajo del anterior, formando así la ventilación cenital con la cumbrera. El ángulo de inclinación que forma el techo con el ángulo superior horizontal debe tener entre 25 y 26 grados de inclinación y en especial cuando se construyen varias naves continuas. La ventilación es mejor que en otros tipos de invernaderos, porque la ventilación cenital permanece abierta. Las paredes laterales tienen ventanas de 1.50 a 3.0 m de alto, la longitud varía según el tamaño del invernadero. La construcción de este tipo de estructura, sobre todo el techo, es más fácil que la del tipo cercha debido a los pocos jornales que se requieren. En la figura 2.1 se puede observar la estructura de un invernadero tipo capilla:



Figura 2.1: Estructura de un Invernadero

Fuente: Asociación de Agrónomos indígenas de Cañar, “Diseño construcción y mantenimiento de invernaderos de madera”.

a. Ventajas de un invernadero tipo capilla:

- Es de fácil construcción y conservación
- Tiene buena resistencia y estabilidad a la acción de los vientos fuertes.
- Se adapta mejor a la colocación de todo tipo de paralítico en la cubierta.

- La ventilación lateral en las paredes es muy fácil y puede ser de grandes dimensiones, con una mecanización sencilla
- Es fácil instalar ventanas cenitales.
- Ofrece mayores facilidades para evacuar agua lluvia
- Facilita la unión de varias naves.
- Permite la utilización de materiales de bajo costo
- Facilita la construcción del sistema de tutores, en cultivo.

b. Desventajas de un invernadero tipo capilla

- La gran cantidad de postes disminuye área de cultivo.
- Se tiene que hacer ajustes en la densidad de plantación.
- Los postes al centro de las naves dificultan también las labores agrícolas.

c. Elementos estructurales del invernadero

- Postes o pilares
- Tirantes
- Correas
- Trinquetes
- Canales de evacuación de agua lluvia
- Cubierta superior e inferior
- Paredes laterales

- Elementos de ventilación
- Puerta de acceso

d. Pasos para la construcción de un invernadero tipo capilla

- Cotización y compra de materiales
- Limpieza y nivelación del terreno
- Trazado y hoyado
- Tratamiento de la madera y su calidad
- Colocación de postes o pilares
- Colocación de tirantes o vigas
- Colocación de correas
- Refuerzos y apoyos: trinquetes
- Tensión de alambre
- Soporte lateral

2.2.6 Invernadero tipo cercha

Este modelo de invernadero está formado por vertientes dispuestas a dos aguas. La principal estructura que forma el techo se llama cercha y en su diseño se incluye la formación de la ventilación cenital de 15 cm de altura; las vertientes permanecen abiertas constantemente, lo que permite renovar el aire caliente del invernadero, y controlar humedad relativa y la condensación de vapor de agua en las cubiertas plásticas

del invernadero. La inclinación de las vertientes que forman el techo del invernadero debe rondar los 25 grados de pendiente, para facilitar la rápida evacuación del agua lluvia y evitar la formación de bolsas de agua en el plástico. La altura del invernadero en la cumbre no debe sobrepasar los 4.40 m de altura y en paredes laterales los 3 m para mayor ilustración ver figura 2.2:

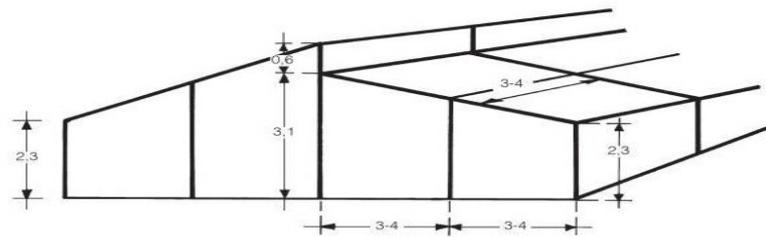


Figura 2.2: Invernadero tipo cercha

Fuente: Serrano Z., Construcción de Invernaderos.

a. Ventajas de un invernadero tipo cercha

- Este diseño aprovecha mejor el espacio y economiza materiales.
- Se pueden cubrir grandes áreas de terreno, pues facilita la unión de sus naves o módulos.
- Es fácil de construir y mantener.
- Se aprovecha mejor el espacio cubierto y brinda mayor luminosidad a los cultivos, ya que utiliza menor cantidad de pilares.
- La ventilación del invernadero se hace con cortinas ubicadas en las paredes laterales y la ventilación cenital instalada en la cumbrera del invernadero.
- Brinda gran facilidad para el desalojo del agua de lluvia.
- Se puede ampliar la instalación, sin necesidad de modificar la estructura.

b. Desventajas

- Presenta menor resistencia a la acción de los vientos.
- Su construcción requiere de mano de obra especializada.

c. Elaboración de la cercha

Las cerchas son estructuras de madera de forma triangular, utilizadas para soportar la cubierta del invernadero. La cercha está conformada por tijera superior y la inferior, que se unen formando los lados más grandes del triángulo; el tensor que une horizontalmente a los elementos interiores impide que se abran, y el pendolón que une a los tres elementos anteriores da mayor firmeza a la estructura.

Para hacer las cerchas es necesario marcar en el suelo una plantilla con estacas y sobre la primera cercha construir las demás. Para subir y clavar las cerchas es necesario hacer dos escaleras o trípodes, que sirven para levantar la cercha, mientras otras personas las aseguran a los postes. Primero se debe instalar las cerchas en los extremos y una intermedia, luego, con la ayuda de una piola, se instala las restantes para que queden bien alineadas.

d. Costo de construcción de dos tipos de invernadero

El costo del invernadero depende del material de construcción, del lugar donde

se va a implementar y de la mano de obra. Sin embargo, la estructura de madera es la más económica, aunque su duración es menor en relación a los invernaderos metálicos, que tienen un costo superior y una duración estimada de 20 años.

e. Factores que influyen en el establecimiento de un invernadero

Para elegir el lugar de construcción más apropiado, se deben tener en cuenta los siguientes factores: suelo, topografía del terreno, disponibilidad de riego, vientos, vías de acceso, disponibilidad de energía eléctrica, ubicación y condiciones climáticas.

- **Suelo**

El rendimiento del cultivo depende de la fertilidad del suelo, por esta razón se debe destinar un suelo fértil y con buen contenido de material orgánica, para la construcción del invernadero. Si el invernadero se instala en un suelo encharcado, se debe construir un buen drenaje (calicanto) para evacuar el exceso de agua y así evitar resultados negativos. En casos extremos, la asfixia de las raíces y la elevada humedad del ambiente pueden provocar la pérdida total del cultivo.

- **Topografía**

En la construcción del invernadero es importante considerar la pendiente del terreno, ya que influye en: colocación de pilares, tensado del plástico y construcción de canales de evacuación del agua; en el mejor de los casos, la pendiente del terreno debe ser menor al 30%. Por otra parte, el relieve del terreno permite aprovechar este recurso como energía gravitacional para el funcionamiento del sistema de riego por goteo y ahorrar costos adicionales de energía eléctrica.

- **Agua**

La producción y productividad de los cultivos están ligadas al abastecimiento de agua de buena calidad y a una adecuada calendarización y aplicación de riego. La escasez de agua es una limitación para la agricultura, por ello el invernadero se debe instalar en un lugar cercano a una fuente o junto a un reservorio, para dotar de agua con mayor facilidad a los cultivos y evitar problemas de insuficiencia, especialmente, en épocas de sequía.

- **Viento**

El invernadero se debe construir en hondonadas, donde el efecto del viento sea menor, o junto a barreras de protección, para evitar gastos adicionales;

caso contrario, se debe instalar barreras rompevientos. En Cañar las altas velocidades del viento: en junio, julio y agosto, destruyen las estructuras; en estas condiciones es necesario protegerlo con una cortina rompevientos de caña guadua o sarán de 50%, de 5 a 6m de altura, ubicada a 2 o 3 m del invernadero y al contorno. Así se protege la cubierta y las paredes, y se evita la ruptura de las láminas de plástico, que se vuelven más susceptibles con el paso del tiempo.

Así mismo, y en la noche las cortinas evitan pérdidas prematuras del calor acumulado durante el día; es ideal que el invernadero tenga la menor resistencia posible al viento, esto se logra orientando el invernadero, por su lado más largo, en la misma dirección del viento, o diagonal a él.

- **Ubicación**

Para la buena marcha de los cultivos establecidos en el invernadero, es fundamental vigilarlos durante día y noche; por ello no debe ser demasiado alejado de la vivienda.

- **Vías de acceso**

Para trasladar materiales e insumos al interior del invernadero y sacar los productos al mercado con gran facilidad, es recomendable instalar el

invernadero junto a un camino; caso contrario, requiere mayor esfuerzo, se hace difícil efectuar actividades y se encarecen los costos.

- **Disponibilidad de energía eléctrica**

Cuando se va a instalar un sistema de riego por goteo es primordial contar con energía eléctrica, pues para su funcionamiento y posible automatización requiere una bomba. Asimismo, existen varias herramientas eléctricas que facilitan las labores en los invernaderos: bombas de fumigar, ventiladores, sistemas de evacuación de humedad ambiental, entre otros.

- **Condiciones climáticas**

El invernadero para climas fríos debe tener capacidad para abrigar, retener y almacenar la radiación infrarroja emanada del suelo y de las plantas, para proteger el cultivo en momentos de extremo frío o helada. La amenaza es mayor en los lugares donde se asienta la neblina, aparte del peligro que significa para los cultivos el exceso de humedad que produce este fenómeno. En los días de neblina, la luminosidad es siempre menor que la normal, lo que perjudica seriamente el desarrollo del cultivo [11].

2.2.7 Invernadero Inteligente

Un invernadero inteligente es aquel que permite mediante la utilización de tecnologías de automatización existentes el control y monitoreo de factores internos y externos que afectan el crecimiento normal de los cultivos.

2.2.8 Sistema para control de invernadero

Para el control automático de un invernadero se debe contar con un sistema de automatización el mismo que se detalla a continuación:

a. Sistema de control electrónico

Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado.

Es importante resaltar el hecho de que no es necesario conocer el funcionamiento interno, o cómo actúan entre sí los diversos elementos, para caracterizar el sistema. Para ello, solo se precisa conocer la relación que existe entre la entrada y la salida.

La relación básica entre estos tres componentes se ilustra en la figura 2.3. Los objetivos se pueden identificar como entradas y los resultados también se llaman salidas. En general el objetivo de un sistema de control es controlar las salidas

en alguna forma prescrita mediante las entradas [12].

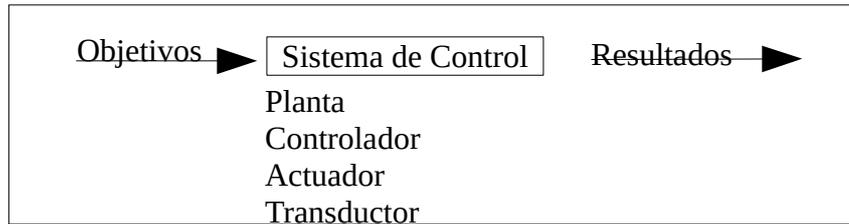


Figura 2.3: Diagrama de un Sistema de Control

Fuente: BENJAMIN Kuo C., "Sistemas de Control Automático".

b. Sensores

Los sensores imitan la capacidad de percepción de los seres humanos, por ello es cada vez más usual encontrarlos incorporados a cualquier área tecnológica. Debido a esta característica de imitar la percepción humana, podemos encontrar sensores relacionados con los diferentes sentidos: vista, oído, tacto, es decir, que reacciona a la información que reciben de ellos. Los sensores son por lo tanto dispositivos electrónicos que nos permiten interactuar con el entorno, de forma que nos proporcionan información de ciertas variables que nos rodean para poder procesarlas y así generar órdenes o activar procesos.

Con la incorporación de la sensórica a los sistemas electrónicos se les ha dotado de cierta "inteligencia" artificial, ya que a través de la información que proporcionan, y una vez procesada convenientemente, permiten tomar con precisión y rapidez las mejores decisiones dentro del cometido para el que están diseñados dichos sistemas electrónicos.

b.1 Clasificación

Dada la gran cantidad de sensores que existen, se hace necesario clasificarlos para así poder entender mejor su naturaleza y funcionamiento. No obstante esta tarea no es fácil, por lo que existen varios tipos de clasificaciones.

- **Atendiendo a su funcionamiento**

- **Activos:** requieren de una fuente externa de energía de la que recibe alimentación de corriente para su funcionamiento.
- **Pasivos:** no requieren de una fuente de energía externa, sino que las propias condiciones medioambientales son suficientes para que funcionen según su cometido.

En la figura 2.4 se muestra el ejemplo de un sensor pasivo y un sensor activo respectivamente.

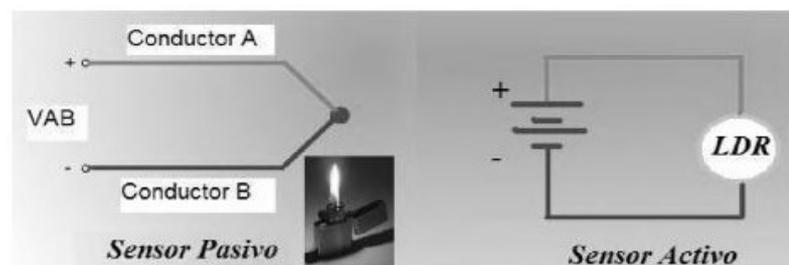


Figura 2.4: Clasificación de sensores atendiendo a su funcionamiento

Fuente: Serna Ruiz A.-Ros García A., Guía práctica de sensores

Atendiendo a las señales que proporcionan

- **Analógicos:** proporcionan la información mediante una señal analógica (tensión, corriente), es decir, que puede tomar infinidad de valores entre un mínimo y un máximo.
- **Digitales:** proporcionan la información mediante una señal digital que puede ser un “0” o un “1” lógicos, o bien un código de bits. En la figura 2.5 se muestra ejemplos de señal analógica y digital respectivamente.

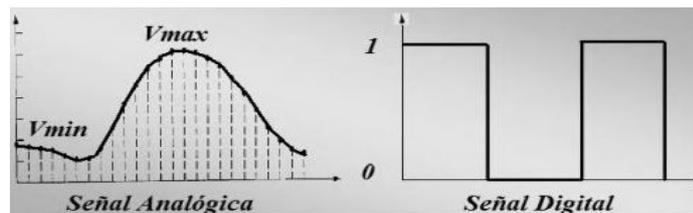


Figura 2.5: Señal analógica y señal digital

Fuente: Serna Ruiz A.-Ros García A., Guía práctica de sensores

- **Atendiendo a la naturaleza de su funcionamiento**
 - **Posición:** son aquellos que experimentan variaciones en función de la posición que ocupan en cada instante los elementos que lo componen.
 - **Fotoeléctricos:** son aquellos que experimentan variaciones en función de la luz que incide sobre los mismos.

- **Magnéticos:** son aquellos que experimentan variaciones en función del campo magnético que les atraviesa.

- **Temperatura:** son aquellos que experimentan variaciones en función de la temperatura del lugar donde están ubicados.

- **Humedad:** son aquellos que experimentan variaciones en función del nivel de humedad existente en el medio en que se encuentran.

- **Presión:** son aquellos que experimentan variaciones en función de la presión a que son sometidos.

- **Movimiento:** son aquellos que experimentan variaciones en función de los movimientos a que son sometidos.

- **Químicos:** son aquellos que experimentan variaciones en función de los agentes químicos externos que pudieran incidir sobre ellos.

En la figura 2.6 se muestra el ejemplo de algunos sensores atendiendo a la naturaleza de funcionamiento.

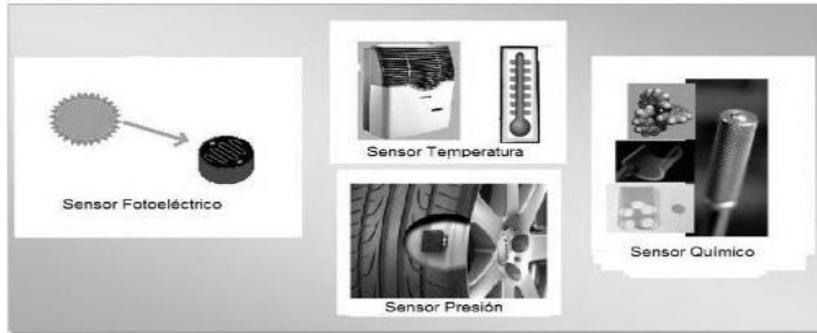


Figura 2.1: Clasificación atendiendo a la naturaleza de funcionamiento.

Fuente: Serna Ruiz A.-Ros García A., Guía práctica de sensores

- **Atendiendo a los elementos utilizados en su fabricación:**

- **Mecánicos:** son aquellos que utilizan contactos mecánicos que se abren o cierran, sirven para medir cantidades como posición, forma, velocidad, fuerza, torque, presión, vibración, deformación y masa.
- **Resistivos:** Los sensores de tipo resistivos son uno de los más usados en la industria. Estos se basan en el principio de la variación de resistencia eléctrica que es afectada por muchas variables y a ello se debe su abundante uso.
- **Capacitivos:** son aquellos que utilizan en su fabricación condensadores, el sensor capacitivo se comporta como un capacitor abierto, y el material a detectar actúa como dieléctrico.
- **Inductivos:** son aquellos que utilizan en su fabricación bobinas, sirve

para detectar materiales metálicos ferrosos. Son de gran utilización en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos en un determinado contexto: detección de paso, de atasco, de codificación y de conteo.

En la figura 2.7 se muestra el ejemplo de algunos sensores atendiendo a los elementos utilizados en su fabricación.

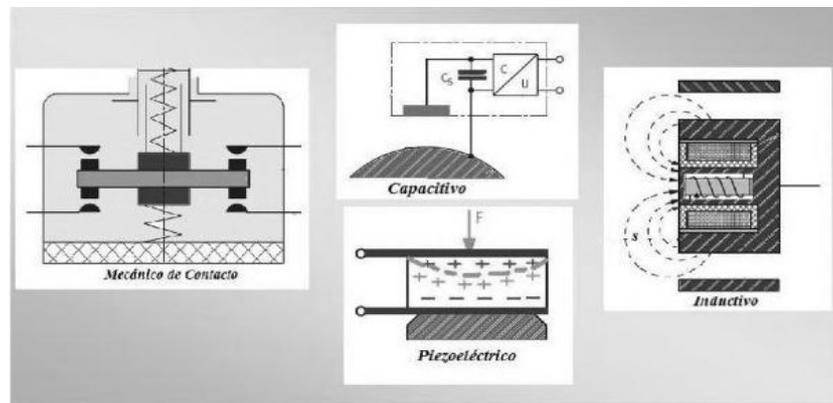


Figura 2.1: Clasificación atendiendo a los elementos utilizados en su fabricación.

Fuente: Serna Ruiz A.-Ros García A., Guía práctica de sensores

b.2 Características de los sensores

A la hora de elegir un sensor para una aplicación concreta, es necesario tener en cuenta determinados aspectos para obtener rendimiento dentro de dicha aplicación:

- Rapidez en la respuesta.
- Situación donde van a ser utilizados.

- Radio de acción.
- Fiabilidad en el funcionamiento.
- Tensiones de alimentación.
- Consumo de corriente.
- Márgenes de temperatura de funcionamiento.
- Posibles interferencias por agentes externos.
- Relación calidad/precio.

Pero también es necesario conocer a veces determinadas características técnicas que nos dan mucha información sobre la calidad del sensor.

- **Resolución:** es la mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- **Sensibilidad:** es la relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- **Error:** es la desviación de la medida proporcionada por el sensor respecto de la real. Se suele expresar en %.
- **Precisión:** es el error de medida máximo esperado.
- **Repetitividad:** es el error esperado al repetir varias veces la medida.

En la tabla 2.1 se muestra el tipo de sensores que habitualmente más se utiliza en función de la aplicación.

Tabla 2.1: *Tipo de sensores más utilizados*

Fuente: Serna Ruiz A.-Ros García A., Guía práctica de sensores

Aplicación	Sensores
Iluminación	Fotorresistivos (LDR), Fotoeléctricos
temperatura	Termistores (PCT, NTC, Semiconductores)
Humedad	Resistivos, Capacitivos
Posición / Inclinación	Mecánicos, Resistivos, Acelerómetros, Magnéticos
Presencia	Magnéticos, Infrarrojos, Ultrasonidos
Distancia	Infrarrojos, Ultrasonidos
Presión	Piezoeléctricos, resistivos
Caudal	Piezoeléctricos, Magnetorresistivos
Frío / Calor	Células termoeléctricas (Peltier)
Químicos	Detectores de gas y humos

c. Sensor de Humedad

La humedad expresa la cantidad de agua que existe en un medio determinado, ya sea líquido, sólido o gaseoso. Conocer esta cantidad o concentración de agua puede ser muy útil para determinados propósitos, ya que podría influir en el funcionamiento de procesos industriales, alimentarios, agrícolas, o en la duración de ciertos elementos incorporados a electrodomésticos, vehículos, telefonía, entre otros.

La forma de referirse a esta magnitud es de diversas maneras:

- **Humedad Absoluta:** es la razón entre la masa de agua presente en el medio (en kg), y el volumen (en m^3) de dicho medio.
- **Humedad específica:** es la razón entre la masa de agua y la masa de sustancia seca presentes en el medio (ambos expresados en kg).
- **Humedad relativa:** es la cantidad de agua que contiene un gas

expresada en tanto por ciento de la cantidad que el gas tendría en estado de saturación, a la misma temperatura y presión absoluta.

$$Hr = (P_v / P_{sat}) * 100\%$$

Para obtener información y medidas de la humedad, sobre todo de la relativa, se han desarrollado sensores de condensación, electrolíticos, resistivos, capacitivos, entre otros. Los sensores de tipo capacitivo son los más utilizados en electrónica, así como en meteorología. En la figura 2.8 los ejemplos de varios sensores de humedad.

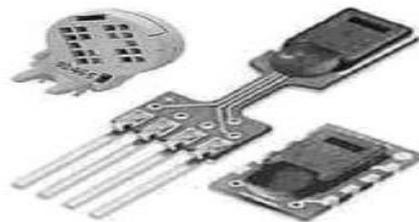


Figura 2.2: Varios sensores de humedad

Fuente: Serna Ruiz A.-Ros García A., Guía práctica de sensores

c.1 El sensor de humedad HCH1000

El HCH1000 es un sensor del tipo capacitivo diseñado para medir la humedad relativa, el cual se basa en el principio del cambio que sufre la capacidad de un

condensador al variar la constante dieléctrica del mismo. Para convertir el cambio de la capacidad a una variable eléctrica se puede utilizar un puente de Wheatstone de condensadores, un circuito resonante o un oscilador astable que varíe su frecuencia conforme los cambios que produzca la humedad en un condensador.

Como características encontramos que está fabricado con semiconductores, es bastante inmune a las variaciones de temperatura y su respuesta es rápida. Entre sus aplicaciones tenemos las estaciones meteorológicas, en automoción en medicina, deshumificadores, entre otros. La figura 2.9 muestra las características más importantes dadas por el fabricante de este sensor.

HCH-1000 Series

Table 1. Specifications ($T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ [77 °F], Input Voltage = 1 V_{RMS} , Frequency = 20 kHz)

Characteristic	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Normal capacitance	at 55 %RH	310	330	350	pF
Sensitivity	10 %RH to 95 %RH	0.55	0.60	0.65	pF/%RH
Humidity hysteresis	-	-	± 2	-	%RH
Linearity	-	-	± 2	-	%RH
Response time	30 %RH to 90 %RH	-	15	-	sec
Temperature coefficient	5 °C to 70 °C [41 °F to 158 °F]	0.15	0.16	0.17	pF/°C
Long-term stability (drift)	-	-	0.2	-	%RH/year
Operating temperature range	-	-40 [-40]	-	120 [248]	°C [°F]
Operating humidity range	-	0%	-	100%	RH
Operating frequency range	-	1	-	100	kHz

Figure 1: Frequency Characteristics

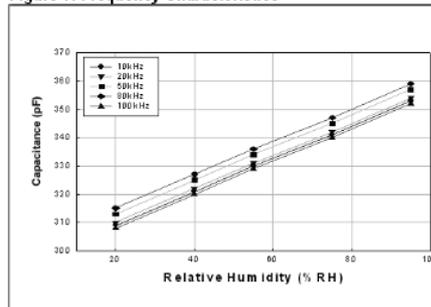


Figure 2: Typical Humidity Response (Sensitivity = 0.6 pF/%RH.)

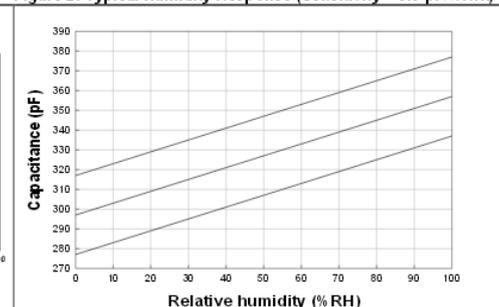


Figura 2.3: Características del sensor HCH1000

Fuente: <http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/230829/HONEYWELL/HCH-1000.html>

d. Termistor

La temperatura es una magnitud de gran importancia, ya que muchas propiedades de los materiales dependen de esta, en general, aumentos de temperatura en un conductor conllevan aumento de la corriente eléctrica.

Existen unos tipos de semiconductores cuyo funcionamiento viene dado por la modificación de la resistencia eléctrica en función de las variaciones de temperatura, estos son los termistores, que pueden ser de dos tipos: **NTC** (Negative Temperature Coefficient), **PTC** (Positive Temperature Coefficient). Al Aumentar la temperatura de un cuerpo, lo hace también el número de portadores reduciéndose la resistencia (coeficiente de temperatura negativo, NTC). Esta dependencia varía con la concentración de impurezas. Si el dopado es muy fuerte, el semiconductor adquiere propiedades metálicas y presenta un coeficiente de temperatura positivo (PTC), aumentando la resistencia en un margen de temperatura limitado.

Su símbolo y ecuación están representados por la figura 2.10. Su funcionamiento responde a la ecuación donde R_0 es la resistencia a 25 °C u otra temperatura de resistencia, T_0 es dicha temperatura expresada en kelvin y B es una constante propia de cada termistor. Las variaciones por tanto son de tipo exponencial.

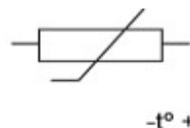

$$R_T = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}$$

Figura 2.4: Símbolo y ecuación de un Termistor

Fuente: Serna Ruiz A.-Ros García A., Guía práctica de sensores

El rango de temperaturas y valores de resistencia donde son utilizados fundamentalmente es entre los $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la mayoría de aplicaciones el valor de resistencia a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ está entre $100\ \Omega$ y $100\ \text{k}\Omega$. Aunque se pueden producir con resistencias tan bajas como $10\ \Omega$ o tan altas como $40\ \text{M}\Omega$.

- **Termistor NTC**

Un termistor NTC está compuesto por un cuerpo sintetizado policristalino de óxido de los metales manganosos, níquel, hierro, cobalto, cobre, entre otros. Estos termistores son sumamente sensibles y son capaces de registrar cambios de temperatura muy pequeños, son por lo tanto los más utilizados en la figura 2.11 se muestra algunos ejemplos de termistor NTC.



Figura 2.5: Termistor NTC

Fuente: Serna Ruiz A.-Ros García A., Guía práctica de sensores

En la figura 2.12 se muestra la dependencia de la resistencia con

temperatura para casos de dos NTC. En la zona de autocalentamiento el termistor es sensible a cualquier efecto que altere el ritmo de disipación de calor. Esto permite aplicarlo a la medida de caudal, nivel, conductividad calorífica, nivel de vacío, en electrodomésticos, automóviles, entre otros.

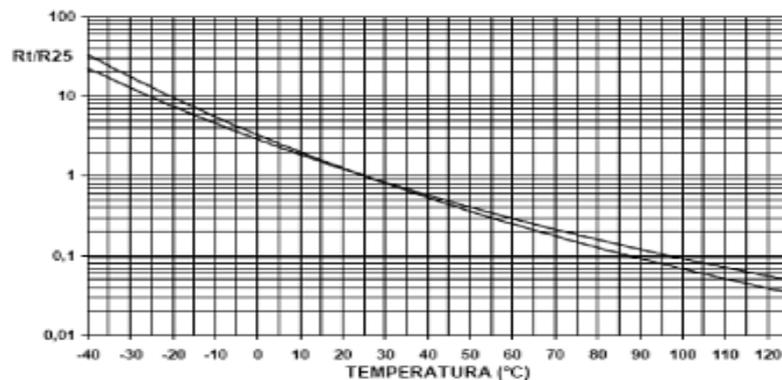


Figura 2.6: Curva característica de termistores NTC

Fuente: Serna Ruiz A.-Ros García A., Guía práctica de sensores

e. Sensores de Temperatura

Aparte de los termistores existen otros dispositivos integrados cuyo comportamiento depende de las variaciones de la temperatura, a estos dispositivos se les llamará sensores de temperatura y por lo tanto se deben incluir en estos sensores todo tipo de detectores cuya función sea medir la temperatura. Esta función se puede medir a raíz de determinados fenómenos: dilatación de cuerpos sólidos, líquidos o gaseosos, cambio de la resistencia o de la conductividad, cambio de la diferencia de potencial expresado en tensión eléctrica, cambio de la frecuencia propia del cuarzo en función de la

temperatura, emisión y absorción de rayos infrarrojos.

A diferencia de los termistores (NTC y PTC), estos elementos no funcionan únicamente como consecuencia de la variación de su resistencia con la temperatura, sino que experimentan determinados cambios en su conductividad, de manera que proporcionan a su salida variaciones de magnitudes de tipo analógico como tensión o corriente y también de tipo digital, es decir magnitudes expresadas en binario con un determinado número de bits.

- **El Sensor Analógico LM335**

Es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1 °C y un rango que abarca desde - 40 °C a + 100 °C. Se presenta en diferentes encapsulados pero el más común es el TO-92 mostrado en la figura 2.13, dos de ellas para alimentarlo y la tercera nos entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo.

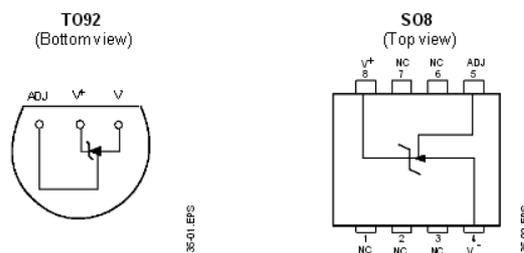


Figura 2.7: Encapsulado del LM335

Fuente: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8645/NSC/LM335.html>

Trabaja como un diodo zener cuyo voltaje de ruptura es directamente proporcional a la temperatura. Por cada grado centígrado de temperatura, el LM335 varia su voltaje en 10 mV, presentando una lectura de 0 voltios a 0 °K (-273 °C) y puede proporcionar corrientes entre 400 μA 5 mA.

Si la salida es lineal y equivalente a 10 mV / °C se tiene:

- A 100 °C, en sus extremos tendremos + 1.000 mV.
- A 25 °C, en sus extremos tendremos +250 mV.
- A -40 °C, en sus extremos tendremos -400 mV.

La función de calibrado del sensor se debe hacer a 0 °K, temperatura a la cual debería dar 0 voltios a la salida. Evidentemente esto no es algo fácil de realizar, por ello el fabricante nos proporciona una ecuación para poderlo hacer en otra temperatura, preferiblemente a la temperatura ambiente más usual a la que se trabaje.

$$V_{out} = V_{out T_0} \frac{T}{T_0}$$

$$K = ^\circ C + 273,15$$

De una manera más sencilla, aunque menos rigurosa, podemos calibrarlo a una temperatura de 25 °C, o la más próxima a la ambiente, de manera que a esa temperatura debería tener a la salida 250 mV [13].

f. Sensores arduino DHTxx

Tenemos dos versiones del sensor DHT, se ven un poco similar y tienen el mismo pinout, pero tienen características diferentes. Aquí están las especificaciones en la tabla 2.2:

Tabla 2.2: Especificaciones de sensores arduino

Fuente: <http://arduinoamueete.blogspot.com/2014/04/sensores-de-temperatura-y-humedad-dhtxx.html>

DHT11	DHT22
Ultra bajo costo	Bajo costo
3 a 5V y E / S	3 a 5V y E / S
2.5mA uso corriente máxima durante la conversión (al tiempo que solicita los datos)	2.5mA uso corriente máxima durante la conversión (al tiempo que solicita los datos)
Bueno para 20-80% lecturas de humedad con 5% de precisión	Bueno para 0-100% lecturas de humedad con 2-5% de precisión
Bueno para 0-50 ° lecturas de temperatura C ± 2 ° C precisión	Bueno para -40 a 125 ° C las lecturas de temperatura ± 0,5 ° C Precisión
No tasa de muestreo más de 1 Hz (una vez cada segundo)	No tasa de muestreo de más de 0,5 Hz (una vez cada 2 segundos)
El tamaño del cuerpo 15.5mm x 12mm x 5.5mm	El tamaño del cuerpo 15.1mm x 25mm x 7.7mm
4 pines con 0,1 "espaciamento	4 pines con 0,1 "espaciamento

Conexión a un sensor DHTxx

Los sensores de DHT. Tienen cuatro pines: Pin 1: Vcc (3 a 5V), Pin 2: salida de datos, Pin 3: no conectado, Pin 4: GND. Cuenta con un complejo sensor de temperatura y humedad que posee una salida de señal digital calibrada, esta salida digital garantiza una alta fiabilidad y excelente tiempo de respuesta. El sensor DHTxx incluye una medición

de la humedad de tipo resistivo y un componente de medición de la temperatura NTC, y se conecta a un microcontrolador de alto rendimiento de 8-bit, que ofrece una excelente calidad, respuesta rápida, capacidad anti-interferencia y la rentabilidad. Las especificaciones técnicas del sensor DHT11 se describen a continuación en la tabla 2.3:

Tabla 2.3: Especificaciones Técnicas Sensor DHT11

Fuente: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>

ITEM	Rango de medición	Exactitud de humedad	Exactitud de Temperatura	Resolución	Paquete
DHT11	20-90%RH 0-50 ° C	+5%RH	+2 ° C	1	4 pines

En la figura 2.14 se muestra la forma de conexión del encapsulado arduino DHT11 [14]:

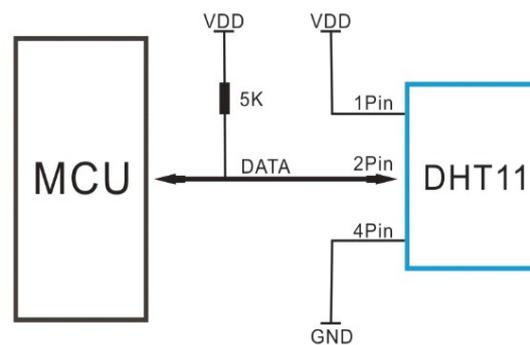


Figura 2.8: Conexión de sensores DHT

Fuente: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>

2.2.9 Sistema de Comunicación

Son los equipos encargados de transferir la información y los datos entre los actuadores y sensores y la unidad central, que es el punto donde se supervisa y controla el proceso.

Está formado por medios de comunicación, transmisores y receptores. En la figura 2.15 se muestra el esquema completo de un sistema de comunicación.

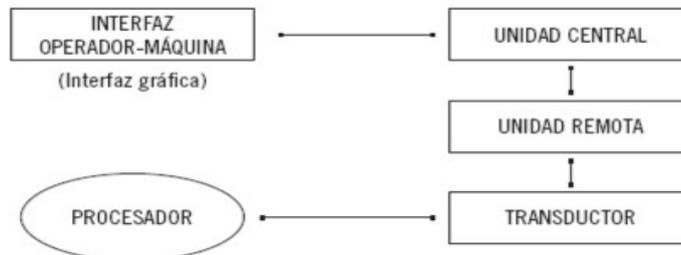


Figura 2.9: Sistema de Comunicación

Fuente: Mauro Rojas

a. Interfaces de Comunicación

La interfaz es la conexión física y funcional entre dos aparatos o sistemas independientes. Es decir, englobaría a todos aquellos dispositivos físicos susceptibles de conectarse para establecer un diálogo hombre-máquina o entre máquinas (teclados, pantallas táctiles, clavija de conexión, redes de comunicación con otros equipos, conectores especiales, entre otros.). La palabra ‘interface’ proviene del inglés, y se traduce como: “superficie de contacto”.

Para establecer una buena comunicación es necesario que el dispositivo que emita el mensaje así como el dispositivo receptor del mismo estén bien sincronizados y sepan interpretar los códigos que conforman el lenguaje. Para una buena comunicación es necesario el empleo de transductores e intérpretes que revelen el protocolo de comunicación empleado.

Durante el desarrollo de un proceso automatizado existen multitud de actuadores y

sensores que desempeñan un importante papel en la captación de datos del entorno y en la actuación sobre el mismo.

Dentro de las diferentes topologías de interfaz de comunicaciones que transmiten datos digitales nos encontramos con dos posibles tecnologías:

- Transmisión de datos en serie, donde la información se transmite enviando un solo bit a la vez, bit a bit. Exponentes tradicionales de esta tecnología son el puerto RS-232, RS-485, el USB, el Serial ATA o el FireWire, Profibus y IC2.
- La transmisión de datos en paralelo, donde la información se transmite enviando varios bits simultáneamente, mandando paquete a paquete. Exponentes tradicionales de esta tecnología son el puerto paralelo estándar SPP, puerto bidireccional PS/2, el EP, el ECP, entre otros.

Para una correcta comunicación entre los dispositivos destaca hoy día el empleo de los buses de campo, cuya misión principal es la de sustituir las conexiones punto a punto entre los distintos dispositivos por una conexión en bus. Este tipo de redes son sistemas digitales, que utilizan un protocolo de bus en serie, que permite la conexión de múltiples elementos, tales como sensores, actuadores, PLCs, robots, transductores, entre otros. Cada uno de los dispositivos unidos a la red incorporará cierta capacidad de decisión que lo convierte en cierta medida en un dispositivo

inteligente, capaz de ejecutar funciones sencillas de control, de diagnóstico y mantenimientos, manteniendo una comunicación bidireccional a través del bus (recibiendo y enviando información).

b. Software de control y supervisión

Los software de supervisión y control de procesos, o lo que comúnmente viene a denominarse software SCADA, que proviene de las siglas ‘Supervisory Control And Data’ (Adquisición de datos y control de supervisión), son sistemas que aportan una interfaz de dialogo hombre-máquina sencilla para facilitar estas tareas de supervisión y control sobre variables del proceso, desde un puesto de control situado a distancia y con un entorno visual atractivo.

Los sistemas SCADA son diseñados para funcionar sobre equipos de campo interactivos que conforman el sistema de producción, de tal modo que el proceso queda controlado de forma automática e interactiva desde dispositivos que se conectan como HMI (pantallas de visualización, ordenadores, pantallas táctiles, entre otros.).

Un sistema de supervisión y control nos facilita innumerables labores dentro del control automático de procesos. Dentro de sus funciones habituales podemos destacar:

- **Adquisición de datos:** se encarga del acopio, procesamiento y anclaje de la

información del proceso a controlar.

- **Supervisión:** Consigue la representación en equipos o pantallas de la evolución de las variables de control.
- **Control:** permite la modificación de consigna de las variables del proceso, logrando modificar la evolución del proceso.
- **Transmisión:** permite la intercomunicación de los distintos equipos de campo que conforman el sistema a controlar.
- **Base de datos:** tras el proceso de adquisición de datos, estos sistemas permiten la gestión y procesamiento de los mismos. Suele utilizarse sistema de acceso a base de datos estándar, tales como ODBC (Open DataBase Connectivity).
- **Presentación:** la representación gráfica en equipos interactivos de diagramas y esquemas del proceso y la utilización de equipos HMI (Human Machine Interface) son elementos comunes de los sistemas SCADA.
- **Explotación:** la gran cantidad de datos registrados nos aportan una gran

riqueza de información susceptible de ser tratada estadísticamente para mejorar el proceso productivo.

Un sistema automatizado mediante software SCADA estará conformado por los siguientes elementos básicos:

- **Interface Hombre-Máquina.** Son los dispositivos finales de comunicación y visualización con los que debe interactuar el operario de planta (pantallas, botoneras, entre otros.).
- **Unidad Central (MTU).** (Master Terminal Unit) será el equipo encargado de realizar las operaciones programadas de supervisión y control en función de las variables medidas y consignas aportadas. Es la unidad maestra que controla al resto de unidades esclavo. En esta unidad también se almacena la información (base de datos), de modo que otras aplicaciones tengan acceso a los mismos.
- **Unidades remotas (RTUs).** (Remote Terminal Unit) son todas aquellas unidades, PCs o dispositivos que envían información a la unidad central y que se encuentran alejadas del centro de control. Estos dispositivos se encargan de recopilar los datos de los elementos de campo y enviarlos a la unidad central.

- **Transductores.** Serán los elementos que transformaran señales físicas o químicas en señales eléctricas [15].

c. Comunicación inalámbrica.

Una red Wi-Fi es una red de comunicaciones de datos y, por lo tanto, permite conectar servidores, PC, impresoras, entre otras., con la particularidad de alcanzarlo sin necesidad de cableado. Los componentes básicos de una red Wi-Fi son:

- **El punto de acceso (AP):** es la unión entre las redes con cableado y la red Wi-Fi entre diversas zonas cubiertas por redes Wi-Fi, que actúan entonces como repetidores de la señal entre estas zonas.
- Una o más antenas conectadas al punto de acceso.
- **Una terminal Wi-Fi.** Este puede tener forma de dispositivo externo Wi-Fi, que se instala en el PC del usuario, o bien puede encontrarse ya integrado, como sucede habitualmente con los ordenadores portátiles.

A continuación algunos de los aspectos más relevantes para analizar las redes Wi-Fi: el alcance y rendimiento, la calidad de servicio, la seguridad, la movilidad y el

estado de la estandarización de cara a mejoras futuras.

c.1 Arquitectura de redes Wi-Fi

En un principio, las redes sin hilos fueron concebidas para la creación de redes de área local de empresa. La arquitectura de éstas es, pues, bastante sencilla. Con el tiempo, sin embargo, su uso ha evolucionado hacia redes de área extendida, principalmente en núcleos urbanos. Esto es debido al hecho de que la arquitectura, a pesar de ser sencilla, es muy fácilmente escalable.

c.2 Elementos de una red Wi-Fi

Los elementos que forman una red Wi-Fi son los siguientes:

- **Punto de acceso (AP):** Es el dispositivo que gestiona la información transmitida y la hace llegar a destino. Asimismo, proporciona la unión entre la red Wi-Fi y la red fija.
- **Antena:** Las antenas son los elementos que envían al aire señales en forma de ondas electromagnéticas que contienen la información dirigida en el dispositivo de destino; y a la vez, captan del aire las señales de las cuales se extraerá la información que llega de otro dispositivo.

Cada tipo de antena tiene unas propiedades geométricas que hacen que dirija la energía electromagnética en unas ciertas direcciones del espacio. Las antenas omnidireccionales emiten en todas las direcciones mientras que las antenas sectoriales, reducen progresivamente el sector angular hacia el cual emiten.

c.3 Topologías en las redes Wi-Fi

En las redes Wi-Fi podemos encontrar dos tipos de topologías:

Redes sin infraestructura. Las redes Wi-Fi sin infraestructura no necesitan un sistema fijo que interconecte algunos elementos de la arquitectura. Son redes que no han tenido un importante éxito comercial. Los ejemplos más habituales que podemos encontrar son las redes ad hoc, (o Peer-to-Peer) y las redes MESH. Las primeras consisten en un grupo de terminales de esta red que se comunican cada uno directamente con los otros a través de las señales de radio sin utilizar ningún punto de acceso. Los terminales de red Wi-Fi que quieran comunicarse entre sí tienen que utilizar el mismo canal de radio y configurar un identificador específico de Wi-Fi (Nombrado ESSI) en modo ad hoc. Las configuraciones ad hoc son comunicaciones de tipo punto a punto. Un ejemplo de red ad hoc sería la comunicación directa entre dos ordenadores mediante señal de radio.

En cambio, las redes tipos MESH utilizan puntos de acceso que trabajan con diferentes canales de frecuencia. Por una parte, ofrece cobertura a los terminales portátiles.

c.4 Estándares Wi-Fi

La creación de los estándares que han dado lugar al Wi-Fi es una tarea llevada a cabo por el International Electrical and Electronic Engineers (Asociación Internacional de Ingenieros Electrónicos y de Telecomunicaciones), conocidos por las siglas IEEE.

El IEEE dispone de una extensa familia de estándares correspondientes a las redes de área local, la 802. Dentro de esta familia se encuentran iniciativas bien diferentes, separadas esencialmente por el alcance que se pretende obtener. Así, la subfamilia 802.15.4, más conocida como ZigBee, está dedicada a la estandarización de protocolos orientados a redes de sensores, donde el bajo consumo y la alta variabilidad de la topología son fundamentales. El Bluetooth (802.15.1), está orientado en las redes personales, donde los diferentes accesorios que un individuo puede llevar encima o en su entorno inmediato (pocos metros) se han de interconectar. Algunos ejemplos son el teléfono móvil con el equipo de sonido del coche, o el móvil con el micrófono sin hilos. Por otra parte, el 802.16, más conocido como WiMAX, busca dar un alcance de hasta el vigésimo de kilómetros, con capacidades de centenares de Mbps.

Para el caso concreto de las redes sin hilos de alcance reducido, con coberturas de menos de 100 metros y capacidades de unos pocos Mbps (es decir, para el rango entre WiMax y ZigBee o Bluetooth), se creó la subfamilia de estándares nombrada

802.11, popularmente conocida como Wi-Fi.

Las redes Wi-Fi cumplen los estándares genéricos aplicables a las XAL5 cableadas (Ethernet o equivalentes) pero necesitan una normativa específica adicional que defina el uso de los recursos radioeléctricos y la manera o el orden en qué cada uno de los dispositivos en red envía la información a los otros. Los estándares del IEEE no se configuran nunca de manera cerrada, es decir que se van mejorando mientras es posible, por eso a lo largo del tiempo van apareciendo nuevos sub estándares que implementan mejoras o variantes sobre algún aspecto. La nomenclatura que se sigue en estos casos consiste a ir añadiendo letras minúsculas detrás del número 802.11, que es el del estándar principal [16].

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Modalidad de la Investigación

Se utilizará la modalidad bibliográfica ya que se obtendrá la información de fuentes secundarias como libros, revistas, periódicos, tesis, para ampliar los conocimientos, profundizar, actualizar y contrastar diferentes teorías o criterios de distintos autores.

La metodología de campo permitirá al investigador obtener información real en el lugar de los hechos, la presente investigación será enfocada a personas que se dedican al cultivo de Papas, Habas y Arveja.

Se aplicará la modalidad experimental ya que se realizarán pruebas del sistema electrónico y su correcto funcionamiento.

La investigación será de tipo exploratorio ya que permitirá al investigador examinar el

ambiente donde se desarrolla los cultivos, para encontrar la raíz de los problemas y reconocer parámetros que se deben tomar en cuenta en el desarrollo de la investigación.

3.2 Población y Muestra

Por las características del proyecto no se requiere muestra.

3.3 Recolección de Información

Para la recolección de la información se utilizará datos proporcionados por el dueño del terreno mediante entrevista basada en los diferentes problemas que existen en la actualidad en sus diferentes cultivos, además se recopilará información mediante la revisión de textos que ayudara a seleccionar los mejores dispositivos electrónicos para realizar la implementación de un sistema de control y monitoreo de los cultivos.

3.4 Procesamiento y Análisis de la Información

Para la presente investigación se realizará el siguiente procesamiento de análisis de la información, detallado de la siguiente manera:

Recolección de la información mediante dos entrevista, con el fin de conocer estado de opinión, características o hechos específicos, Estudio de fuentes bibliográficas, como

libros, textos, módulos, periódicos, revistas, Internet, así como de documentos válidos y confiables a manera de información primaria, revisión y validación de los instrumentos de recolección de la información y aplicación de simulaciones del funcionamiento del sistema.

La revisión y mejoramiento de la información de acuerdo a los resultados de la simulación del sistema.

Análisis e Interpretación de los Resultados.

3.5 Desarrollo del Proyecto

Los aspectos básicos al momento de desarrollar el proyecto se detallan a continuación:

1. Análisis de los procesos utilizados para el cultivo de la zona.
2. Identificación de las variables climáticas que intervienen en el proceso cultivo.
3. Diseño del sistema electrónico para el monitoreo y control inalámbrico de cultivos utilizando software libre.
4. Construcción de las diferentes partes del sistemas electrónico.
5. Programación de sensores, controladores y dispositivos afines al sistema

electrónico.

6. Elaboración un Prototipo para el sistema de monitoreo y control inalámbrico de cultivos.
7. Realización las pruebas de funcionamiento del sistema electrónico de monitoreo y control.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

En la comunidad La Unión la mayoría de agricultores cultivan en lugares distantes a su residencia y los sitios destinados para los cultivos son abiertos y sin ninguna protección para los productos agrícolas. El trasladarse hasta los diferentes terrenos en algunas épocas del año resulta muy difícil, pero para poder estar seguro del crecimiento de los cultivos, el agricultor tiene la necesidad de visitar las distintas cementeras. En la figura 4.1 se observa al terreno listo para la siembra.



Figura 4.1: Terreno listo para la siembra

Fuente: Mauro Rojas

En ocasiones la visita a los cultivos son diarios y dependiendo de la necesidad de las mismas se determina los cuidados respectivos mediante la utilización de

agroquímicos, generando pérdidas económicas, que agregado al tiempo empleado en curaciones pueden provocar mayores inversiones para poder desarrollar un producto agrícola de calidad.

Los factores que dañan las semillas o las plantas cuando está creciendo son múltiples, pero las que más influyen son la temperatura, humedad relativa y humedad del suelo, en el interior de un invernadero estos factores ayudan directamente con el crecimiento de los cultivos y si adicionamos un sistema de riego por goteo desde un tanque reservorio que almacene agua de tanquero, se puede prevenir plagas y enfermedades que son abundantes en el agua de regadío. En los invernaderos inteligentes se puede llegar a tomar decisiones importantes que pueden ayudar a que la semilla evolucione de mejor manera.

Con un sistema de monitoreo y control inalámbrico de temperatura y humedad el agricultor tendría que trasladarse a los terrenos solo en tiempos de aporque, fumigación o curación que las plantas necesitan.

Si en el interior de un invernadero la temperatura varía los sistemas de ventilación de aire puede adecuar el clima en el interior del mismo, ayudando en tiempos de heladas a que el producto que se está cultivando no se dañe; Si la temperatura aumenta llegando a exceder los niveles permitidos el sistema se activaría para que el clima en el interior del invernadero se mantenga a una temperatura adecuada para el cultivo.

Con un monitoreo y control inalámbrico el usuario no tendría que trasladarse a las siembras constantemente, permitiendo economizar tiempo, dinero, e incluso reduciendo parcialmente el usos de agroquímicos por la presencia de plagas o enfermedades, que pueden ser resultado de no controlar factores de temperatura, humedad ambiente en el interior del invernadero o humedad de suelo.

El control de humedad del suelo influye notablemente en el desarrollo de ciertas semillas, bloqueando el exceso de agua que puede llegar a pudrir el producto; al no lograr germinar la semilla el producto agrícola que se va a cosechar no será de buena calidad, y si la semilla ya germinó al sobrepasar los niveles de agua se llega a matar la planta y los frutos se ven afectados de diferentes formas; como el tamaño, color y grosor del producto los cuales demuestran el estado del cultivo en las distintas etapas permitiendo observar que clase de producto se tendría al final de la cosecha.

4.1 Propuesta

Requerimientos

Para determinar los requerimientos del sistema se ha consultado con el agricultor, un representante del INIAP y se procedió a la observación respectiva de los recursos que los agricultores emplean, los resultados obtenidos permitieron definir

los requerimientos de cada uno de los procesos de cultivo; de esta manera se buscó lo que mejor se adapte a las necesidades de los cultivos. Estos requerimientos se presentan a continuación.

Requerimientos:

- Control Climático
- Sistema de riego
- Control de humedad del suelo
- Sistema de Comunicación

4.1.1 Control Climático

Para los cultivos de papa, habas y arveja es importante los factores climáticos, esto ayudara directamente en el crecimiento de las plantaciones.

a) Temperatura y Humedad Relativa

La temperatura ambiente y humedad relativa para los cultivos en el cantón Quero varía entre cada una de las parroquias, los valores para la parroquia matriz son los siguientes: entre 13 °C y 18 °C en temporadas fuera de invierno, la temporada de invierno las temperaturas en la madrugada son por debajo de los 10 °C permitiendo que las heladas terminen matando a las semillas o a las plantas [17].

Para las papas los climas deberían estar entre los 12 y 24 °C [18], las habas y arveja soportan climas de 8 °C hasta 14 °C con estos valores los climas son apropiados para el crecimiento óptimo de las plantas [8].

b) Ventilación

En la actualidad los climas están variando constantemente durante todo el día, en horas de la mañana la presencia de frío es muy normal en nuestro entorno, en el medio día la presencia fuerte del sol podría subir la temperatura y la presencia de vientos tanto en el día, la tarde o la noche hacen de un clima no apto para el crecimiento de cultivos.

Si la temperatura baja el invernadero buscara mecanismos de cierre de techo, ventanas, extracción de aire de ser necesario, pero si la temperatura supera la requerida por el producto cultivado la ventilación es activada controlando temperatura y humedad relativa en el interior.

4.1.2 Sistema de riego

El sistema de riego más adecuado para que la semilla germine de buena manera es el riego por goteo, permitiendo no desperdiciar el agua en el proceso de riego de las plantaciones agrícolas.

Este sistema tiene varias ventajas de aplicación por esta razón los agricultores

más tecnificados lo utilizan para enviar agroquímicos, el riego necesario a las semillas por germinar o a las semillas ya germinadas brindara un apoyo significativo al desarrollo normal del producto cultivado.

4.1.3. Control de Humedad del suelo

El control de humedad de suelo permitirá verificar si el terreno tiene o no el agua necesaria para el crecimiento normal de las plantas, permitiendo suprimir el riego por goteo en caso de ser necesario o iniciar su proceso de riego cuando las plantaciones necesiten un suelo húmedo, otra forma de ayudar al proceso de riego y aprovechar los recursos es permitir que el techo se abra dejando ingresar el agua de lluvia que sea buena para el cultivo siempre y cuando el suelo este seco; cuando la lluvia viene acompañada de plagas el agricultor mantendrá cerrado el techo lo cual no permitirá ingreso de esas plagas al interior del invernadero.

4.1.4 Sistema de comunicación

El sistema de comunicación para el presente proyecto se lo va a dividir en dos partes que son: la primera parte es la red cableada o alámbrica y la segunda la red inalámbrica.

a) Red Cableada

La red cableada permite obtener el estado en el interior y exterior del invernadero, para poder tomar decisiones en cada uno de los factores que alteren el crecimiento normal del cultivo. Un ejemplo de la conexión alámbrica se encuentra en la figura 4.2

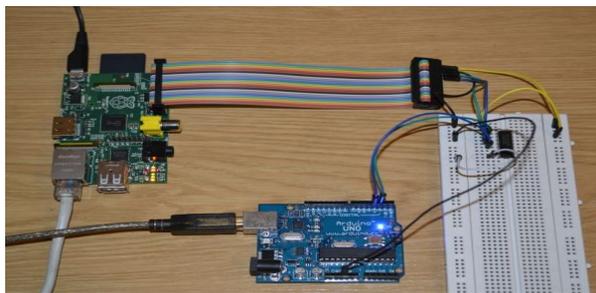


Figura 4.2: Conexión entre Raspberry pi y Arduino uno

Fuente: Mauro Rojas

b) Red Inalámbrica

Permite un monitoreo a grandes o pequeñas distancias según la necesidad del usuario; además permitirán dar órdenes que ayuden al control del crecimiento de las plantaciones. En la figura 4.3 se muestra un ejemplo de una conexión inalámbrica.

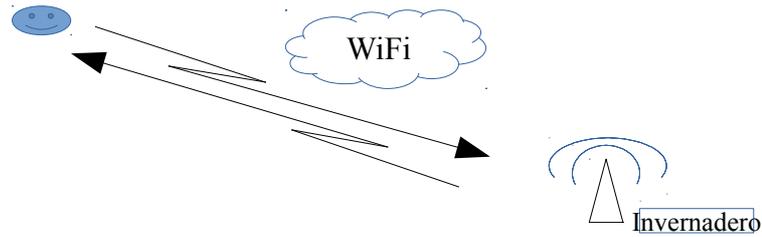


Figura 4.3: Red Inalámbrica

Fuente: Mauro Rojas

4.2 Diseño del Invernadero Inteligente

En el diseño del sistema electrónico para el invernadero se tomó en cuenta la forma de control, dispositivos y tipos de conexión para la comunicación. El invernadero inteligente permite un control remoto manual y automático de cada uno de los factores que influyen directamente con el crecimiento de las plantaciones.

Para la lectura de los sensores y activación de los actuadores se realizó en la placa Arduino-Uno su respectiva programación de lectura y activación, en el dispositivo máster toda la información recibida por los sensores es procesada y mostrada al usuario final mediante su respectiva programación basada en el lenguaje Python.

La aplicación de control se lo hace en la tarjeta Raspberry Pi mediante el entorno de desarrollo integrado (IDE) QT Creator compatible con servidores web o aplicaciones para dispositivos HMI (celulares, PCs, Tablets, etc.). Permitiendo al usuario acceder desde el domicilio al monitoreo y control del invernadero. La figura 4.4 muestra el esquema general del invernadero inteligente.

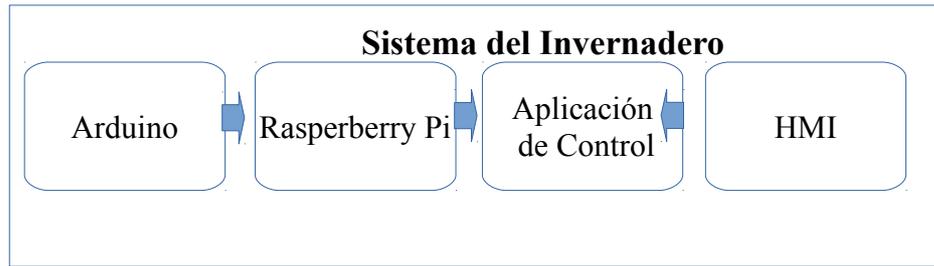


Figura 4.4: Sistema del invernadero

Fuente: Mauro Rojas

4.2.1 Variables y condiciones del sistema electrónico:

Para mayor facilidad se estudiará las variables con su asignación de sensores y actuadores respectivos en la tabla 4.1:

Tabla 4.1: Variables del sistema electrónico

Fuente: Mauro Rojas

Temperatura Interior	T1	Ventilación	V1
Humedad Relativa	T1	Ventilación	V2
Humedad del Suelo	H1	Calefacción	C1
Humedad de Lluvia	L1		

Las condiciones de activación y desactivación de los actuadores dependerán del comportamiento de uno o varios sensores.

El sistema de riego depende de la Humedad del suelo, y de no haber detectado lluvia, la ventilación 1 depende de la humedad relativa y la temperatura interior T1. El segundo sistema de ventilación abrirá o cerrará el techo; el abrir o cerrar el techo

dependerá de la temperatura interior, comportamiento exterior del detector de lluvia y la humedad relativa. El sistema emitirá alertas que permitirán al usuario la activación manual de cada uno de los actuadores según las necesidades del invernadero.

4.2.2 Invernadero

Para la selección del mejor invernadero se consideró las características estudiadas en el Capítulo II de cada uno de los tipos de invernadero:

- Tipo túnel
- Tipo capilla
- Tipo cercha
- En diente de sierra

El invernadero seleccionado es el tipo cercha que permite renovar el aire caliente en el interior, y controlar humedad relativa, además la condensación de vapor de agua en las cubiertas plásticas del invernadero. Debido a las ventajas y mayor aprovechamiento de recursos para el crecimiento de cultivos se ha seleccionado este tipo de invernadero, los materiales que mejor se adecuan a las condiciones de la zona son postes y uniones metálicas que soportan vientos fuertes, el plástico forrara las cubiertas superiores y laterales. La construcción del mismo inicio con la limpieza del terreno y dejándolo listo para abonarlo y saber las dimensiones con las

que se efectuó la construcción del invernadero. Las medidas del prototipo se detallan en la figura 4.5 permitiendo observar techos y paredes laterales para el respectivo cálculo de necesidad de materiales.

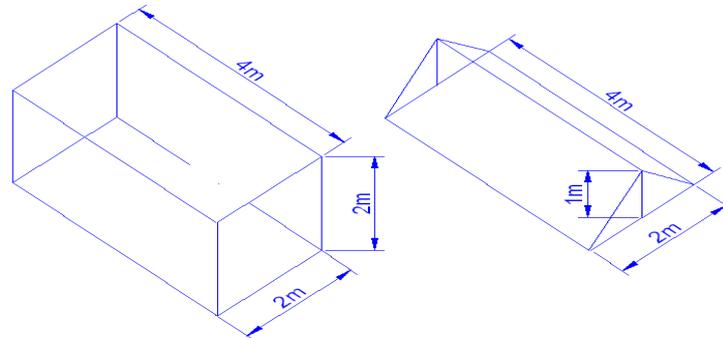


Figura 4.5: Medidas y estructura del invernadero.

Fuente: Mauro Rojas

4.2.3 Siembra

Se probará el prototipo con cultivo de habas para lo cual el proceso utilizado es similar en plantaciones de papas y arveja considerando que las diferencias son en temperatura humedad relativa a la cual el producto se desarrollará de mejor manera., en la figura 4.6 se logra apreciar el terreno listo para la siembra.



Figura 4.6: Terreno listo para la siembra

Fuente: Mauro Rojas

4.2.4 Sistema de control

a. Selección de equipos de control:

Para la selección de cada uno de los dispositivos se toma en cuenta el costo, tiempo de adquisición, modo de conexión y compatibilidad.

b. Selección de Tarjeta Máster

Para cumplir con los objetivos del proyecto se evaluó varios modelos de Single Board Computer (SBC) permitiendo comparar beneficios de cada una de las placas.

La tarjeta SBC pionera y que resalta en el mercado de la actualidad es la producida por Raspberry Pi Foundation que ha evolucionado desde el modelo A hasta el modelo 2 model B en la actualidad [19].

Los accesorios o módulos para la placa Raspberry Pi son encontrados fácilmente en el mercado los mismos que permiten aumentar funciones a la placa base, además existe la compatibilidad con shields de la gama Arduino permitiendo acoplar directamente a varios de los sensores o actuadores existentes .

En la tabla 4.2 se muestra una comparación entre las SBC del fabricante Raspberry Pi Foundation.

Tabla 4.2: Tabla comparativa entre modelos Raspberry Pi

Fuente: <http://comohacer.eu/wp-content/uploads/Comparativa-Raspberry-Pi.png>

	Model A	Model A+	Model B	Model B+
SoC	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835
CPU	700 MHZ ARM1176JZF-S	700 MHZ ARM1176JZF-S	700 MHZ ARM1176JZF-S	700 MHZ ARM1176JZF-S
GPU	VideoCore IV	VideoCore IV	VideoCore IV	VideoCore IV
RAM	256Mb	256Mb	512Mb	1GB
USB	1	1	2	4
VIDEO	RCA,HDMI	Jack,HDMI	RCA,HDMI	Jack,HDMI
AUDIO	Jack,HDMI	Jack,HDMI	Jack,HDMI	Jack,HDMI
BOOT	SD	MicroSD	SD	Micro SD
RED	-	-	Ethernet 10/100	Ethernet 10/100
CONSUMO	300mA/1,5w/5v	400mA/2w/5v	700mA/3,5w/5v	500mA/2,5w/5v
ALIMENTACION	MicroUSB/GPIO	MicroUSB/GPIO	MicroUSB/GPIO	MicroUSB/GPIO
TAMAÑO	85,6 x 53,96 mm	65 x 56 mm	85x56 mm	85 x 56 mm
PRECIO	25 \$	20 \$	35 \$	35 \$

La tarjeta BEAGLEBONE Negro es otra opción un tanto mas costosa; pero es compatible con Sistemas Operativos Debian, Ubuntu, Android y muchos mas.

En el mercado internacional la tarjeta llega a costar 45 Dolares [20], pero en el mercado local el dispositivo llega a sobrepasar los 100 dolares [21] .

En la tabla 4.3 se muestran las características de la tarjeta BEAGLEBONE Negro:

Tabla 4.3 : Tabla de datos de la tarjeta BEAGLEBONE Negro

Fuente: http://elinux.org/Beagleboard:BeagleBoneBlack#BeagleBone_Black_Description

	Feature
Processor	Sitara AM3358BZCZ100 1GHz, 2000 MIPS
Graphics Engine	SGX530 3D, 20M Polygons/S
SDRAM Memory	512MB DDR3L 800MHZ
Onboard Flash	4GB, 8bit Embedded MMC
PMIC	TPS65217C PMIC regulator and one additional LDO.
Debug Support	Optional Onboard 20-pin CTI JTAG, Serial Header
Power Source	miniUSB USB or DC Jack 5VDC External Via Expansion Header
PCB	3.4" x 2.1" 6 layers
Indicators	1-Power, 2-Ethernet, 4-User Controllable LEDs
HS USB 2.0 Client Port	Access to USB0, Client mode via miniUSB
HS USB 2.0 Host Port	Access to USB1, Type A Socket, 500mA LS/FS/HS
Serial Port	UART0 access via 6 pin 3.3V TTL Header. Header is populated
Ethernet	10/100, RJ45
SD/MMC Connector	microSD , 3.3V
User Input	Reset Button Boot Button Power Button
Video Out	16b HDMI, 1280x1024 (MAX) 1024x768,1280x720,1440x900 ,1920x1080@24Hz w/EDID Support
Audio	Via HDMI Interface, Stereo
Expansion Connectors	Power 5V, 3.3V , VDD_ADC(1.8V) 3.3V I/O on all signals McASP0, SPI1, I2C, GPIO(69 max), LCD, GPMC, MMC1, MMC2, 7 AIN(1.8V MAX), 4 Timers, 4 Serial Ports, CAN0, EHRPWM(0,2),XDMA Interrupt, Power button, Expansion Board ID (Up to 4 can be stacked)

Otra opción es PcDuino que es una placa que mezcla lo mejor de arduino y Raspberry Pi y posee un CPU AllWinner A20 1Ghz ARM Cortex A7 dualcore, GPU Mali 400 dualcore, 1GB de RAM, 4GB de memoria flash en placa y posibilidad de ampliarlo con una microSD. Contiene GPIO, ADC, I2C, UART, PWM, HDMI, USB, Ethernet, WiFi, IR, SATA, MIPI para cámaras y conexión para una batería de Li-Poly. Un pack muy suculto y potente que le puede interesar a usuarios más exigentes que necesiten correr

sistemas operativos como Ubuntu o Android. El costo de la placa en el mercado local sobrepasa los 80 dolares [23].

Con los datos anteriores hoy en la actualidad existen varios modelos de tarjetas SBC que se pueden utilizar para el proyecto; para la selección de la tarjeta se busco la factibilidad de adquisición, precio que este dentro del presupuesto, el dominio del lenguaje de programación, el tiempo que se encuentra disponible en el mercado, sugerencias y manuales de utilización.

El dispositivo seleccionado es Raspberry Pi el cuál permitirá desarrollar la aplicación para el control y monitoreo con el entorno gráfico instalado en el Sistema Operativo Raspbian.

Con esta selección de la tarjeta máster se cumple con los objetivos propuestos para el proyecto sin desperdiciar recursos. En la figura 4. se muestra la tarjeta Raspberry Pi y la distribución de sus pines GPIO.

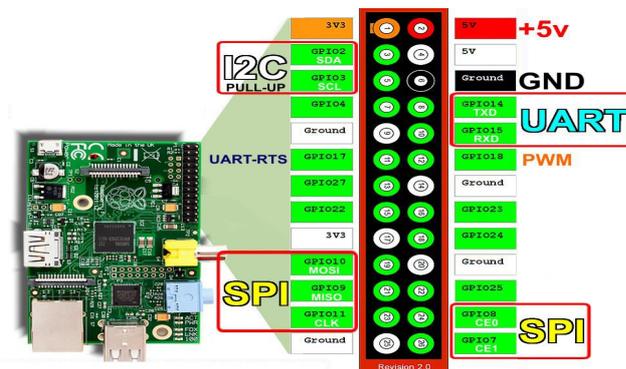


Figura 4.7: Tarjeta Raspberry Pi

Fuente: <http://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?f=76&t=87102> [24]

c. Selección del dispositivo Esclavo

El dispositivo esclavo es una tarjeta Arduino-Uno debido a las grandes prestaciones, compatibilidad con el dispositivo máster, dominio del lenguaje de programación y su costo.

Se emplean estos equipos que permiten una comunicación serial RS-232 entre Raspberry Pi y Arduino-Uno que permitirán su posterior visualización y control de las variables del sistema.

d. Selección de los Sensores:

Para la selección del sensor se tomó en cuenta los sensores con las características mostradas a continuación:

d.1 Sensor de temperatura:

El sensor de temperatura DHT11 es un sensor capaz de obtener el valor de la temperatura y humedad relativa con alta fiabilidad, posee un microcontrolador integrado de 8 bits que mejora calidad y ofrece una rápida respuesta y conexión directa a los pines GPIO de la Raspberry Pi gracias a la salida digital que entrega el sensor [25].

El sensor SHT1x es otra familia de sensores de temperatura y humedad. Los sensores proporcionan una salida digital, otra característica importante es que el dispositivo trabaja con tecnología CMOSens® que garantiza fiabilidad y estabilidad a largo plazo [26]. A continuación en la tabla 4.7 se muestra una comparativa entre los sensores DHTxx y SHT1xx.

Tabla 4.4: Comparativa entre Sensores de temperatura

Fuente: Investigador basado en Datasheets de los dispositivos [25], [26], [27]

Modelo	DHTxx	SHT1x	SHT25
	Temp/Hum	Temp/Hum	Temp/Hum
Power supply	3 – 5.5 V DC	2.4-5.5 V DC	2.1-3.6V DC
Output Signal	Digital single-bus	Serial data bidirectional	Serial data bidirectional
Sensing Element	Polymer resistor	Sensirion	Sensirion
Measuring range	Hum 20-90%; temp +2.0 °C	Hum 100%RH; temp -40 +125°C	Hum 0-100%RH; temp -40 +125°C
Accuracy	Hum +-4%RH(Max+-5%RH) tem +-2.0 °C	Hum +-4.5%RH; tem +-2.0°C	Hum +-1.8%RH; tem +-0.2°C
Resolution or sensitivity	Hum 1%RH; tem 0.1 Celsius	Hum 0.05%RH; tem 0.01 °C	Hum 0.04%RH; tem 0.01 °C
Repeatability	Hum +-1%RH Tem +-1 °C	Hum +-0.1%RH; tem +-0.1 °C	Hum +-0.1%RH; tem +-0.1 °C
Humidity Hysteresis	+1%RH	+1%RH	+1%RH
Long-tem Stability	+0.5%RH/year	<0.5%R / year	<0.25%R / year
Sensing period	Average: 2s	200 ns	900 ns
Interchangeability	Fully interchangeable		
Dimensions	Size 12*15.5*5.5 mm	7.47*7.47*1mm	3*3*1.1mm

El sensor con mejor características es el SHT25 el mismo que brinda mayor rango de resolución y mejor precisión en la adquisición de datos [27].

El sensor DHT11 nos ofrece una lectura de la temperatura y humedad

relativa con una exactitud aceptable razón por la cual su bajo costo.

Se empleará finalmente el sensor DHT11 teniendo en cuenta que la implementación se la realizará para un prototipo el mismo que permitirá tener variedad de resultados, pero para una mayor fiabilidad en el diseño se debe tener en cuenta las características de otros sensores.

d.2 Sensor de humedad del suelo y detector de lluvia :

Los sensores de la gama arduino permiten obtener los rangos de valores necesarios para el respectivo control de humedad de suelo y la presencia o ausencia de lluvia, los sensores a utilizar son: FC-28 y YL-83, los cuales se utiliza para humedad del suelo y detector de lluvia respectivamente, estos dispositivos pueden proporcionar valores analógicos y digitales gracias al C.I. LM393 que esta incluido al adquirir cada uno de los sensores.

En la figura 4.8 se puede apreciar el circuito integrado LM393 y el sensor arduino FC-28 [28].

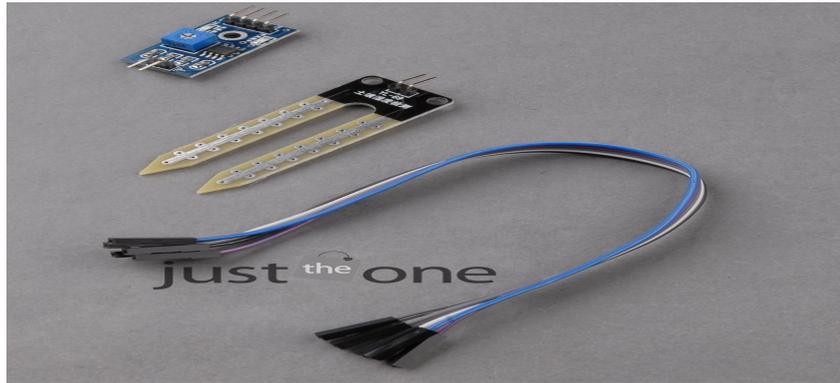


Figura 4.8: C.I. LM393 y sensor FC-28

Fuente: <http://www.ebay.com/itm/Flexible-Soil-Moisture-Meter-Detection-Module-Arduino-Humidity-Sensor-LM393-/190888612303> [29]

e. Selección de Actuadores:

Para la selección de los actuadores se estudio varios tipos de soluciones de las cuales se han seleccionado las siguientes:

e.1 Riego

Para el diseño y dimensiones del prototipo se ha seleccionado como actuador a una electroválvula de 12V DC con un diámetro para tubería de $\frac{1}{4}$ de pulgada y una presión aproximada a 100 psi, para cubrir el área necesaria en el prototipo esta electroválvula es suficiente sin descartar que para una implementación a mayor escala el usuario debe tomar en cuenta diámetro de tubería, presión a soportar y su respectivo voltaje.

e.2 Ventilación

En un invernadero para una ventilación efectiva se recomienda que el área de ventilas sea aproximadamente del 15% al 30 % del área del piso [30]. Para cumplir con este requerimiento se va a ventilar el invernadero de tres formas diferentes:

- **Ventilación Natural:**

Para la ventilación natural está basada en la propiedad que el aire caliente pesa menos que el aire frío, por tanto, el aire frío flota sobre el aire caliente [30]. La ventilación natural se la realiza por ventanas cenitales y laterales.

En la figura 4.9 el diseño de ventanas para ventilación del prototipo.

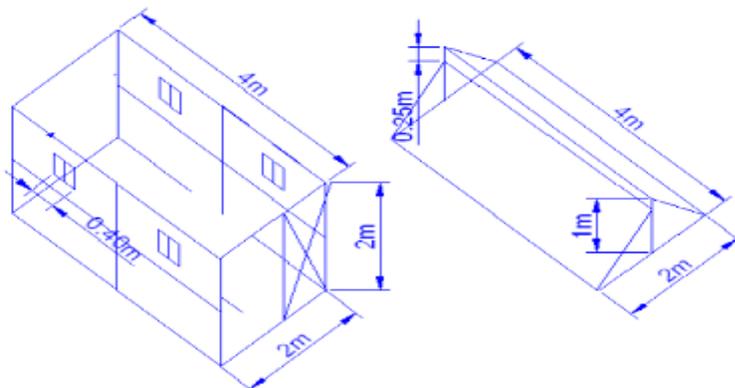


Figura 4.9: Diseño de ventilación

Fuente: Mauro Rojas

- **Ventilación forzada:**

Para la ubicación del ventilador se considera el tipo, ubicación de ventilador y recomendaciones del fabricante; entre los que podemos escoger son: ventilador de piso, ventilador de techo, ventilador de pared y ventiladores industriales.

Para el cálculo del ventilador necesario se considera los siguientes factores: volumen del invernadero en pies cúbicos, caudal necesario para ventilar (cfm) y el número de renovaciones por hora [31].

$$Q_{total} = V \times N^{o}ren$$

Para la solución de la ventilación se consideró los datos del diseño del prototipo:

$$Q_{total} = V \times N^{o}ren$$

El número de renovaciones adecuado para el material del invernadero es 5 ren/h [32].

$$Q_{total} = 706,293 \text{ pie}^3 \times \frac{5 \text{ ren}}{h} \times \frac{1 h}{60 \text{ min}}$$

$$Q_{total} = 58,85 \text{ cfm}$$

Para la adquisición del sensor se busca el dispositivo que cumpla con

los 58,58 cfm; en el mercado no existe uno del valor exacto del calculado pero se puede aproximar a 60 cfm que es el valor inmediato superior.

Se debe tomar en cuenta que se debe evitar que el flujo de aire a una altura del pavimento no menor de 70 cm que es una norma UNE-76-208/92 [32] por esa razón se recomienda un ventilador de pared debido a las condiciones del techo del prototipo.

- **Techo:**

Para cumplir con los parámetros de ventilación se adiciono la automatización del techo que permite ayudara a ventilar el invernadero.

- **Calefactor:**

Para la adquisición de un sistema de calefacción y su adecuada ubicación se debe tener en cuenta las caracterizaras y recomendaciones del fabricante y respetar la norma de altura de la UNE [32].

La formula para calcular los BTU's de un calefactor es:

$$BTU \text{ 's} = \text{Volumen}(\text{pie}^3) \times 0,133 \times \text{Incremento de la temperatura} (^{\circ}\text{F})$$

Para el prototipo se utilizo los siguientes datos de variación de temperatura:

Temperatura requerida = 8 °C

Temperatura del cantón Quero = 4°C

Variación de temperatura en ° F = 39,2° F

$$BTU \text{ 's} = 706,293(\text{pie}^3) \times 0,133 \times 39,2(^{\circ}\text{F})$$

$$BTU \text{ 's} = 3682,329$$

En la figura 4.10 se ventilación natural y forzada del prototipo cumpliendo los requerimientos del invernadero.

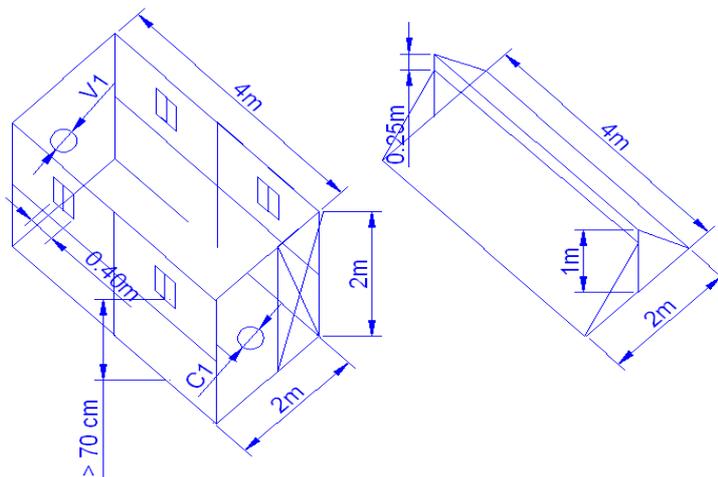


Figura 4.10: Ventilación Forzada del invernadero

Fuente: Mauro Rojas

a) Control manual

El sistema de control manual, se lo puede observar en la figura 4.11, donde se describe los procesos a controlar en el interior y exterior del invernadero; los controles programados tendrán la posibilidad de adaptar condiciones de climatización cuando el sistema envíe mensajes de alerta hacia el dispositivo terminal del agricultor.

El usuario recibirá información actualizada y constante de los cambios que se presenten en sus cultivos y el HMI permitirá activar los diversos mecanismos o sistemas que sean necesarios.

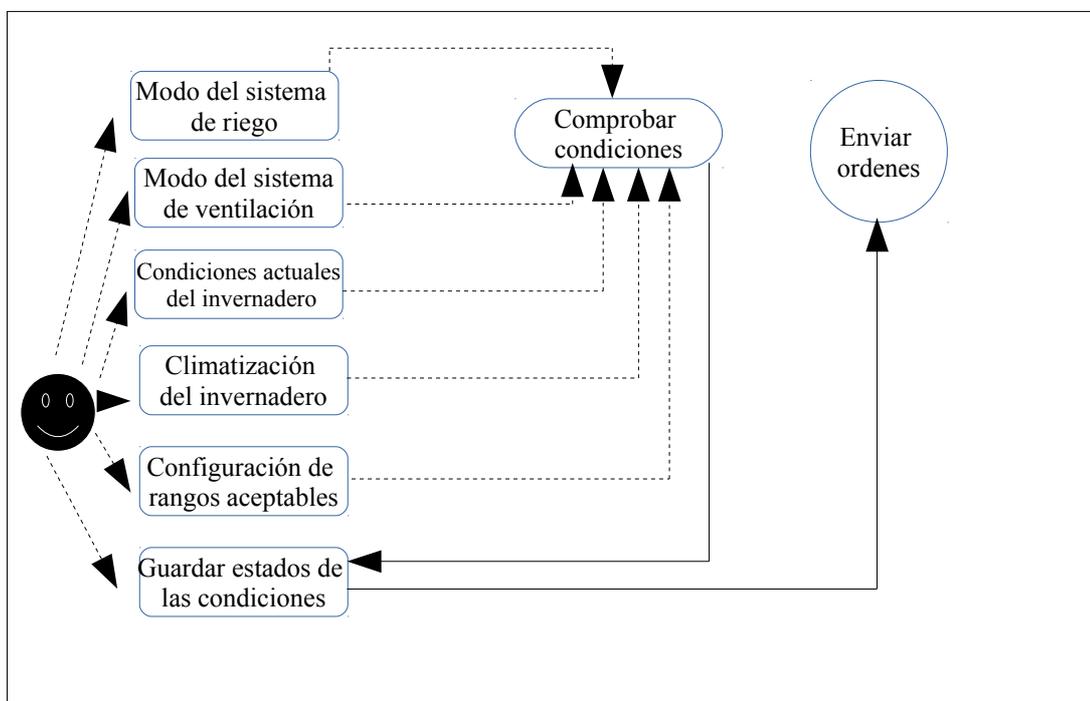


Figura 4.11: Diagrama del control manual

Fuente: Mauro Rojas

b) Control automático

Una vez creado las variables y rangos que los sensores deben cumplir en el modo manual el control automático será activado después de 1 minuto que el usuario no haya tomado en cuenta ninguna de las advertencias del sistema, permitiendo incluso al agricultor descansar tranquilamente por la noche debido a que el sistema brinda mayor seguridad.

El diagrama completo del control automático se lo puede apreciar en la figura 4.12, donde los controles automáticos y comunicaciones respectivas entre sensores y actuadores los realizará la tarjeta Rasperberri Pi.

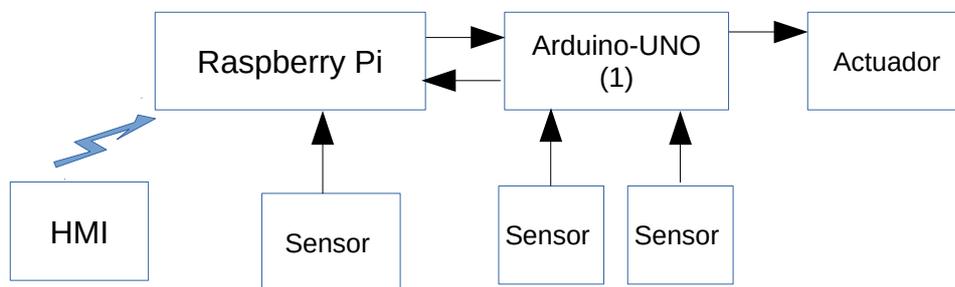


Figura 4.12: Diagrama del control automático

Fuente: Mauro Rojas

4.2.5 Descripción de los sistemas

Los sensores de temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, además los

dispositivos actuadores serán considerados esclavos para el dispositivo maestro Raspberry Pi, la comunicación entre el maestro y los esclavos es mediante la tarjeta Arduino-Uno. La lectura del sensor debe ser codificada de tal manera que en la trama de información enviada al dispositivo maestro pueda ser decodificada y almacenada para obtener una respuesta del sistema. En la figura 4.13 se muestra la distribución de los sensores en el interior y exterior del invernadero.

Para la ubicación del sensor de temperatura se tomo en cuenta la normativa de la organización meteorológica mundial (O.M.M.) que enuncia “la temperatura indicada por el termómetro (ya sea de líquido en vidrio o electrónico) expuesto al aire, de forma que se halle protegido de la radiación solar directa”. Se recomienda se recomienda la altura de 1 – 1.5 m de altura [33].

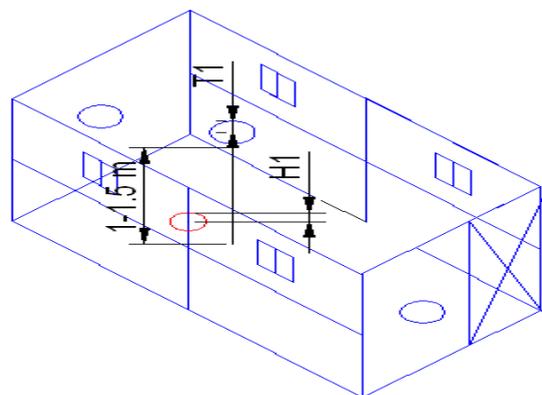


Figura 4.13: Distribución de los sensores

Fuente: Mauro Rojas

EL sensor H1 obtendrán la Humedad del suelo del terreno, el sensor T1 nos

mostrara la Humedad relativa y temperatura en el interior del invernadero.

En la siguiente figura 4.14 se muestra la conexión de los sensores y actuadores para cada uno de sus sistemas.

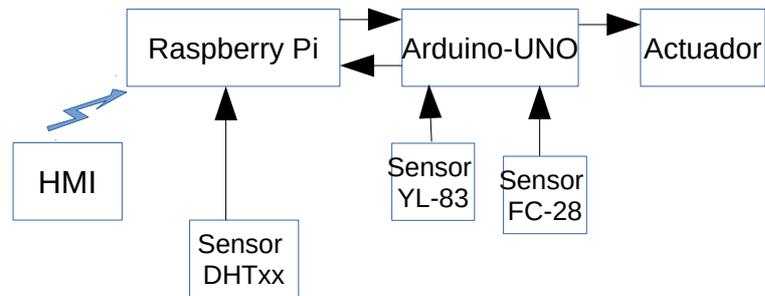


Figura 4.14: Conexión de los sensores y actuadores

Fuente: Mauro Rojas

En la figura 4.13 el diseño del sistema de control para el invernadero.

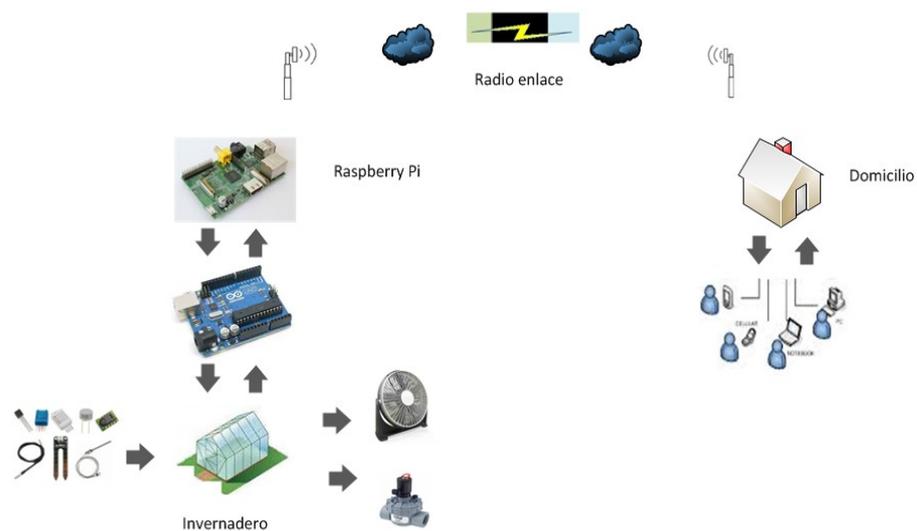


Figura 4.15: Diseño del sistema de control

Fuente: Mauro Rojas

a. Sistema de riego

El sensor de humedad del suelo FC-28 activa el sistema descrito en la figura 4.15 para activar el riego cuando el sensor colocado en el suelo detecte una variación de la escala de datos entre 0 y 300; el suelo esta seco y el terreno esta húmedo, cuando sus valores están en los rangos comprendidos entre 300 y 700, además cuando los valores llegan desde los 750 a los 950 el suelo está demasiado húmedo, con estos rangos la escala de humedad es la adecuada para que puede manejarse en el tipo de suelo que estamos trabajando.

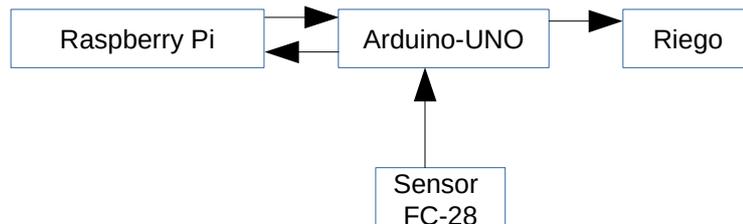


Figura 4.16: Sensor de humedad del suelo

Fuente: Mauro Rojas

b. Sistema de ventilación

La conexión del sistema de ventilación V1, V2 y el sensor de temperatura se muestra en la figura 4.14.

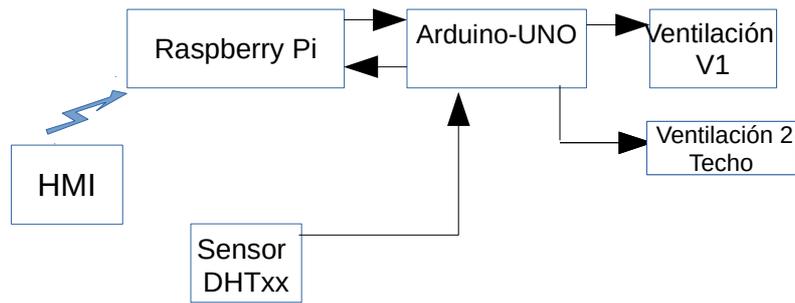


Figura4.17: Conexión del sistema de Ventilación

Fuente: Mauro Rojas

La información del sensor de temperatura DHTxx de la gama arduino, junto a su librería permite obtener valores de temperatura y humedad relativa, los modos de conexión del sensor se muestran en la figura 4.17.

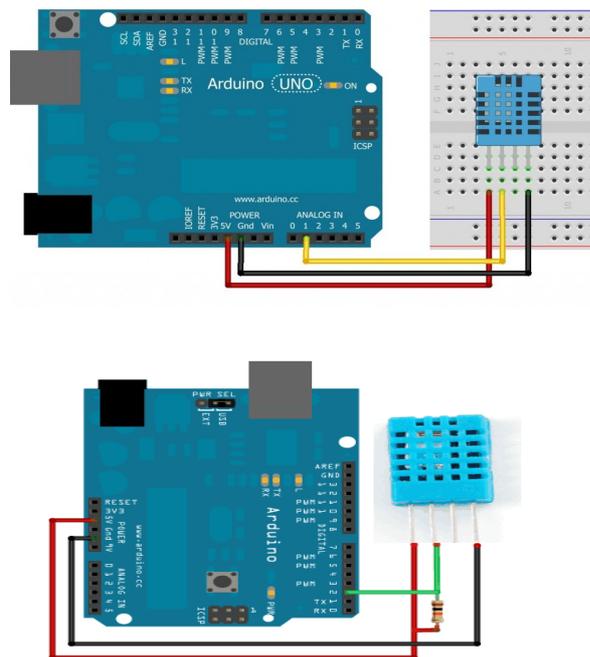


Figura 4.18: Conexión Análoga y Digital

Fuente: <http://mikroe.es/tag/sensor-dht11/>

Para activar el sistema de ventilación los valores tendrán que estar en los

rangos de la tabla 4.4 [8], [17].

Tabla 4.5: Rangos de variables en cultivos.

Fuente: INIAP y Plan de Gobierno del cantón Quero

Variables	Papa	Haba	Arveja
Temperatura	11 °C - 19 °C	8 y 14 °C	8 y 14 °C
Humedad Relativa	90-95 %	85-95 %	70-80 %
Humedad del Suelo	Normal	Normal	Abundante Agua

En la figura 4.16 se muestra la conexión del sistema de ventilación V1,V2 y el sensor que detecta la lluvia.

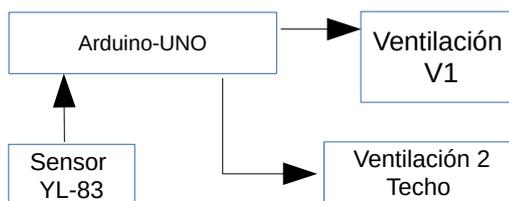


Figura 4.19: Conexión del sistema de ventilación V2

Fuente: Mauro Rojas

El módulo YL-83 detecta gotas de lluvia permitirá la abertura del techo del invernadero siempre y cuando el suelo lo necesite y la lluvia no sea pasajera. El techo será abierto cuando la temperatura en el interior sobrepase los valores establecidos para cada cultivo.

4.2.6 Sistema de comunicación

Para establecer la comunicación de los equipos, se realizó una comunicación

serial e inalámbrica.

a. Comunicación serial

La comunicación serial seleccionada es la comunicación RS-232 la cual maneja una trama de datos que permitirá el monitoreo y manejo de cada uno de los dispositivos que se encuentren en la red.

b. Comunicación inalámbrica

Para la comunicación inalámbrica se usó el estándar IEEE 802.11 de capa física y enlace (subnivel MAC), A continuación en la tabla 4.5 una breve evolución del estándar 802,11 [34].

Tabla 4.6: Evolución del Estándar 802.11

Fuente: I. Pellerejo, F. Andreu, A. Lesta, "Fundamento y aplicaciones de seguridad en redes WLAN"

	IEEE 802.11	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a	IEEE 802.11g
Fecha	1997	1999	2000	2003
Banda	2,4 GHz	2,4 GHz	5,8 GHz	2,4 GHz
Velocidad de transmisión	1,2 Mbps	1,2,5.5 y 11 Mbps	6,9,12,18,24,36,48,54 Mbps	1,2,5.5,6,9,11,12,18,24,36,48,54 Mbps
Modulación	DHSS,FHSS	DHSS	OFDM	OFDM
Compatibilidad		Compatible con IEEE 802.11	No es compatible con ningún otro estándar	Compatible con IEEE 802.11, IEEE 802.11b

Selección de equipos de Radio Frecuencia:

Para la selección de los equipos de radio frecuencia se evaluó su trabajo dentro del estándar 802,11a, el mismo que permite trabajar a una frecuencia libre de 5,8 GHz y con la oportunidad de variar en cada uno de los canales disponibles de transmisión.

En la tabla 4.7 se muestra las características de varios modelos compatibles con la banda de transmisión del radio enlace [35].

Tabla 4.7: Equipos de radiofrecuencia

Fuente: N. Mariño, TEMI de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones

	Mikrotik	Motorola	Ubiquiti
Modelo	BaseBox5	CANOPY	Nano Station M5
Frecuencia de operación	5 GHz	5 GHz	5 GHz
Potencia consumo	4 a 11.5 W	8.2-9.1 W	8 W
Capacidad de Tx	148 Mbps	300Mbps	150 Mbps
CPU	600 MHz	500 MHz	400MHz
RAM	64 MB	64 MB	32 MB
Interfaz	RJ45 10/100	RJ45 10/100	RJ45 10/100*2
Estándar	802.11a / n	802.3	802.11 a/n
Alimentación PoE	30 V DC	24V DC	24V DC
Sistema operativo	Router OS	Canopyboot	Air Os
Temperatura operación	-30C a 60C	-30C a 55C	-30C a 75C
Resistencia al viento	200 Km/h	190Km/h	201 Km/h
Ganancia de la antena	16 dBi	17 dBi	16 dBi
Sensibilidad	-90dBm	-83 dBm	-103 dBm
Modulación	OFDM	OFDM, SFK	QAM, OFDM
Tecnología	MIMO	MIMO	TDMA / MIMO
Costo de un radio promedio	165	280	120

La selección del mejor equipo es el modelo Nano Station de la compañía Ubiquiti que es compatible con la banda de 5.8 Ghz. En la tabla 4.8 se

muestra las características de transmisión y recepción de los equipos Nano Station:

Tabla 4.8: Especificaciones de transmisión y recepción

Fuente: http://dl.ubnt.com/ns5_datasheet.pdf [36]

RADIO OPERATING FREQUENCY 5.475-5.825GHz								
TX SPECIFICATIONS				RX SPECIFICATIONS				
	DataRate	Avg.Power	Tolerance		DataRate	Sensitivity	Tolerance	
802.11a OFDM	6Mbps	24 dBm	+/-1.5dB		6Mbps	-94 dBm	+/-1.5dB	
	9Mbps	24 dBm	+/-1.5dB		9Mbps	-93 dBm	+/-1.5dB	
	12Mbps	24 dBm	+/-1.5dB		12Mbps	-91 dBm	+/-1.5dB	
	18Mbps	24 dBm	+/-1.5dB		18Mbps	-90 dBm	+/-1.5dB	
	24Mbps	24 dBm	+/-1.5dB		24Mbps	-86 dBm	+/-1.5dB	
	36Mbps	22 dBm	+/-1.5dB		36Mbps	-83 dBm	+/-1.5dB	
	48Mbps	21 dBm	+/-1.5dB		48Mbps	-77 dBm	+/-1.5dB	
	54Mbps	19 dBm	+/-1.5dB		54Mbps	-74 dBm	+/-1.5dB	

Luego de seleccionar el equipo se analizó los diferentes factores que influyen en la propagación de las ondas tales como:

- Perfil del terreno
- Primera zona de Fresnel
- Atenuación
- Balance del enlace

Las coordenadas geográficas de los puntos del radio enlace son: el control remoto del invernadero tiene de latitud 1°23'8.86"S y longitud 78°36'32.37"O y el invernadero está ubicado en latitud: 1°23'25.90"S y longitud: 78°35'41.53"O, la distancia del enlace es 1,67 km. En la figura 4.20 se muestra el área completa a cubrir con el radio enlace.



Figura 4.20: Área exacta a cubrir

Fuente: Google earth

b.1 Perfil del terreno

En la siguiente tabla 4.9 se muestra el perfil del terreno cada 50m, partiendo del punto de monitoreo hasta el invernadero:

Tabla 4.9: Perfil del terreno

Fuente: Mauro Rojas

d	h
0 m	2988 m
50 m	2987 m
100 m	2987 m
150 m	2987 m
200 m	2986 m
300 m	2986 m
350 m	2985 m
400 m	2981 m
450 m	2973 m
500 m	2961 m
550 m	2947 m

600 m	2938 m
650 m	2930 m
700 m	2931 m
750 m	2933 m
800 m	2937 m
850 m	2941 m
900 m	2944 m
950 m	2950 m
1000 m	2957 m
1050 m	2964 m
1100 m	2971 m
1150 m	2977 m
1200 m	2982 m
1250 m	2988 m
1300 m	2995 m
1350 m	3001 m
1400 m	3007 m
1450 m	3014 m
1500 m	3022 m
1550 m	3030 m
1600 m	3039 m
1650 m	3049 m
1660 m	3050 m
1667 m	3051 m

Con los datos obtenidos se procedió a realizar el gráfico del perfil, el cual se muestra en la figura 4.21:

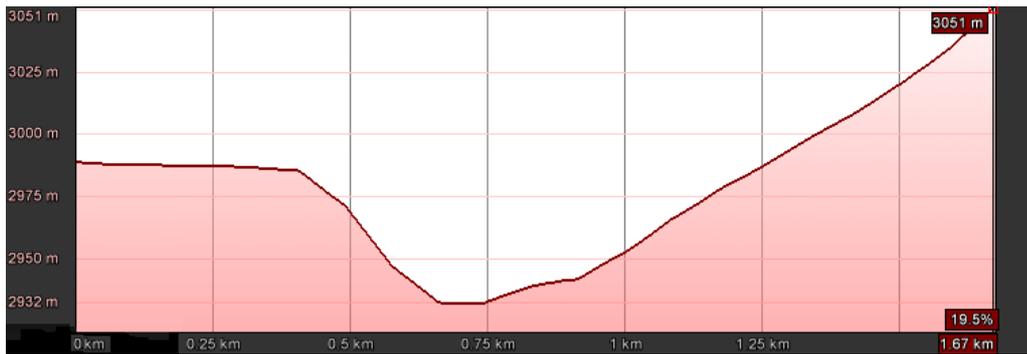


Figura 4.21: Perfil del terreno

Fuente: Mauro Rojas

b.2 Primera zona de Fresnel

La zona de Fresnel permite considerar la altura en la cual el enlace de radio es confiable. Se debe conseguir que la altura del radio de la primera zona de Fresnel (o al menos el 80% del radio) esté libre de obstáculos.

La constante de Fresnel establece lo siguiente:

$$r = 17,32 \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

r: radio en metros.

D: distancia total del enlace en kilómetros

f: frecuencia del enlace en GHZ

$$r = 17,32 \sqrt{\frac{1,67}{4 * 5.8}}$$

$$r = 17,32 * 0,071$$

$$r=1,24\text{ m}$$

En la figura 4.22 se muestra la gráfica de la primera zona de Fresnel.

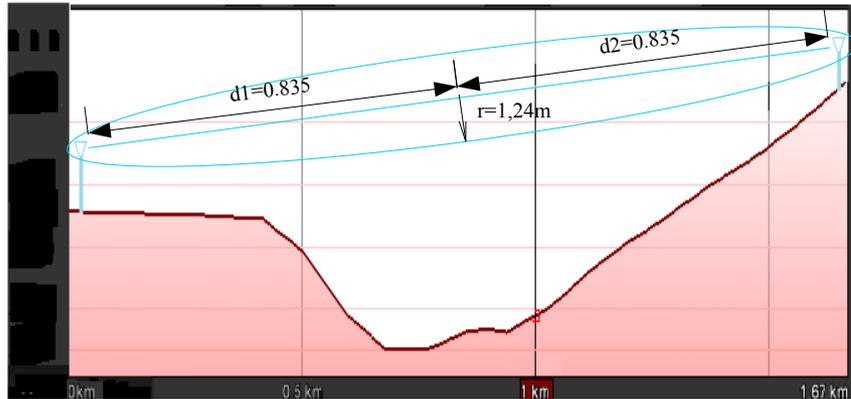


Figura 4.22: Primera zona de Fresnel

Fuente: Mauro Rojas

Como se puede observar la primera zona de Fresnel esta despejada y en consecuencia se tiene línea de vista.

b.3 Reflexión, difracción y atenuación.

Estos tres factores afectan en la transmisión y recepción de los datos, teniendo en cuenta que el fenómeno que más afecta es la atenuación, debido a las características geográficas de la zona.

b.4 Atenuación:

La señal de transmisión pierde su potencia cuando atraviesa ciertos

materiales generando una atenuación. La presencia de lluvias fuertes o niebla también afectan y deben ser consideradas atenuaciones en el radio enlace.

Atenuación en el espacio libre del radio enlace:

$$L_{bas}(dB) = 32,4 + 20 \log d(Km) + 20 \log F(Mhz)$$

$$L_{bas}(dB) = 32,4 + 20 \log 1,67(Km) + 20 \log 5800(Mhz)$$

$$L_{bas}(dB) = 32,4 + 20(0,227) + 20(3,76)$$

$$L_{bas}(dB) = 112,14 dbm$$

b.5 Reflexión:

Al trabajar en una zona rural la presencia de edificaciones disminuye con lo que el efecto de propagación multicamino se reduce y la reflexión de la onda de propagación por materiales de la zona urbana ya no intervienen.

b.6 Difracción:

Debido a que existe línea de vista los problemas causados por picos de árboles o de montañas, o en alguna esquina de edificio. Por este motivo este efecto no incide gravemente en la comunicación.

b.7 Balance del enlace.

El balance del enlace permite conocer que potencia llega al receptor, con esta información se puede seleccionar los equipos necesarios para la transmisión y recepción adecuada.

Los equipos NS5 tienen una potencia de transmisión de 24 dBm y como receptor tiene una sensibilidad de -94 dBm, utilizan la tecnología POE con cables UTP para enviar alimentación y datos hasta el dispositivo NS5, la atenuación para cable UTP es obtenida de la siguiente tabla 4.10 [37]:

Tabla 4.10: Atenuación en cable UTP para 900m de cable rígido

Fuente: http://guimi.net/monograficos/G-Cableado_estructurado/G-CENode19.html

	Atenuac. dB	NEXT dB	ACR dB	Pérd.Ret. dB	Ret.Pro 2#2s	Var.Ret 2#2s	PSNEXT dB	PSACR dB	ELFEXT dB	PSELFEXT dB
D 100 MHz	24,0	30,1	6,1	10,0	0,55	0,05	27,1	3,1	17,4	14,4
E 250 MHz	35,9	33,1	-2,8	8,0	0,55	0,05	30,2	-5,8	15,3	12,3
F 600 MHz	54,6	51,2	-3,4	8,0	0,55	0,05	48,2	-6,4	21,1	18,1

Con los datos de la tabla 4.6 la atenuación para el cable UTP del enlace es:

$$A_{cable} = 54,6 \text{ dB para } 900 \text{ m}$$

entonces:

$$d_{\text{enlace}} = 10 \text{ m}$$

$$A_{\text{cable}} = \frac{10 \text{ m} * 54,6}{900 \text{ m}}$$

$$A_{\text{cable}} = 0,606 \text{ dB para } 10 \text{ m}$$

En consecuencia la atenuación por cable UTP de emisor y receptor es de:

$$A_{\text{cable UTP}} = 0,606 \text{ dB} * 2$$

$$A_{\text{cable UTP}} = 1,213 \text{ dB}$$

En la figura 4.23 se muestra el balance del enlace con sus respectivas ganancias y pérdidas de la comunicación.

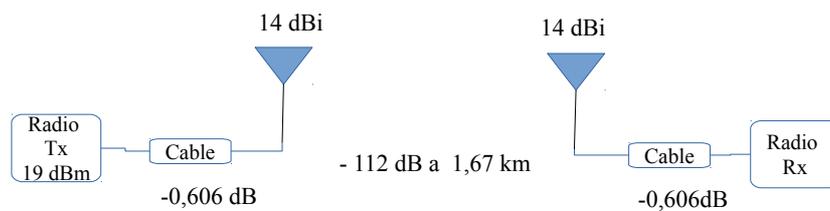


Figura 4.23: Balance del enlace

Fuente: Mauro Rojas

$$P_r = P_T + G_T - L_{\text{bas}} - L_c$$

Donde:

P_r es el balance del enlace y P_T potencia del transmisor y es en dBm, L_C son

las pérdidas del cable, se expresa en dB G_a la ganancia de la antena se expresa en dBi.

$$L_c = -0,606 \text{ dB}$$

$$G_a \text{ En dB}$$

$$dB = dBi - 2,14$$

$$dB = 14 - 2,14$$

$$dB = 11,86 \text{ dB}$$

La potencia de recepción es:

$$P_r = P_t - L_c - L_{\text{conectores}} + G_a - L_{\text{bas}}$$

$$P_r = 24 \text{ dBm} + 11,86 \text{ dB} + 11,86 \text{ dB} - 0,606 \text{ dB} - 0,606 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB} - 112,14 \text{ dBm}$$

$$P_r = -66,13 \text{ dBm}$$

El rango de sensibilidad de recepción en la comunicación es:

$$S_c = P_r - S_r$$

donde:

S_c es la sensibilidad del receptor

P_r es la potencia de recepción

S_r es la sensibilidad del receptor

$$S_c = -65,13 \text{ dBm} - (-94 \text{ dBm})$$

$$S_c = 27,87 \text{ dBm}$$

4.3 Desarrollo de la aplicación

La aplicación está desarrollada en QT Creator que es un IDE (entorno de desarrollo integrado) multiplataforma de código abierto que permite desarrollo de interfaces gráficas con las siguientes características:

- Editor de código con soporte para C++, QML y ECMAScript
- Herramientas para la rápida navegación del código
- Resaltado de sintaxis y auto-completado de código
- Control estático de código y estilo a medida que se escribe
- Soporte para refactoring de código
- Ayuda sensitiva al contexto
- Plegado de código (code folding)
- Paréntesis coincidentes y modos de selección

La instalación del software y sus respectivas librerías es sencilla y rápida sin muchos requerimientos de Hardware, lo cual lo hace compatible con Raspberry Pi; permitiendo desarrollar aplicaciones con visualización inmediata [38].

La aplicación de control desarrollada permite la visualización de datos, activación y desactivación de actuadores. En la figura 4.24 se muestra la gráfica del software desarrollado en QT Creator.



Figura 4.24: Software desarrollado en QT Creator

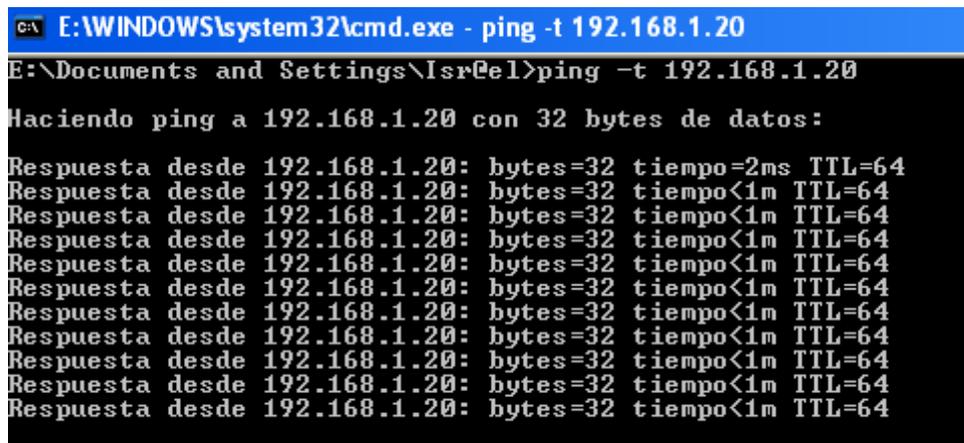
Fuente. Mauro Rojas

4.4 Pruebas de funcionamiento:

Se realizaron las siguientes pruebas de funcionamiento:

A continuación la comunicación remota para verificar la conectividad del radio enlace entre el prototipo y la vivienda del agricultor.

La dirección IP del dispositivo NS5 ubicado en la vivienda del agricultor es: 192.168.1.20 . La figura 4.23 muestra la prueba de conectividad desde el invernadero hasta la Vivienda de los dispositivos NanoStation 5.

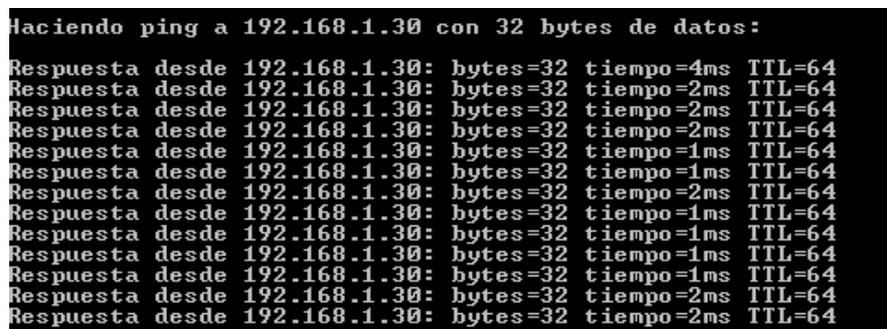


```
E:\WINDOWS\system32\cmd.exe - ping -t 192.168.1.20
E:\Documents and Settings\Isr@el>ping -t 192.168.1.20
Haciendo ping a 192.168.1.20 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.20: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.20: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
```

Figura 425. Prueba de conectividad desde el invernadero hasta la Vivienda

Fuente: Mauro Rojas

La dirección IP del dispositivo NanoStation 5 ubicado en el invernadero es: 192.168.1.30 . La figura 4.27 muestra la prueba de conectividad desde la vivienda hasta el invernadero.



```
Haciendo ping a 192.168.1.30 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.30: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
```

Figura 4.26: Prueba de conectividad desde la vivienda hasta el invernadero

Fuente. Mauro Rojas

La dirección IP de la tarjeta Raspberry Pi utilizado para el control del invernadero es: 192.168.1.30 . La figura 4.28 muestra la prueba de conectividad con la tarjeta Raspberry Pi.

```
Haciendo ping a 192.168.1.14 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=73ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=91ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=114ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=34ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=57ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=77ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=103ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=24ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=47ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=70ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=94ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=15ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=39ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=61ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=84ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=108ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=28ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=74ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=97ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=18ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=41ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.14: bytes=32 tiempo=63ms TTL=64
```

Figura 4.27: Conectividad con la tarjeta Raspberry Pi

Fuente: Mauro Rojas

El control del invernadero automático y manual utiliza lenguaje QT compatible con Python con lo cual el control puede ser con una interfaz gráfica. Para el usuario se le presenta una opción adicional de un mando manual mediante botones ubicados en el panel principal. En la figura 4.29 se muestra la distribución de los equipos del panel principal del invernadero.

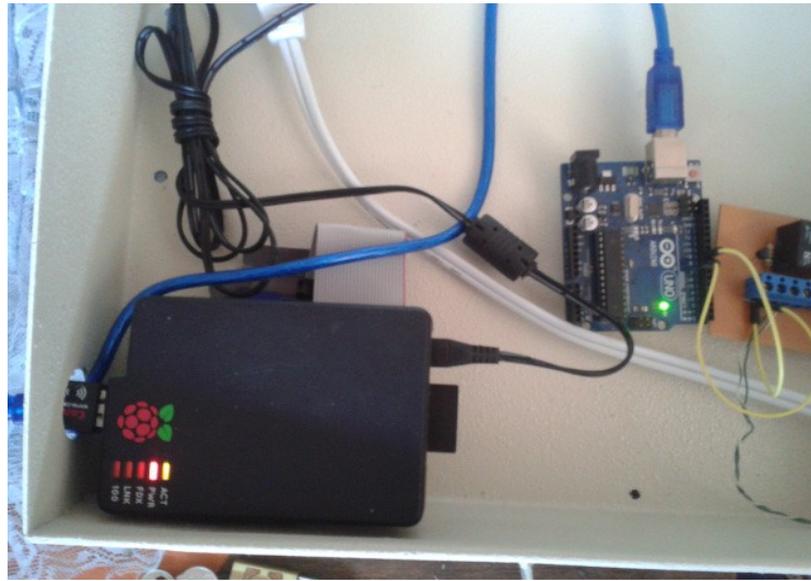


Figura 4.28: Interfaz gráfica del sistema del invernadero

Fuente: Mauro Rojas

El control del prototipo proporciona la activación o desactivación de cada uno de los sistemas controlado mediante la tarjeta arduino. En siguiente figura 4.30 se muestra el ejemplo de comprobación de activación de la ventilación utilizando la comunicación serial RS-485 mostrado en el panel principal.



Figura 4.29: Ejemplo de Activación del puerto Arduino

Fuente: Mauro Rojas

En la figura 4.31 se muestra la ventilación activada.



Figura 4.30: Ventilación Activada

Fuente: Mauro Rojas

En la figura 4.32 se muestra la activación del sistema de riego.

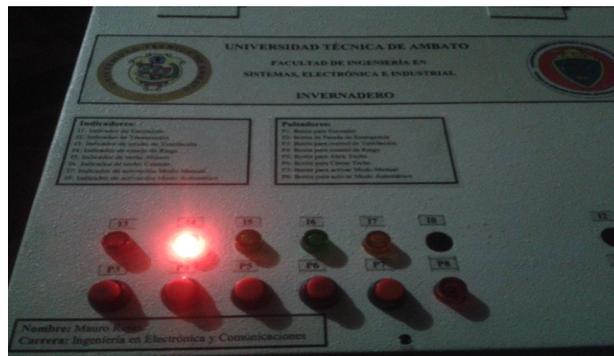


Figura 4.31: Indicador del Sistema de Riego Activado

Fuente: Mauro Rojas

En la figura 4.33 muestra que el techo esta abierto.



Figura 4.32: Indicador de Techo Abierto

Fuente: Mauro Rojas

En la figura 4.34 muestra que el techo esta cerrado.

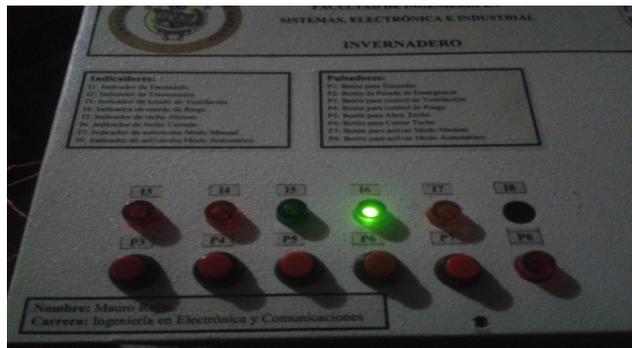


Figura 4.33: Indicador de Techo Cerrado

Fuente: Mauro Rojas

En la siguiente figura 4.35 se muestra el Modo Manual activado en su respectivo indicador en el panel principal.



Figura 4.34: Indicador de Modo Manual

Fuente: Mauro Rojas

En la siguiente figura 4.36 se muestra el Modo Automático activado en su respectivo indicador en el panel principal.



Figura 4.35: Indicador de Modo Automático

Fuente: Mauro Rojas

Los valores del monitoreo de temperatura, humedad relativa y humedad del suelo se los captura mediante las siguientes variables mostradas en la figura 4.33.

```
LXTerminal
File Edit Tabs Help
root@raspberrypi:/home/pi# cd /home/pi/Desktop/
root@raspberrypi:/home/pi/Desktop# cd Final/
root@raspberrypi:/home/pi/Desktop/Final# python Invernadero.py
Temperatura=11.0°C Humedad=146.0% Suelo=Humedo
Temperatura=11.0°C Humedad=146.0% Suelo=Humedo
Temperatura=11.0°C Humedad=146.0% Suelo=Humedo
```

Figura 4.36: Monitoreo de Temperatura y Humedad

Fuente: Mauro Rojas

4.5 Presupuesto del sistema:

4.5 Presupuesto del sistema:

El desarrollo del sistema propone el presupuesto mostrado en la tabla 4.11

Tabla 4.11: Presupuesto del sistema

Fuente: Mauro Rojas

Equipo	Costo	Modelo	Observaciones
Raspberry Pi	\$ 50	Raspberry Pi model B	Usado en el prototipo
Arduino	\$ 29	Arduino-Uno	Usado en el prototipo
Sensor Temperatura/Humedad	\$ 15	DHT11	Usado en el prototipo
Sensor Humedad del suelo	\$ 10	FC-28	Usado en el prototipo
Sensor detector de lluvia	\$ 10	YL-83	Usado en el prototipo
Ubiquiti	\$ 120	Nano Station	Costo del enlace promedio
Electrovalvula	\$ 25		Usado en el prototipo
Manguera riego por goteo	\$ 5		Usado en el prototipo
Ventilador	\$ 45	60 CFM	CFM calculado
Circuitos de Conexión y acoplamiento	\$ 30	Circuito de Potencia y cables	Usados para el prototipo
Total:			\$ 339

El desarrollo del sistema tiene un costo de equipos e implementación de \$ 339.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones:

- El estudio previo de normativas, leyes y recomendaciones de equipos permitirán obtener el mejor beneficio de un sistema en adquisición de datos y en efectividad de respuesta.
- Los sensores con mejores características para la implementación son los SHT25 que poseen mejor calibración y rangos de error mínimos permitiendo brindar mayor seguridad al sistema.
- Para implementaciones futuras se procederá con el estudio de tarjetas Single Board Computer (SBC) con mejores prestaciones y que permitan compactar aún más el sistema.
- El software desarrollado es compatible con el radio enlace, por lo tanto el usuario puede tener un monitoreo y control remoto de los eventos en el interior y exterior del invernadero.

5.2 Recomendaciones:

- Para la ubicación de cada uno de los equipos, sensores o actuadores se debe considerar las características, recomendaciones y cálculos respectivos de cada uno de los elementos.
- Para la selección de un lenguaje de programación se debe tener en cuenta la instalación previa de las librerías necesarias, ubicación de instalación y demás requerimientos de instalación.
- El mantenimiento y supervisión de equipos permitirán prolongar tiempo de vida útil del sistema completo permitiendo al usuario proteger su inversión de implementación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. L. Espinosa, “Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre”, presentado al Centro Universitario UAEM Texcoco, Texcoco, Méx. 2013.
- [2] S. F. Sánchez, E. O. Hernández, “Un Control De Temperatura De Un Invernadero A Escala Mediante Programación En Arduino”, presentado en el Congreso Nacional de Control Automático 2013, Baja California , Mex. 2013.
- [3] Mayra Johanna Erazo Rodas, *Diseño e implementación de una red inalámbrica, aplicando el estándar de comunicaciones zigbee, para el monitoreo de los sistemas: antiheladas, riego y ventilación de un prototipo de invernadero inteligente para el cultivo de rosas*, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España, 2011/2012
- [4] Erazo Rodas Mario Leoninas, Sánchez Alvarado José Luis, “Control y supervisión de variables en un sistema de antiheladas, riego y ventilación para optimizar los cultivos bajo invernadero”, Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador, 2011
- [5] David Rafael Garcés Hernández, *Sistema de control y monitoreo del invernadero del centro experimental del riego de la EsPOCH mediante tecnología zigbee*, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2011/2012
- [6] Luis Alberto Puma Caiza, *Sistema De Supervisión, Control Y Adquisición De Datos A Través De La Telefonía Móvil Para Invernaderos De Rosas*, Universidad Técnica De Ambato, Ambato, Ecuador, 2006.
- [7] T. E. Castillo, *Implementación De Un Sistema Scada Para Integrar A Varios Dispositivos De Automatización En El Monitoreo Y Control De Un Prototipo De Invernadero De Rosas Para La Facultad De Ingeniería En Sistemas*, Electrónica E Industrial, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2010.

- [8] E. Peralta, E. Cevallos, “Guía Para el Cultivo de haba”, Cultivos de la sierra ecuatoriana, INIAP:Ecuador, 1993
- [9] DIRECCIÓN REGIONAL AGRARIA PUNO, «MANUAL DE MANEJO Y CONTROL INTEGRADO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN HABA , »[En línea]. Available:http://www.agropuno.gob.pe/sites/default/files/documentos/manuales/manual_mip_haba.pdf. [Último acceso: 2014].
- [10] Z. Serrano, “Construcción de Invernaderos”, *Generalidades* ,Madrid , Ed. Mundi-Prensa,2005, Pg 42.
- [11] Asociación de Agrónomos Indígenas de Cañar., “Diseño, construcción y mantenimiento de invernaderos de madera”, *Tipos de invernaderos*, Quito, Ed. Abya Yala, 2004,
- [12] C. B. Kuo., “Sistemas de Control”, *Sistemas de Control Automático*,I. Zucker, Ed. México:México,1996, Pg 2.
- [13] Serna Ruiz A., García F. A., Rico J. C., “Guía Práctica de Sensores”, *Clasificación de los sensores*, Creaciones Corporation, Impreso en España, 2010.
- [14] Anonimo, «DHT11 Humidity & Temperature Sensor,» 30 julio 2010[En línea]. Available: <http://www.micro4you.com/files/sensor/DHT11.pdf>. [Último acceso: 2014].
- [15] J. L. Pardo, “Tipos de Interface”, Montaje y puesta en marcha de sistemas robóticas y sistemas de visión, en bienes de equipos y máquinas industriales, IC Editorial, 1ª Edición, 2012,
- [16] Anonimo, «Tecnología WiFi,» [En línea]. Available: http://www.dip-badajoz.es/agenda/tablon/jornadaWIFI/doc/tecnologias_wifi_wmax.pdf. [Último acceso: 2014].
- [17] C. H. Rosero, *Plan de Gobierno del cantón Quero*, PDOT2012, Quero, Ecuador, 2014.

- [18] M. T. Coupoulus, S. Arias, H. Avila, *Manual de Producción*, Producción de Papa, MCA-Honduras, La Lima, Hon. 2008.
- [19] Anónimo, «Comparativa y análisis: Raspberry Pi vs competencia,» [En línea]. diciembre 2014, Available: <http://comohacer.eu/comparativa-y-analisis-raspberry-pi-vs-competencia/> [Último acceso: 2015].
- [20] Anónimo, «BeagleBone Black - Rev B ,» [En línea]. febrero 2015, Available: <http://www.adafruit.com/product/1278> [Último acceso: 2015]
- [21] Anónimo, «Beaglebone Black Rev C ,» [En línea]. febrero 2015, http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-406234741-beaglebone-black-rev-c-_JM [Último acceso: 2015]
- [22] Anónimo, «BeagleBone Black Features,» [En línea]. 9 febrero 2015, Available: http://elinux.org/Beagleboard:BeagleBoneBlack#BeagleBone_Black_Description [Último acceso: 2015]
- [23] MGSYSTEM, «Pcduino,» [En línea]. Enero 2014, Available: <http://preciod.com/ec/pcduino-superior-al-raspberry-pi-minipc-ideal-arduino-pic-RODWL.precio> [Último acceso: 2015]
- [24] Anónimo, «GPIO,» [En línea]. 16 septiembre 2014, Available: <http://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?f=76&t=87102>. [Último acceso: 2014].
- [25] D-Robotics, «DHT11,» [En línea]. 30 junio 2010, Available: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf> [Último acceso: 2014].
- [26] Sensirion, «SHT1x,» [En línea]. julio 2008, Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/SHT1x_datasheet.pdf [Último acceso: 2015].
- [27] Sensirion, «SHT25,» [En línea]. mayo 2014, Available: http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT25_Datasheet_V3.pdf [Último acceso: 2015].
- [28] García G. A., «FC-28,» 21 abril 2011, [En línea]. Available: <http://www.tehнора.ро/cum-sa-faci-o-floare-sa-te-traga-de-maneca-atunci-cand-ai-uitat-sa->

o-uzi/. [Último acceso: 2014].

[29] STMicroelectronics, «LM393,» julio 2002 [En línea]. Available: <http://www.ebay.com/itm/Flexible-Soil-Moisture-Meter-Detection-Module-Arduino-Humidity-Sensor-LM393-/190888612303>. [Último acceso: 2014]. [Último acceso: 2014].

[30] Z. Serrano, “Construcción de Invernaderos”, *Generalidades*, Madrid, Ed. Mundi-Prensa, 2005, Pg [61-64].

[31] J. P. Avila, L. M. Pesantes, *Diseño del sistema de ventilación para la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana*, Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, Agosto del 2007.

[32] J. V. Maroto, “Elementos de horticultura general”, *Invernaderos Aspectos Generales*, Madrid, 3ra Ed. Mundi-Prensa, 2008, Pg [167-170].

[33] A. B. Basualdo, “MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA GENERACIÓN, ALMACENAMIENTO Y DIFUSIÓN DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA EN INSTITUCIONES Y ORGANISMOS DEL MERCOSUR” presentado para el Proyecto “Evaluación de riesgos climáticos y adaptación al cambio climático en la agricultura del MERCOSUR, 2011.

[34] I. Pellerejo, F. Andreu, A. Lesta, “Fundamento y aplicaciones de seguridad en redes WLAN”, Estándares de capa física y enlace, Barcelona, Ed. Marcombo, 2006, Pg. [23]

[35] N. Mariño, *CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA PRÁCTICAS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL*, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2015

[36] Ubiquiti Networks, «Ubiquiti Nano Station 5,» [En línea]. Available: http://dl.ubnt.com/ns5_datasheet.pdf. [Último acceso: 2014].

[37] Anónimo, «Atenuación cable UTP,» mayo 2009, [En línea]. Available:

http://guimi.net/monograficos/G-Cableado_estructurado/G-CENode19.html. [Último acceso: 2014].

[38] Anónimo, «QT Creator,» febrero 2015, [En línea]. Available: qt-project.org/forums/viewthread/4780 [Último acceso: 2015].

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Raspberry Pi: es un ordenador de placa reducida o (placa única) (SBC) de bajo coste, desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi.

Arduino-Uno: es una placa electrónica basada en el ATmega328 (ficha técnica). Cuenta con 14 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 6 pueden utilizarse para salidas PWM), 6 entradas analógicas, un 16 MHz resonador cerámico, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio.

Serial RS-232: Es una de las normas más populares empleadas en la comunicación serie (su inserción en el PC incremento su popularidad).

IDE: Un entorno de desarrollo integrado, llamado también IDE (sigla en inglés de integrated development environment), es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación.

QT Creator: es un IDE creado por Trolltech para el desarrollo de aplicaciones.

Python: es un lenguaje de programación que le permite trabajar de forma rápida e integrar los sistemas de forma más eficaz.

HMI: La interfaz de usuario (HMI) por sus siglas en inglés, es el medio con que el

usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora.

ANEXOS

ANEXO A

DATASHEET Y CONEXIÓN DE LOS

DISPOSITIVOS

Conexión de los sensores DHTxx con Arduino-Uno y Raspberry Pi

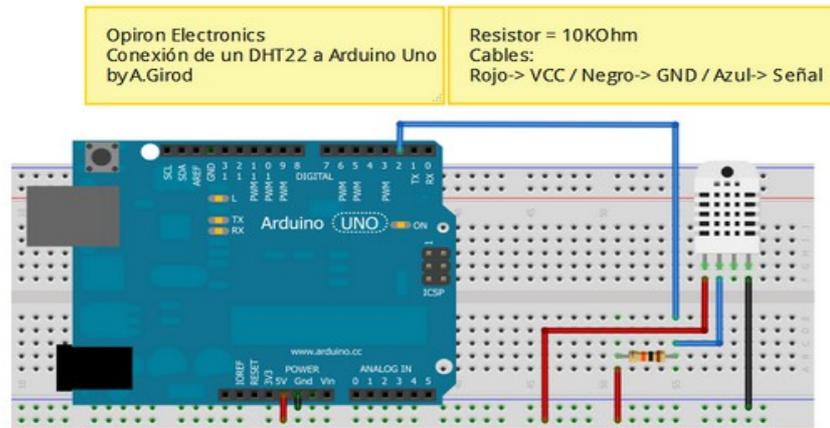


Figura A.1: Conexión de sensores DHTxx con Arduino

Fuente: <http://www.opiron.com/portfolio/todos-sobre-los-sensores-dht11-dht22-by-opiron-2>

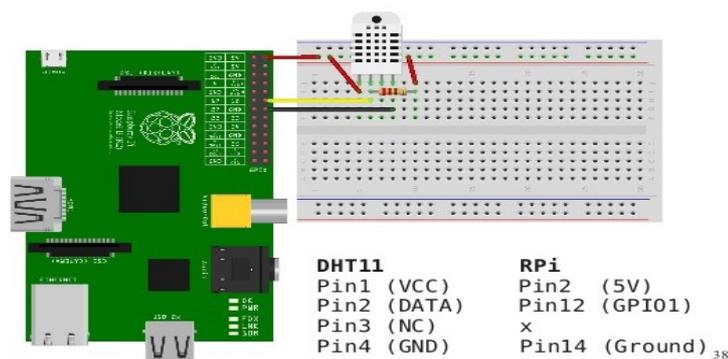


Figura A.2: Conexión de sensores DHTxx con Raspberry Pi

Fuente: <http://www.slideshare.net/raspberrypi-tw/write-a-device-driver-on-raspberrypihowto>

Sensor de Humedad del Suelo (FC-28) y sensor de Lluvia (YL-83)

El sensor de humedad del suelo posee un amplificador operacional LM393 que permite la comunicación entre el sensor y el Arduino-Uno. En la figura A.3 se muestra el datasheet del amplificador operacional LM393.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_{CC^+} = +5V$, $V_{CC^-} = 0V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage - note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	5 9	mV
I_{ib}	Input Bias Current - note 2) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		25	250 400	nA
I_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	50 150	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain $V_{CC} = 15V$, $R_L = 15k\Omega$, $V_o = 1V$ to $11V$	50	200		V/mV
I_{CC}	Supply Current (all comparators) $V_{CC} = 5V$, no load $V_{CC} = 30V$, no load		0.4 1	1 2.5	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range - note 3) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC^+} - 1.5$ $V_{CC^+} - 2$	V
V_{id}	Differential Input Voltage - note 4)			V_{CC^+}	V
I_{sink}	Output Sink Current $V_{id} = 1V$, $V_o = 1.5V$	6	16		mA
V_{OL}	Low Level Output Voltage $V_{id} = -1V$, $I_{sink} = 4mA$ $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		250	400 700	mV
I_{OH}	High Level Output Current ($V_{id} = 1V$) $V_{id} = 1V$, $V_{CC} = V_o = 30V$ $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		0.1	1	nA μA
t_{re}	Response Time - note 5) $R_L = 5.1k\Omega$ to V_{CC^+}		1.3		μs
t_{rel}	Large Signal Response Time $V_i = TTL$, $V_{(ref)} = +1.4V$, $R_L = 5.1k\Omega$ to V_{CC^+}		300		ns

Figura A.3: datasheet del amplificador operacional LM393

Fuente: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/stmicroelectronics/2164.pdf>

El C.I. LM393 y su respectiva conexión se muestra en la figura A.4.

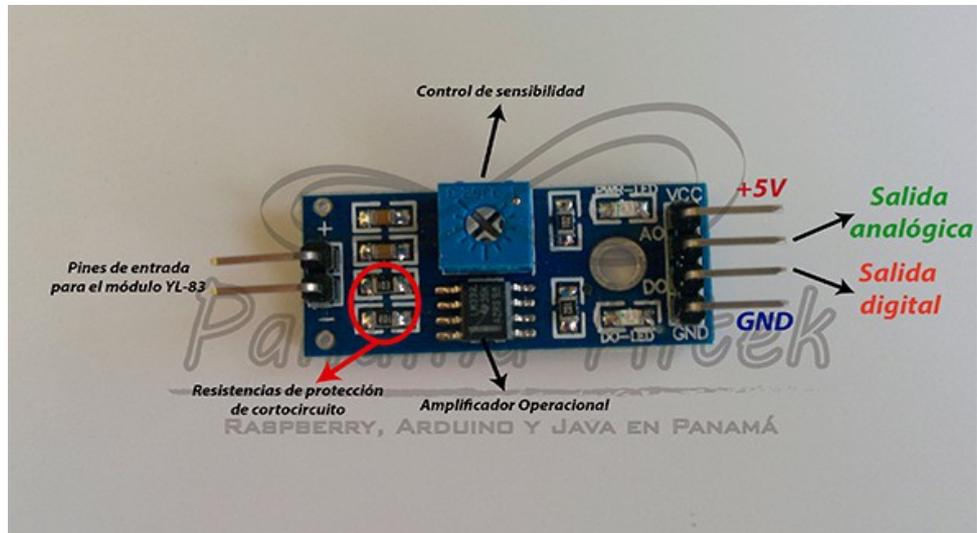


Figura A.4: Conexión C.I LM393

Fuente: <http://panamahitek.com/modulo-yl-83-un-detector-de-lluvia/>

La conexión del amplificador operacional con el sensor FC-28 y el sensor YL-83 se muestra en la figura A.5 y A.6 Respectivamente.

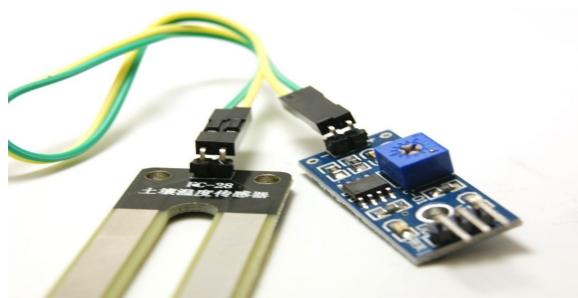


Figura A.5: Conexión entre C.I. LM393 y FC-28

Fuente:

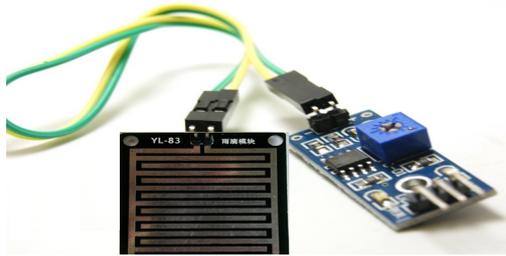


Figura A.6. Conexión entre C.I. LM393 y el sensor YL-83

Fuente: <http://panamahitek.com/modulo-yl-83-un-detector-de-lluvia/>

Tarjetas Arduino :

La distribución de los pines y datasheet del Arduino-Uno se muestra a continuación en la figura A.7.

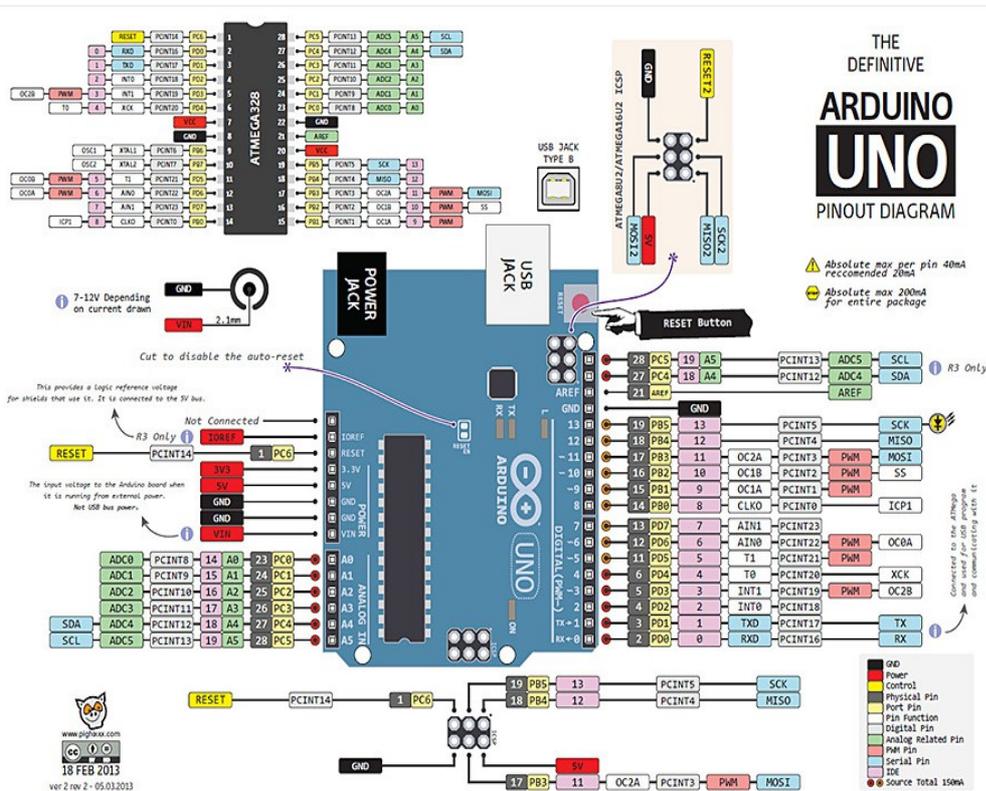


Figura A.7: Datasheet del Arduino-Uno

Fuente: <http://arduino-info.wikispaces.com/QuickRef>

Tarjeta Raspberry Pi:

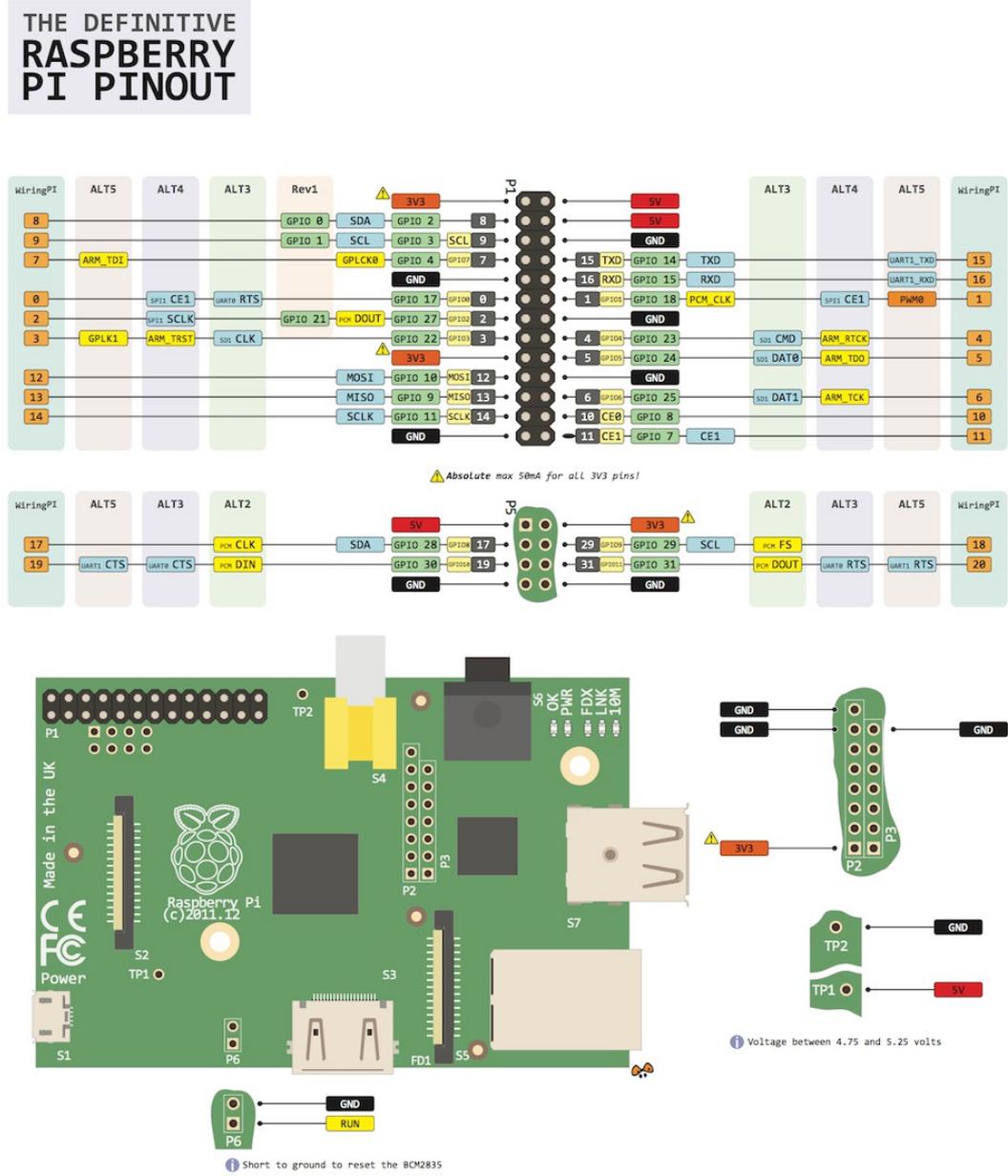


Figura A.8: Raspberry Pi y sus pines

Fuente: <http://embedsystems.blogspot.com/2013/11/raspberry-pi-pinout.html>

ANEXO B

TUTORIAL DE APLICACIÓN DEL INVERNADERO

Introducción:

El diseño del software esta configurado para darle la mayor facilidad al operador para el control del invernadero, la velocidad de respuesta y rendimiento del sistema es el mas adecuado y permite posibles actualizaciones.

El primer paso es seleccionar el tipo de producto a cultivar, si el usuario no ha seleccionado ningún producto el sistema no habilita ninguna otra opción. Si el usuario ha seleccionado el producto agrícola se habilita las opciones Modo Manual y Modo Automático. En la figura B.1 se muestra un ejemplo para la selección.



Figura B.1: Ejemplo de selección de cultivo

Fuente: Mauro Rojas

Si el usuario seleccionó la opción Modo Manual, se habilita las opciones de encendido y apagado de Ventilación, Riego y Techo

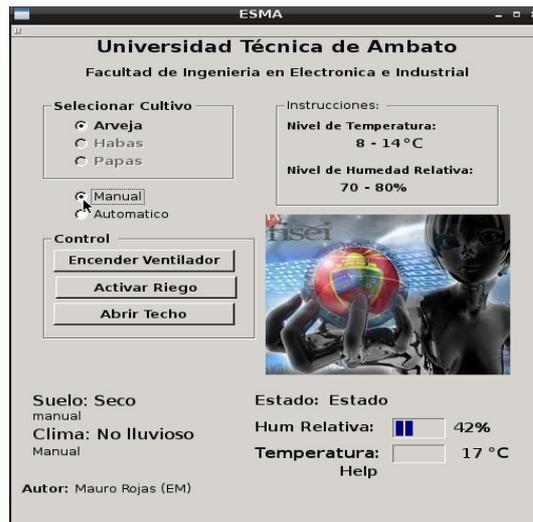


Figura B.2: Selección Modo Manual

Fuente: Mauro Rojas

Si un botón es activado envía la orden respectiva al Arduino-Uno y este procesa la información y envía la trama mediante comunicación RS-232, el usuario podrá visualizará: Encender Ventilación, Apagar Ventilación, Activar Riego, Apagar Riego, Abrir Techo, Cerrar Techo en cada botón respectivo para poder saber el estado de los actuadores. En la figura B.3 el ejemplo de todos los actuadores activados.



Figura B.3: Ejemplo de activación de actuadores

Fuente: Mauro Rojas

Si el usuario tiene la necesidad de activar el Modo Automático los botones permanecen deshabilitados. En la figura B.4 el ejemplo de selección Automática



Figura B.4: Activado Modo Automático

Fuente: Mauro Rojas

Si se ha seleccionado la opción Modo Automático la tarjeta enviara señales de activación o desactivación según la programación de cada tarjeta Arduino-Uno.

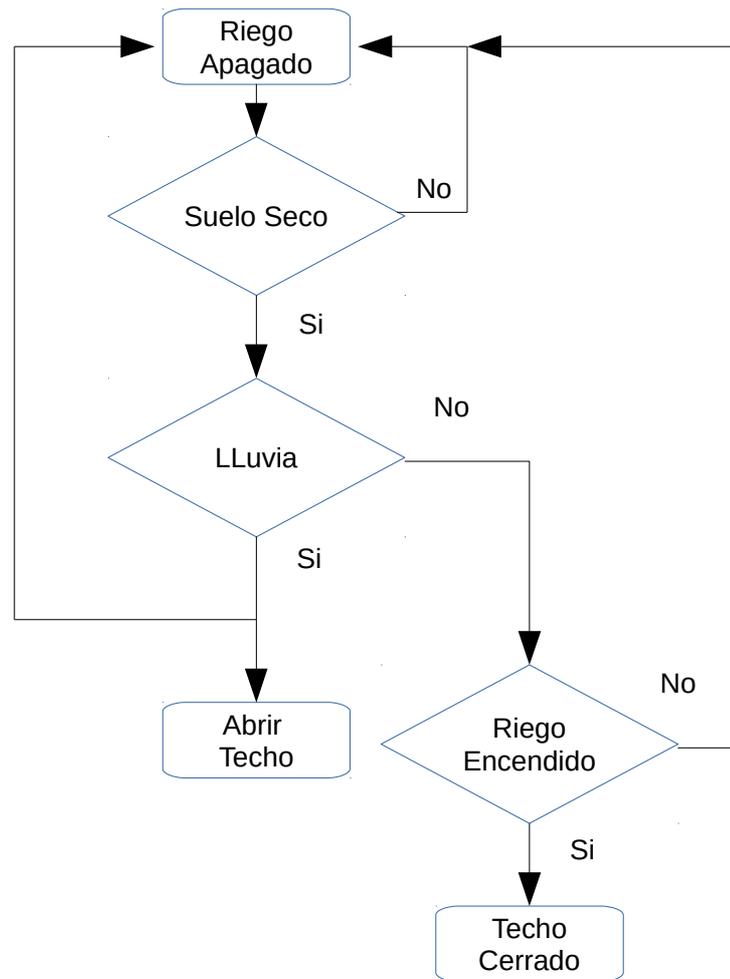
ANEXO C

PROGRAMACIÓN DEL INVERNADERO

INTELIGENTE

Diagramas de Flujo:

En la figura C.1 se muestra el diagrama de flujo para la activación del riego cuando el suelo esta seco, además la opción de apagar el riego y abrir el techo en caso de que exista lluvia.



. Figura C.1:Diagrama de Flujo Sistema de Riego

Autor: Mauro Rojas

En la figura C.2 se muestra el diagrama de flujo para la activación de la ventilación cuando la temperatura este superior a 21 °C y la activación de la calefacción cuando la temperatura este por debajo de los 11 °C.

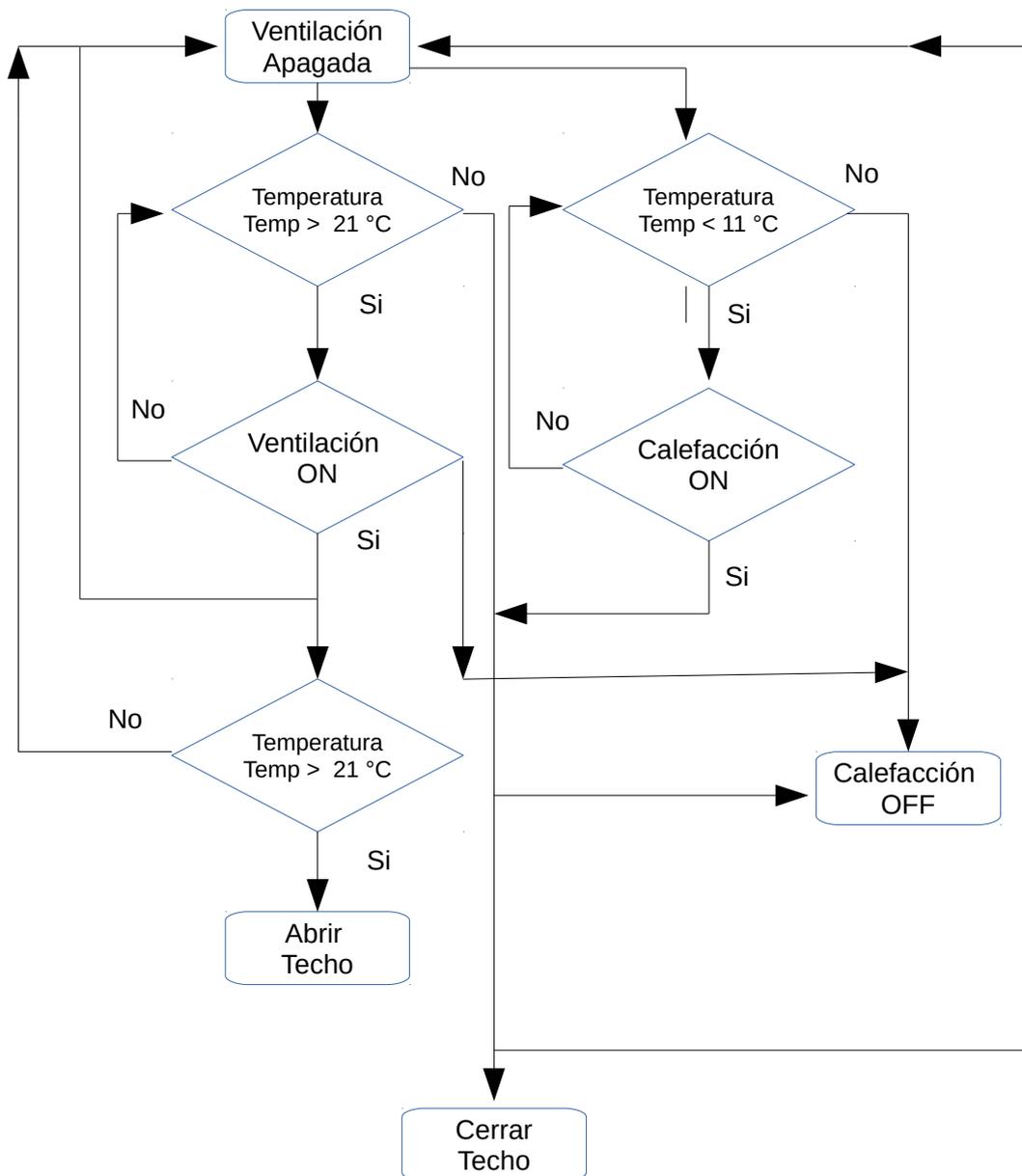


Figura C.2: Diagrama de Flujo Sistema de ventilación

Fuente: Mauro Rojas

En la figura C.3 se muestra el diagrama de flujo para activar la ventilación cuando la Humedad relativa sea superior a 95% y apagar cuando la humedad relativa sea menor a 90%.

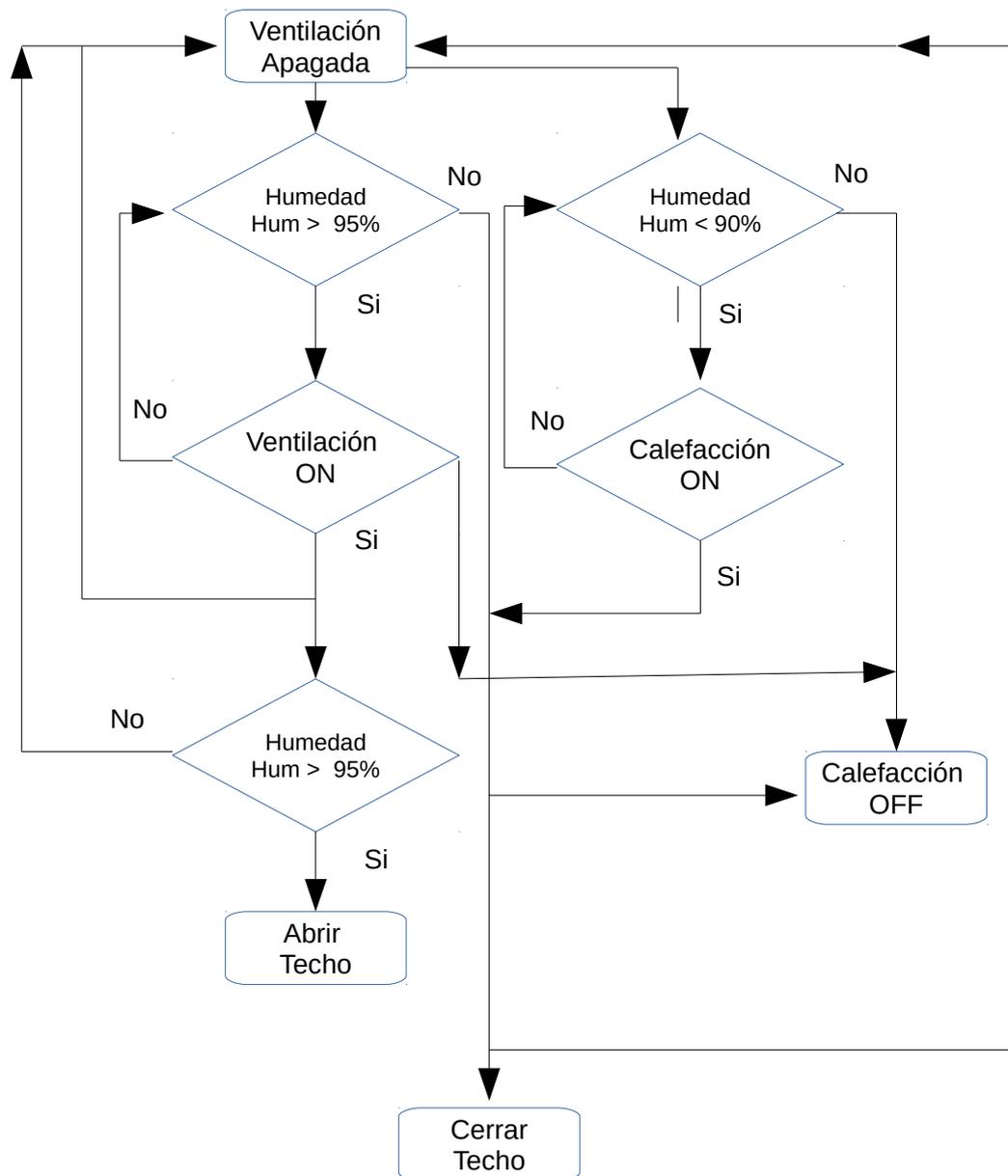


Figura C.3: Diagrama de Flujo Humedad relativa

Fuente: Mauro Rojas

Código de programación de Raspberry

Pi:

```
//Importacion de librerias

#include "esma.h"
#include "ui_esma.h"
#include <QtSerialPort/QtSerialPort>

//Fin de Importación de librerias

QSerialPort *serial; // Llamamos la libreria para
la comunicación serial

//Variables auxiliares
bool manual = false;
bool aut = false;
bool arv = false;
bool hab = false;
bool pap = false;
bool lstate = false;
bool restado = false;
bool testado =false;
// Fin de variables auxiliares

//Programa Principal y configuracionde la trama de datos
ESMA::ESMA(QWidget *parent) :
    QMainWindow(parent),
    ui(new Ui::ESMA)
{
    ui->setupUi(this);
    serial=new QSerialPort(this);

    serial->setPortName("/dev/ttyACM0");
    serial->setBaudRate(QSerialPort::Baud9600);
    serial->setDataBits(QSerialPort::Data8);
    serial->setParity(QSerialPort::NoParity);
    serial->setStopBits(QSerialPort::OneStop);

>setFlowControl(QSerialPort::NoFlowControl);
    serial->open(QIODevice::ReadWrite);

    connect(serial,SIGNAL(readyRead()),this,SLOT(seri
alreceived()));
} // Fin de Programa principal y configuracionde la trama
de datos

ESMA::~ESMA()
{
    delete ui;
}

void ESMA::on_radioButton_clicked() // Selección
manual
{
    if (manual == false){
        manual = true;
        ui->radioButtonAut->setChecked(false);

        ui->pushButtonRiego->setEnabled(true);
        ui->pushButtonVentilador->setEnabled(true);
        ui->pushButtonTecho->setEnabled(true);

        //serial->write("5");
        man=1;
    }
    else{
        manual=false;
        //ui->radioButtonAut->setChecked(true);
        ui->pushButtonRiego->setEnabled(false);
        ui->pushButtonVentilador->setEnabled(false);
        ui->pushButtonTecho->setEnabled(false);
        man=0;
    }
}

void ESMA::on_radioButtonAut_clicked() // Selección
Automática
{
    if (aut == false){
        aut = true;
        //ui->pushButtonRiego->setEnabled(false);
        //ui->radioButton->setEnabled(false);
        //ui->radioButton->setChecked(false);
        //serial->write("6");
        aux=1;
    }
    else{
        //aut=false;   ui->pushButtonVentilador-
>setEnabled(false);
        //ui->radioButton->setChecked(true);
        aux=0;
    }
}

void ESMA::on_radioButtonArveja_clicked() // Selección
de Arveja
{
    if (arv==false){
        arv = true;
        ui->radioButtonHabas ->setEnabled(false);
        ui->radioButtonPapas ->setEnabled(false);
        ui->radioButton->setEnabled(true);
        ui->radioButtonAut->setEnabled(true);
        ui->labeltemp->setText(" 8 - 14");
        ui->labelhum->setText(" 70 - 80");
        a1=1;
    }
    else{
        arv = false;
        ui->radioButtonHabas->setEnabled(true);
        ui->radioButtonPapas ->setEnabled(true);
        ui->radioButton->setEnabled(false);
        ui->radioButtonAut->setEnabled(false);
        ui->labeltemp->setText("Temperatura");
        ui->labelhum->setText("Humedad");
        a1=0;
    }
}

void ESMA::on_radioButtonHabas_clicked()Boton de
Selección de Haba
{
    if (hab==false){
        hab = true;
        ui->radioButtonArveja ->setEnabled(false);
        ui->radioButtonPapas ->setEnabled(false);
    }
}
```

```

    ui->radioButton->setEnabled(true);
    ui->radioButtonAut->setEnabled(true);
    ui->labeltemp->setText("      8 - 14");
    ui->labelhum->setText("      85 - 95");
    a2=1;
  }
  else { ui->pushButtonVentilador->setEnabled(false);
  hab = false;
  ui->radioButtonArveja ->setEnabled(true);
  ui->radioButtonPapas ->setEnabled(true);
  ui->radioButton ->setEnabled(false);
  ui->radioButtonAut ->setEnabled(false);
  ui->labeltemp->setText("Temperatura");
  ui->labelhum->setText("Humedad");
  a2=0;
  }
}

void ESMA::on_radioButtonPapas_clicked() // Boton de
Selección de Papa
{
  pap = true;
  ui->radioButtonArveja->setEnabled(false);
  ui->radioButtonHabas ->setEnabled(false);
  ui->radioButton->setEnabled(true);
  ui->radioButtonAut->setEnabled(true);
  ui->labeltemp->setText("      11 - 19");
  ui->labelhum->setText("      90 - 95");
  a3=1;
  }
  else {
  pap = false;
  ui->radioButtonArveja->setEnabled(true);
  ui->radioButtonHabas ->setEnabled(true);
  ui->radioButton->setEnabled(false);
  ui->radioButtonAut->setEnabled(false);
  ui->labeltemp->setText("Temperatura");
  ui->labelhum->setText("Humedad");
  a3=0;
  }
}

void ESMA::on_pushButtonVentilador_clicked() // Boton
de Activacion y desactivación de ventilador
{
  if (lstate == false){
    lstate = true;
    ui->pushButtonVentilador->setText("Apagar
Ventilador");
    serial->write("a"); // Enviar dato a Arduino
  }
  else {
    lstate = false;
    ui->pushButtonVentilador->setText("Encender
Ventilador");
    serial->write("b"); // Enviar dato a Arduino
  }
}

void ESMA::on_pushButtonRiego_clicked() // Boton de
Activacion y desactivación de riego
{
  if (restado == false){
    restado = true;
    ui->pushButtonRiego->setText("Apagar Riego");
    serial->write("c"); // Enviar dato a Arduino
  }
  else {
    restado = false;
    ui->pushButtonRiego->setText("Encender Riego");
    serial->write("d"); // Enviar dato a Arduino
  }
}

void ESMA::on_pushButtonTecho_clicked()// Boton de
Abrir y Cerrar Techo
{
  if (testado == false){
    testado = true;
    ui->pushButtonTecho->setText("Cerrar Techo");
    serial->write("e"); // Enviar dato a Arduino
  }
  else {
    testado = false;
    ui->pushButtonTecho->setText("Abrir Techo");
    serial->write("f"); // Enviar dato a Arduino
  }
}

void ESMA::serialreceived() // Lectura de datos recibidos
desde arduino
{
  QString str = serial->readAll();
  int num = str.toInt();
  //ui->labelhum->setText(str);
  ui->progressBar->setValue(num);
}

```

ANEXO D

ENTREVISTAS REALIZADAS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

¿ Cuáles son los procesos utilizados para el cultivo de Papas, habas y arveja?

En el cantón Quero los procesos para el cultivo no son tecnificados, por esta razón los productos tienen gran influencia de plagas y enfermedades, además de las heladas y secas que caracterizan a la zona.

¿Cómo mejorar el control de los factores climáticos de la zona?

Los factores climáticos afectan directamente al crecimiento de la zona, por esta razón la única forma de mejorar el ambiente del crecimiento de las plantaciones será realizar un cultivo dentro de un Invernadero.

¿Qué factores se pueden controlar en un invernadero?

Los factores climáticos no son los únicos factores que afectan al crecimiento normal de los cultivos, hay que tener en cuenta a la humedad relativa, humedad del suelo e incluso si el agua que llega a los cultivos tiene los nutrientes necesarios.

¿Existe presencia de invernaderos en el cantón Quero?

Los invernaderos en esta zona de la provincia son muy escasos, el agricultor no conoce las ventajas que un invernadero puede tener en el crecimiento de los cultivos.

¿Cuales serian las ventajas que un invernadero inteligente pueden brindar?

En un invernadero el agricultor debe trasladarse a la verificación de la temperatura diaria e incluso varias veces al día; en muchos casos los cultivos agrícolas no están cerca a la vivienda, por este motivo un invernadero inteligente les brindará mayores

ventajas y un cultivo mas sano.

¿Los cultivos de Papá, habas y arveja necesitan de agroquímicos?

En muchos casos los agricultores piensan en fumigar los productos hasta por prevención e incluso muchas ocasiones cuando la plantación no necesita, esto provoca que los agricultores terminen dañando la tierra y atentando su propia salud y la de los consumidores.

¿Cómo reducir el excesivo uso de agroquímicos?

Al crear un ambiente agradable para el cultivo las plantas obtienen un mejor desarrollo y el ambiente en el que se crían plagas desaparece, permitiendo ahorrar el uso de agroquímicos y además el tiempo para la cosecha del producto se reduce.