



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA.**

**TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES COMO
TEMPERATURA Y HUMEDAD CON ALARMA REMOTA VÍA
SMS PARA CONTRIBUIR AL PROCESO DE CULTIVOS EN
LOS PRODUCTOS FRUTALES DEL INVERNADERO
RICAURTE DEL CANTÓN CHAMBO, PROVINCIA DE
CHIMBORAZO.”**

AUTOR: AMAGUAYO GARCÍA JUAN JOSÉ

DIRECTOR: ING. JORGE PARDO IBARRA, MSC

LATACUNGA.

2017



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES COMO TEMPERATURA Y HUMEDAD CON ALARMA REMOTA VÍA SMS PARA CONTRIBUIR AL PROCESO DE CULTIVOS EN LOS PRODUCTOS FRUTALES DEL INVERNADERO RICAURTE DEL CANTÓN CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.”** realizado por el señor **AMAGUAYO GARCIA JUAN JOSE**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **AMAGUAYO GARCIA JUAN JOSE** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, Septiembre del 2017

**Ing. Jorge Pardo Ibarra, MSc
DIRECTOR**



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Amaguayo García Juan José

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES COMO TEMPERATURA Y HUMEDAD CON ALARMA REMOTA VÍA SMS PARA CONTRIBUIR AL PROCESO DE CULTIVOS EN LOS PRODUCTOS FRUTALES DEL INVERNADERO RICAURTE DEL CANTÓN CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.” ha sido desarrollado mediante una extenuante investigación, tomando en consideración los derechos intelectuales de terceros situándolos en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, Septiembre del 2017

Amaguayo García Juan José
C.I: 0604087338



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN &
AVIÓNICA**

AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)

Yo, Amaguayo García Juan José

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS AMBIENTALES COMO TEMPERATURA Y HUMEDAD CON ALARMA REMOTA VÍA SMS PARA CONTRIBUIR AL PROCESO DE CULTIVOS EN LOS PRODUCTOS FRUTALES DEL INVERNADERO RICAURTE DEL CANTÓN CHAMBO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva autoría y responsabilidad.

Latacunga, Septiembre del 2017

Amaguayo García Juan José
C.I: 0604087338

DEDICATORIA

Detrás de cada triunfo existen personas que a lo largo de nuestras vidas representaron un papel importante, un apoyo incondicional para poder cumplir nuestras mayores metas y anhelos.

Por lo que este trabajo quiero dedicar a mis padres Jenny y Juan por su esfuerzo, sacrificio y dedicación durante todos estos años para poder llegar a alcanzar esta nueva meta, supieron con su ejemplo enseñarme a perseverar por lo que uno se quiere, sin darse por vencido a pesar de las adversidades que la vida presente, con sus palabras de aliento y consejos que forjaron en mí el hombre que soy ahora.

A mi hermano Pablo por su ayuda ilimitada a lo largo de toda mi vida, apoyando todas mis travesuras de niños, incluso ahora que hemos crecido seguimos caminando juntos dejando huella en todo lo que realizamos.

A mis abuelitos paternos Manuel (+) y Elena; maternos Augusto (+) y Teresa (+), por su gran ejemplo de constancia, dedicación y trabajo duro que mostraron en todo lo que han realizado a lo largo de sus vidas, vivirán por siempre en mi corazón.

Juan José Amaguayo García.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, quiero agradecerle a Dios y la Virgencita por darme la vida, la fuerza y la fe para poder seguir adelante, a pesar de mis numerosos errores siempre me brindan una segunda oportunidad para continuar por el camino del saber y así alcanzar todos mis propósitos.

Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecerles su apoyo, aliento y compañía en muchas de las etapas de mi vida. Algunas de ellas están aquí conmigo otras tan solo en mis recuerdos, pero sin importar donde se encuentren, hoy quiero darles las gracias por todo el tiempo que compartimos.

Quiero agradecer de una manera muy especial al Sr. Fernando Ricaurte por haber confiado en mis conocimientos y permitirme haber realizado mi trabajo de grado en su invernadero.

Finalmente quiero extender también un agradecimiento a mis maestros no solo de mi carrera sino de toda mi vida, por haberme compartido sus conocimientos y enseñanzas en las aulas de clase, también a mis amigos Alexis, Luis, Jonathan, Diego, Gaby y Jessy por tantas malas noches en las que estuvimos a lo largo de nuestra carrera y tantas experiencias de vida que compartimos todos juntos y de una manera muy especial a Vanessa Mejía por su ayuda, paciencia y apoyo en la culminación de este trabajo y por todo este tiempo que me ha brindado junto a ella.

INDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL).....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Planteamiento del problema.	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos.	3
1.4.1 Objetivo General.	3
1.4.2 Objetivos específicos.	3
1.5 Alcance.....	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Introducción.	4
2.2 Antecedentes Investigativos.	5
2.3 Los Invernaderos.	5

2.3.1 Estructura de un invernadero.....	6
2.3.2 Ventajas y desventajas de un invernadero.....	7
2.3.2.1 Ventajas.....	7
2.3.2.2 Desventajas.....	8
2.4 Requerimientos Climáticos.....	9
2.4.1 Temperatura.....	9
2.4.2 Humedad relativa.....	10
2.5 Sensores.....	11
2.5.1 Características del rendimiento del sensor.....	12
2.5.2 Clasificación.....	13
2.6 Tecnología GSM.....	21
2.6.1 Arquitectura de una Red GSM.....	22
2.7 Servicio SMS.....	24
2.7.1 Elementos de la Red SMS.....	25
2.8 Módulo GSM y Comandos AT.....	26
2.8.1 Módulo GSM.....	26
2.8.2 Comandos AT.....	26
2.8.3 Listado de Comandos AT y AT+ más frecuentes.....	27
2.9 Arduino.....	28
2.9.1 Tipos de Arduino más utilizados.....	29
2.10 Módulos RF.....	30

2.11 LCD (Liquid Crystal Display).....	31
2.11.1 Características Principales De Los Módulos LCD.....	32
CAPÍTULO III.....	35
DESARROLLO DEL TEMA	35
3.1 Preliminares.....	35
3.2 Variables físicas	36
3.3 Selección de materiales.	37
3.3.1 Sensores de temperatura y humedad relativa DHT22.....	37
3.3.2 Sensor de humedad de suelo YL-69 & YL-38.....	42
3.3.3 Arduino Mega	44
3.3.4 Arduino Nano.....	46
3.3.5 Módulos RF de 433 MHz.....	48
3.3.6 Módulo GSM: Tarjeta SIM 900	51
3.4 Funcionamiento del sistema de monitoreo con alarma vía GSM.....	53
3.5 Diagrama de bloques del sistema.....	59
3.6 Entorno de desarrollo (Software).....	62
3.6.1 Estructura básica de un programa.	63
3.7 Instalación del software.....	64
3.7.1 Instalación de librerías extras.....	67
3.8 Desarrollo de la programación.....	68
3.8.1 Desarrollo del software en la placa principal.....	68

3.8.2 Desarrollo del software para el sensor de humedad inalámbrico RF emisor. (placa secundaria).....	84
3.9 Desarrollo del Hardware.	91
3.9.1 Diseño de cajas protectoras.....	91
3.10 Implementacion del Sistema de monitoreo con alarma SMS via GSM.....	98
3.11 Pruebas de funcionamiento.	107
3.11.1 Prueba del sensor de temperatura y humedad relativa.	107
3.11.2 Prueba del sensor de humedad de suelo.	109
3.11.3 Pruebas modulos de comunicación RF.	111
3.11.4 Prueba de módulo GSM	114
CAPÍTULO IV.....	118
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
4.1 Conclusiones.	118
4.2 Recomendaciones.	119
Bibliografía	120
Anexos.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	10
Tabla 2.....	11
Tabla 3.....	36
Tabla 4.....	37
Tabla 5.....	39
Tabla 6.....	44
Tabla 7.....	46
Tabla 8.....	47
Tabla 9.....	49
Tabla 10.....	51
Tabla 11.....	53
Tabla 12.....	54
Tabla 13.....	57
Tabla 14.....	111
Tabla 15.....	115
Tabla 16.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.1 Clasificación por su funcionamiento.	13
Figura. 2 Clasificación por su señal que proporciona.	14
Figura. 3 Sensores por naturaleza de su funcionamiento.....	15
Figura 4. Arquitectura Física de un RTD.....	17
Figura 5. Tipos de sensores de humedad	18
Figura 6. Esquema de medición sensor de humedad en el suelo	20
Figura 7. Bandas GSM con su frecuencia de trabajo.....	21
Figura 8. Arquitectura GSM	22
Figura 9. Elementos de la red SMS.....	25
Figura 10. Módulo GSM.....	26
Figura 11. Tipos de Arduino	30
Figura 12. Módulos RF emisor y receptor	31
Figura 13. Aspecto Fisico del LCD.....	33
Figura 14. Vizualisacion de caracteres del diplay.....	33
Figura 15.Pines de conexión del display.....	34
Figura 16. Pines de conexión sensor DHT22.....	38
Figura 17. Pines de conexión (DHT22)	38
Figura 18. Petición de enviar datos	40
Figura 19. Valores recibidos por Byte.	40
Figura 20. Inicio de transmisión de datos con 1 lógico.....	41

Figura 21. Inicio de transmisión de datos con 0 lógico.....	41
Figura 22. Transmisión de datos bit a bit sensor DHT22	42
Figura 23. Módulo YL-69 y YL-38	42
Figura 24. Partes del módulo YL-38.....	43
Figura 25. Arduino Mega 2560.....	44
Figura 26. Estructura del Arduino Nano	46
Figura 27. Pines de los Módulos RF de 433Mhz.....	48
Figura 28. Módulo GSM/GPRS SIM 900.....	52
Figura 29. Receptáculo estándar	52
Figura 30. Sensor humedad de suelo inalámbrico.	55
Figura 31. LCD del sensor humedad suelo.	56
Figura 32. Alerta por Mensaje de texto.....	58
Figura 33. Diagrama de bloques del funcionamiento.	59
Figura 34. Diagrama por bloques del conexionado de elementos del sistema.....	60
Figura 35. Entorno de desarrollo.....	63
Figura 36. Archivo. Zip descomprimido.....	64
Figura 37. Términos de la licencia de Arduino.....	65
Figura 38. Opciones de instalación.	65
Figura 39. Carpeta de destino.....	66
Figura 40. Instalación de puertos COM.	66
Figura 41. Instalación finalizada.....	67

Figura 42. Instalación de librerías	68
Figura 43. Configuración de la placa Arduino Mega.....	69
Figura 44. Ejemplo básico de comprobación “Blink.	70
Figura 45. Diagrama de Flujo del sistema de monitoreo.	72
Figura 46. Configuración de la placa Arduino Nano.	84
Figura 47. Diagrama de Flujo del sensor de humedad de suelo RF (transmisor)	86
Figura 48. Ecuación de la recta humedad vs ADC.	89
Figura 49. Caja de acrílico para la placa principal (cara hacia arriba).....	91
Figura 50. Caja placa principal (cara hacia el frente).	92
Figura 51. Caja de acrílico para la placa secundaria (cara hacia arriba).....	92
Figura 52. Circuito impreso placa principal.....	94
Figura 53. Diagrama pictórico placa principal.....	94
Figura 54. Circuito impreso placa secundaria.....	95
Figura 55. Diagrama pictórico placa secundaria.....	96
Figura 56. Armado final de la placa principal.....	96
Figura 57. Armado final de la placa principal.....	97
Figura 58. Armado final de la placa secundaria.....	97
Figura 59. Armado final de la placa secundaria.....	98
Figura 60. Tomacorriente instalado dentro del invernadero.	98
Figura 61. Cableado para la instalación del tomacorriente.	99
Figura 62. Cableado del tomacorriente por la parte superior del invernadero.....	99

Figura 63. Instalación de la caja principal en el invernadero.....	100
Figura 64. Cable UTP/ Cat. 5E	101
Figura 65. Instalación del cableado para los sensores DHT22.	101
Figura 66. Instalación de los sensores DHT22.....	102
Figura 67. Instalación sensor 1.....	102
Figura 68. Instalación sensor 2.....	103
Figura 69. Instalación sensor 3.....	103
Figura 70. Instalación sensor 4.....	104
Figura 71. Estableciendo datos del (SP).	104
Figura 72. Pantalla LCD principal.	105
Figura 73. Pantalla LCD secundaria	105
Figura 74. Sensor humedad tierra inalámbrico.	106
Figura 75. Porcentaje de la humedad del suelo.....	106
Figura 76. Alerta por SMS enviado por el GSM	107
Figura 77. Conexión del sensor DHT22	108
Figura 78. Conexión de prueba sensor DHT22.....	108
Figura 79. Datos presentados en el monitor serial por el DHT22.....	109
Figura 80. Conexión sensor YL-69 y YL-38.	109
Figura 81. Conexión de prueba sensor YL-69 y YL-38.....	110
Figura 82. Curva de prueba del sensor de humedad de suelo.	111
Figura 83. Conexión modulo Rf emisor 433Mhz	112

Figura 84. Conexión modulo Rf receptor 433Mhz.	112
Figura 85. LCD sensor inalámbrico (emisor Rf).	113
Figura 86. LCD placa principal (receptor Rf).	113
Figura 87. Resultados de las pruebas del GSM (temperatura).	116
Figura 88. Resultados de las pruebas del GSM (HR)	117

RESUMEN

En el presente proyecto se realizó el diseño de un sistema de monitoreo de las variables climáticas de temperatura y humedad con alarma remota vía SMS. La necesidad de obtener un servicio de monitoreo en el invernadero ubicado en la zona rural Chambo de la ciudad de Riobamba, requiere el diseño y una investigación previa sobre las tecnologías útiles y factibles que puede ofrecer este proyecto al dueño del mencionado invernadero, de tal manera que pueda obtener un mejor producto para ofrecer a la comunidad en su negocio. Este proyecto se ha diseñado en tres etapas, cada una de ellas con una función específica a realizar. En primer lugar, se encuentran los sensores de temperatura, humedad relativa y humedad de suelo seleccionados con una rigurosa exigencia con el fin de obtener materiales fiables y a costos accesibles, quienes se encargarán de medir las variables climáticas y dar a conocer estos datos en una pantalla LCD ubicada en el interior del invernadero. La recopilación de estas variables permite establecer un (SP) donde con asesoramiento de personas especializadas en agricultura se estableció valores óptimos para el crecimiento de los cultivos y un producto de alta calidad, como otro punto gracias a la tecnología GSM se pudo diseñar la segunda etapa que se encargó de dar un aviso de alerta vía SMS cada vez que los valores medidos por los sensores indiquen que las variables climáticas se encuentren fuera de los rangos establecidos óptimos para el crecimiento de las plantaciones. Como tercera etapa es una comunicación Rf que envía los datos receptados por el sensor inalámbrico de humedad de tierra hacia la pantalla LCD que se ubica en el invernadero, de esta manera los datos que se estén mostrando en el sensor de suelo inalámbrico también se pueden visualizar en el módulo principal.

PALABRAS CLAVES:

- ✓ **SISTEMA DE MONITOREO**
- ✓ **TECNOLOGIA GSM**
- ✓ **COMUNICACIÓN RF**
- ✓ **VARIABLES CLIMATICAS**
- ✓ **INVERNADERO**

ABSTRACT

In the present project the design of a monitoring system of the climatic temperature and humidity variables with remote alarm through SMS is done. The need to obtain a monitoring service in the greenhouse located at Chambo zone in Riobamba city requires the design and a previous research on the useful and feasible technologies that can offer this project to the greenhouse owner, in such a way it can get a better product in his business to offer to the community. This project has been designed in three stages, each one with a specific function to perform. First of all are the temperature sensor, relative humidity and soil humidity selected with a rigorous requirement in order to obtain reliable materials and accessible costs, these will be in charge to measure the climatic variables and to make known this data in an LCD screen located inside the greenhouse. The collection of these variables makes it possible to establish a (SP), where with the advice of people specialized in agriculture, optimal values were established to get a crop growth and a high quality product. As another point thanks to GSM technology the second stage was possible to get. It is responsible for giving an alert message through SMS whenever the values measured by the sensors, indicating that the climatic variables is outside the established optimal ranges for the growth of the plantations. As third stage is an Rf communication that sends the data received by the wireless soil moisture sensor to the LCD screen that is located in the greenhouse, so that the data being displayed on the wireless floor sensor can also be displayed in the main module.

KEYWORDS:

- ✓ **MONITORING SYSTEM**
- ✓ **GSM TECHNOLOGY**
- ✓ **RF COMMUNICATION**
- ✓ **CLIMATE VARIABLES**
- ✓ **GREENHOUSE**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

TEMA: Implementación de un sistema de monitoreo de parámetros ambientales como temperatura y humedad con alarma remota vía sms para contribuir al proceso de cultivos en los productos frutales del invernadero Ricaurte del cantón Chambo, provincia de Chimborazo.

1.1 Antecedentes.

El Ecuador al poseer una biodiversidad enorme debido a su privilegiada situación geográfica, con diferentes climas y su cultura agropecuaria, es uno de los países con los mayores potenciales para lograr una agricultura rica en productos. En la región sierra, provincia de Chimborazo, cantón Chambo, ubicado al noroeste de la ciudad de Riobamba, existen varios terrenos utilizados para la producción y cultivos de frutas y verduras, haciendo uso de invernaderos para lograr una producción de calidad y lograr un mayor rendimiento en diferentes épocas del año.

Es imperativo señalar que este cantón al ser unos de los productores de agricultura en la provincia de Chimborazo, necesitan tener un constante monitoreo de sus plantaciones debido a los cambios de temperatura existentes en estos sectores. Existe un interés en el proyecto por parte del propietario del invernadero, avizorándose una buena aceptabilidad en la tecnología propuesta.

Para lo cual el presente proyecto está enfocado al invernadero Ricaurte, con el fin de realizar un monitoreo de variables físicas como temperatura y humedad del ambiente mediante el uso de sensores instalados estratégicamente, de esta forma lograr proporcionar de una manera remota vía SMS un aviso de cuando estos factores se encuentren sobre o bajo los parámetros necesarios, permitiendo mantener los cultivos en una producción optima en cualquier época del año.

1.2 Planteamiento del problema.

En el cantón Chambo existe el invernadero Ricaurte con un área de 1700m² dedicado a la plantación de tomates y frutillas. Solo se va a utilizar el sector de

cultivos de frutillas del cual solo ocupan la cuarta parte del invernadero por la cual el monitoreo de las variables ambientales se realizará en esta sección. La estación de lluvias en esta área comprende de octubre a mayo, con una gama de temperaturas anual media de 11.5° a 18° C. La variación diaria puede ser extrema con días muy calientes y noches absolutamente frías, por lo que los sembríos se ven afectados.

Hasta el momento el invernadero no posee un monitoreo de los parámetros ambientales para garantizar un óptimo crecimiento de las plantas, la ausencia de control de estos parámetros causa; exceso de humedad, de no ser controlada el área queda muy vulnerable a que se incremente la humedad relativa y por tanto a que se desarrollen plagas y enfermedades. Otro de los problemas al no lograr monitorear la temperatura, la fotosíntesis se ve perjudicada o beneficiada según los rangos de la misma que se suministren al área. De tal manera la producción se ve en peligro de descender, la calidad de los frutos en perjudicarse y mayores gastos económicos para solucionar esto por medio de agroquímicos.

Por ende, la falta de control de variables climáticas en este invernadero a futuro puede causar un gasto innecesario, costoso para el productor, reducción de la productividad como en la calidad de los frutos, causando pérdidas económicas y un desgaste del terreno a largo plazo.

1.3 Justificación.

El estudio de la interacción entre el clima y labores agrícolas, proporciona una respuesta productiva de los cultivos de acuerdo al comportamiento de las diversas variables climatológicas. Como consecuencia, un registro y análisis adecuados del comportamiento climatológico se constituyen en herramientas fundamentales, a la hora de optimizar la respuesta productiva de un cultivo, y contribuyen en la reducción de daños fisiológicos en las plantas que se traducen en pérdidas de producto, alteraciones del ciclo vegetativo, entre otras, por consiguiente, reducción de utilidades económicas.

Por ende, las necesidades de monitorear los parámetros ambientales para lograr un clima óptimo dentro de un invernadero son de suma importancia, así se logrará que las plantas no se mueran debido a los cambios de temperatura. Por otro lado, evitará la propagación de los hongos, que provoca enfermedades en las plantas y también

daños en las estructuras de los invernaderos debido a la humedad, viéndose de esta manera beneficiado no solo el productor al minimizar gastos y obtener un producto óptimo de calidad, sino también los consumidores finales.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Implementar un sistema de monitoreo de dos parámetros ambientales, usando un sensor de temperatura y un sensor de humedad con los cuales obtendremos datos de medición de estas variables físicas que serán mostradas mediante un display, dando una señal de aviso vía SMS en el caso de que estos valores se encuentren en condiciones no aptas para el crecimiento adecuado del cultivo.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Investigar los intervalos necesarios de temperatura y humedad que debe poseer el invernadero “RICAURTE” para un óptimo cultivo de frutillas.
- Determinar los sensores de temperatura y humedad adecuados que deben ser instalados para la obtención de datos que serán registrados en el sistema de monitoreo y visualizados en el display.
- Establecer el equipo necesario para la transmisión inalámbrica vía SMS adecuada para la comunicación entre el sistema de monitoreo y la persona encargada de verificar los parámetros ambientales del invernadero.
- Realizar las respectivas pruebas de funcionamiento y operación.

1.5 Alcance.

La implementación realizada para el monitoreo de los parámetros físicos, temperatura y humedad en el interior del invernadero Ricaurte a los sembríos de frutillas, va dirigido al dueño del establecimiento quien facilito su invernadero para la realización del proyecto. La finalidad del mismo es monitorear dos variables importantes para la producción de frutillas para mejorar sus costos productivos, evitar pérdidas y garantizar una producción estable y que mejor haciendo uso de la tecnología.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción.

En el presente capítulo se procederá a exponer los conceptos de los temas más sustanciales que se utilizarán como base teórica para la elaboración del proyecto de titulación, por lo cual se ha dividido en dos fases el siguiente contenido. En la primera fase se desarrolla un esclarecimiento detallado a:

- La definición más relevante de un invernadero con sus ventajas y desventajas que otorgan al hacer uso de estos para el mejoramiento en la producción de los cultivos.
- Posteriormente se describen los diferentes tipos de invernaderos existentes en la actualidad
- Para finalizar se pronuncia sobre las principales características que se deben tomar en cuenta para el cultivo de las frutillas, se instaura las condiciones meteorológicas adecuadas para el mejoramiento de la producción.

En la fase dos del capítulo se presentan definiciones de los siguientes temas:

- Los sensores y los diferentes tipos existentes en la práctica, las características de rendimiento que se debe tener en cuenta al elegir uno, también su magnitud física que se requiere medir dependiendo la aplicación.
- Se explora la tecnología GSM y el servicio de mensajes de texto, la arquitectura de su funcionamiento y los códigos AT+ que son utilizados en los módems GSM.
- Se hace una revisión de las placas de Arduino, su lenguaje de programación y los tipos de Arduino existentes más usados.
- Para finalizar este capítulo, se habla conceptos en general sobre algunos elementos subalternos que se utilizaron para la realización de este proyecto como módulos RF, pantallas LCD.

2.2 Antecedentes Investigativos.

Se encontraron investigaciones similares que sirvieron como soporte a la presente investigación, las mismas que tratan acerca de sistemas de monitoreo de variables ambientales, sistemas de comunicación vía SMS y los aspectos relevantes de este tema.

El autor Villacis Parra Santiago Ricardo (2005), con el tema “SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL REMOTO UTILIZADO EL SERVICIO DE MENSAJES DE TEXTO DE LA RED GSM” señala que: “gracias a este sistema el responsable de las instalaciones tendrá la posibilidad de analizar a distancia el estado de las variables de interés, y podrá ser avisado por medio de una alarma vía SMS.”

El autor Arévalo Pacheco Carlos Arturo (2004), con el tema “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE UN INVERNADERO” señala que: “el monitoreo de ciertos parámetros ambientales, a través del uso de microcontroladores de mediana escala se logró disminuir los costos de implementación del sistema, a más de la versatilidad y deseables características funcionales.”

2.3 Los Invernaderos.

Según cita el autor:

Los invernaderos, estructuras con techo y paredes transparentes, han sido diseñados para el cultivo de plantas en condiciones ambientales controladas. El cultivo en invernaderos presenta varias ventajas: contribuye a mantener un ambiente óptimo para el crecimiento de las plantas y protege a los cultivos de las plagas y de las condiciones exteriores variantes como el exceso de frío o calor, tormentas, tormentas de nieve y sequías. Los invernaderos se han optimizado para recoger y almacenar la energía solar. Por lo tanto, los invernaderos permiten el crecimiento de las plantas en lugares que, de otra manera, no serían aptos para el cultivo como ciertos climas con una temporada limitada de cultivo. Debido a que ciertos cultivos solo pueden realizarse en invernaderos todo el año, los

invernaderos son cada vez más importantes para el suministro de alimentos. (Erazo & Sánchez, 2011, p.3).

Castilla, N. (2007), sostiene que:

El objetivo primario del cultivo protegido es obtener producciones de alto valor añadido, el factor más determinante de la actividad hortícola es el clima. Entre las más importantes limitaciones para este tipo de producción cabe citar, la temperatura insuficiente o excesiva, el exceso o falta de humedad, la deficiencia o falta de nutrientes, exceso de viento, entre otros. La mayor parte de limitaciones citadas son factores climáticos o directamente relacionados con el clima, que pueden alterarse mediante el cultivo protegido (invernaderos). (p. 25)

2.3.1 Estructura de un invernadero.

Según las investigaciones de (Erazo & Sánchez, 2011) concluyen que;

Un invernadero puede estar constituido por diversos materiales, los más comunes son el metal y la madera. Con respecto a la vida útil de estas estructuras, la de metal está estimada en 25 años, con un pequeño mantenimiento cada tres años; mientras que en madera podemos esperar una duración de 5 años, con mantenimiento cada dos años. La estructura del invernadero será uno de los factores más importantes a tener en cuenta, no solo porque mantendrá el invernadero en pie, sino que estará bien montado para captar la mayor parte de energía solar posible, sobre todo en el invierno. Por ello, adecuar la altura del invernadero, la ventilación, y el largo, será parte fundamental al querer generar un invernadero que funcione bien. Es importante, evaluando la estructura de invernaderos, analizar los elementos con los que se montará, por dos cosas en particular: una de ellas es la utilidad, y fuerza con la cual sostendrán y mantendrán al invernadero en pie y, la segunda, será la vida útil de esta estructura. Por lo tanto, algunas veces es necesario, o más práctico, decidirse por utilizar una buena estructura de invernadero, y así después no tener que renegar con algunas estructuras mediocres. El montar una buena estructura de invernadero, en especial fuerte y duradera, podrá tener un costo alto al

principio, pero seguramente se amortizará, debido a que el cuidado será menor y su resistencia hará que el mismo requiera de mucho menos mantenimiento, por lo cual será necesario menos mano de obra para lograr tenerlo espléndido, y al mismo tiempo menos dinero. (p. 4)

2.3.2 Ventajas y desventajas de un invernadero.

Según el autor Pacheco. A, (s.f.) indica que:

Al trabajar con la estructura de un invernadero debemos tomar en cuenta que se obtendrá un sin fin de ventajas y desventajas, lo que es necesario tener conocimiento de ellas al haber tomado la decisión de construir una de estas estructuras, razón que permitirá asegurar si va a ser una buena inversión a futuro. (párr. 1)

2.3.2.1 Ventajas.

Al cultivar bajo un invernadero los aspectos positivos son muchos. (Pacheco, s.f), nos presenta los siguientes:

- **Mayor producción:** Al utilizar un invernadero en productos agrícolas, este va a ayudar a intensificar la producción de los cultivos, al tener dentro del invernadero las condiciones climáticas adecuadas para mejorar y activar el desarrollo de las plantaciones. Aún más cuando se poseen una automatización de control climático de temperatura, humedad relativa, iluminación, entre otras aumentando así la calidad. (párr. 3)
- **Posibilidad de cultivar todo el año:** Una de las ventajas es el poder cultivar los productos en cualquier tiempo del año. Solo se debe tomar en cuenta el diseño y como se equipe el invernadero, también las condiciones ambientales adecuadas que los sembríos necesiten para crecer adecuadamente dependiendo de sus necesidades. (párr. 4)
- **Obtención de productos fuera de temporada:** Un invernadero permite sembrar en cualquier época del año, como resultado permite obtener productos agrícolas fuera de la temporada de producción, con las ventajas de mercado y precio que ello representa. (párr. 5)

- **Control de plagas, malezas y enfermedades:** Gracias al invernadero se puede dar los tratamientos preventivos y necesarios para controlar las malezas, patógenos y plagas, estas estructuras permiten realizar una programación adecuada para el control de los mismos previniendo así de mejor manera las enfermedades que en campo abierto. (párr. 11)
- **Comodidad y seguridad para realizar el trabajo:** Dentro de la protección del invernadero se pueden hacer tiempos largos de trabajo sin preocupación del clima en el exterior, se evita retrasar las actividades programadas por lluvias, nevadas o vientos que son inconvenientes que se posee al trabajar al aire libre. (párr. 12)
- **Obtención de productos de alta calidad:** Como mayor ventaja la producción obtenida al trabajar con un invernadero es muy clara, al obtener una cosecha de mejor calidad, con mejor presentación que los obtenidos al aire libre, como no están sometidos a los daños ocasionados por las lluvias, el granizo, las heladas y los vientos. (párr.8)

2.3.2.2 Desventajas.

Al empezar con la construcción de los invernaderos, estos ostentan numerables desventajas que se deben tener en cuenta mucho antes de emprender a trabajar con ellos. Así de esta manera algunos efectos negativos se pueden disminuir.

(Pacheco, s.f), menciona algunas desventajas:

- **Inversión inicial alta:** Algo no tan agradable de construir un invernadero se debe a la inversión alta que representa, por ello hoy en día es recomendable usar estas estructuras para cultivos altamente provechosos como plantas ornamentales, hortalizas, rosas y algunos frutales. No se recomienda hacer uso de un invernadero para plantaciones muy sencillas o de producción menor. (párr. 15)
- **Alto nivel de especialización y capacitación:** El personal a contratar es otra de las desventajas que se presentan, el cultivo y manejo de plantas en un invernadero dependen por completo del hombre, más aún si se emplea sistemas sofisticados, por lo que ello llevará a ser necesario

capacitar a los empleados y en el caso de automatizar el invernadero se deberá contratar técnicos especializados en ese campo. (párr. 17)

- **Altos costos de producción:** Como se menciona anteriormente los gastos de operación se verán en aumento, un ejemplo de esto está en la compra de semillas y fertilizantes, comparados con los cultivos a campo abierto es mucho más costoso adquirir el material necesario para cultivar, Sin embargo, los resultados obtenidos dentro de un invernadero son más gratificantes, si se realiza un buen trabajo con el cultivo se obtendrá mayores ganancias. (párr. 18)
- **Ataque de agentes patógenos:** En cuanto al desarrollo de agentes patógenos dentro de un invernadero, así como nos otorgan las condiciones climáticas necesarias para el crecimiento de cultivos, también aportan las condiciones ideales para la proliferación de enfermedades y el desarrollo de plagas, que de no controlarse pueden acabar con la producción. (párr. 19)

2.4 Requerimientos Climáticos.

Para cultivar cualquier producto agrícola, es necesario tomar en consideración los distintos factores climáticos que influyen directamente en los cultivos, interviniendo en el crecimiento y la eficacia del producto final. Es importante destacar los más importantes y con los que más se trabaja.

2.4.1 Temperatura.

Según (Infoagro.com, s.f), sostiene que:

Es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, es una de las variables más influyentes en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 10°C y 20°C. Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Así mismo se deben aclarar los siguientes conceptos de temperaturas, que indican los valores a tener en cuenta para el buen funcionamiento del cultivo y sus limitaciones:

- **Temperatura mínima letal:** Produce daños a la especie si baja más de lo indicado.
- **Temperaturas máximas y mínimas:** Señalan los valores máximos y mínimos donde la planta no puede alcanzar una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, para crecer adecuadamente.
- **Temperatura óptima:** Valores óptimos para un adecuado crecimiento de la planta. (párr. 4-6)

Tabla 1
Exigencias de Temperatura para distintas especies.

	TOMATE	FRUTILLA	SANDÍA	MELON
T. mínima letal	0 - 2	10 - 12	0	0 - 1
T. óptima	13 - 16	15 - 20	17 - 20	18 - 21
T. máxima letal	33 - 38	33 - 38	33 - 37	33 - 37

Fuente: (Infoagro.com, s.f)

La frutilla por su centro de origen prefiere climas frescos, pero se adapta a los ambientes más diversos. La temperatura óptima para el cultivo es de 15 a 20°C en el día y de 15 a 16 °C en la noche, temperaturas por debajo de 12°C durante el cuajado dan lugar a frutos deformados por el frío, en tanto que un clima muy caluroso puede originar una maduración y una coloración del fruto muy rápida, lo cual impide adquirir un tamaño adecuado para la comercialización.

2.4.2 Humedad relativa.

Según el autor (Infoagro.com, s.f) sostiene que:

La cantidad de partículas de agua que contiene el ambiente es a lo que se llama humedad relativa. Entre la temperatura y la humedad relativa (HR) existe una relación inversa, a mayor temperatura en el ambiente, se contiene el vapor de agua en mayores cantidades y como consecuencia la humedad relativa disminuye, en el otro caso ocurriría lo opuesto. Frente a los cultivos la HR es una variable climática que afecta directamente, si

existe en grandes cantidades la HR en las plantas produce daños como disminuir el crecimiento, es el clima perfecto para producir plagas y enfermedades. En cambio al tener una HR muy baja, las plantas pueden sufrir de deshidratación. (párr. 10-11)

El exceso de esta variable puede mejorar aumentando la temperatura y como segunda opción reduciendo el riego del suelo. Si la HR es mínima, se aumenta la humedad del suelo, realizar un sombreado y disminuir la temperatura. La humedad relativa adecuada para la frutilla es de 60 y 75%, cuando es excesiva permite la presencia de enfermedades causadas por hongos, por el contrario, cuando es deficiente, las plantas sufren daños fisiológicos que repercuten en la producción, en casos extremos las plantas pueden morir.

Tabla 2
Humedad Relativa.

ESPECIES	HR %
TOMATE	50 – 60
PIMIENTO	50 – 60
BERENJENA	50 – 60
MELÓN	60 – 70
FRUTILLAS	60-75
CALABACIN	65 – 80
PEPINO	70 – 90

Fuente: (Infoagro.com, s.f)

2.5 Sensores.

(Rojas, 2015), señala que:

Los sensores se crearon para que una maquina trate de percibir lo que los seres humanos captan con los sentidos, esta es la razón de encontrar un sin número de sensores aplicados en diferentes áreas tecnológicas. Dado que se quiere que los sensores imiten lo que los humanos perciben, se pueden encontrar diferentes sensores que captan lo que los sentidos humanos pueden hacerlo, por ejemplo: tacto, oído, vista, es decir que reaccionan a la luz, el sonido, el contacto, entre otras cosas. (p. 41)

Los sensores tienen la capacidad de transformar los datos que reciban de entrada a una magnitud que por lo general es eléctrica, para que los seres humanos sean capaces de medir y observar la información.

2.5.1 Características del rendimiento del sensor.

Para Ruiz. A, Ros. F, Rico. J (2010), indican que: “A la hora de elegir un sensor para una aplicación en concreto, es necesario tener en cuenta determinados aspectos para obtener el mejor rendimiento dentro de dicha aplicación”. (p. 6)

- Tiempo de respuesta
- Lugar donde se utilizará
- Alcance
- Consumo de voltaje
- Empleo de corriente
- Hasta que temperaturas puede trabajar
- Interferencias exteriores
- Resistencia a la acción de agentes externos
- Relación calidad/precio

Las características más relevantes de los sensores mencionadas por (Erazo & Sánchez, 2011) son las siguientes:

- **Sensibilidad:** La sensibilidad se define en términos de la relación entre la señal física de entrada y la señal de salida de la señal eléctrica. Como tal puede expresarse como la derivada de la función de transferencia con respecto a la señal física. Unidades típicas son: $V / ^\circ K$, mV / kP , etc. Un termómetro presenta alta sensibilidad si ante un pequeño cambio de temperatura resulta una gran tensión de cambio.
- **Span o Rango dinámico:** Al rango de entrada de las señales físicas que pueden ser convertidas en señales eléctricas por el sensor se le denomina como rango dinámico o span. Las señales que se encuentren fuera de este rango se espera que causen una gran e inaceptable imprecisión. El span es normalmente especificado por el proveedor de sensores como el rango sobre el cual se espera que las características de funcionamiento del sensor, descritas en las hojas de datos, se apliquen.

- **Histéresis:** La distancia diferencial (HISTÉRESIS) es la distancia entre la posición de actuación (cuando el objeto a detectar se acerca a la superficie censora o activa de un sensor de proximidad) y la posición en la que deja de actuar o detectar al objeto cuando éste se aleja de la superficie activa.
- **Resolución:** la cantidad de medida más pequeña que se pueda detectar.
- **Ruido:** Es cualquier perturbación exterior no deseada que puede ser eléctrica y dañar los datos de salida obtenidos por el sensor.
- **No linealidad:** Es la desviación que se produce de un rango dinámico especificado.

2.5.2 Clasificación.

Debido a la extensa variedad de los sensores, diferentes autores han visto necesario clasificarlos de distintas formas, de esta manera lograr comprender para que funcionan y entender su naturaleza. Por ello (Serna, Ros, & Rico, 2010) los clasifican de la siguiente manera:

a. Por su funcionamiento.

- **Activos:** Son aquellos que necesitan de una fuente exterior de la que puedan alimentarse para poder funcionar.
- **Pasivos:** No necesitan de una fuente exterior para alimentarse, utilizan las propias condiciones medioambientales para poder funcionar de acuerdo a lo que necesiten. (p.3)

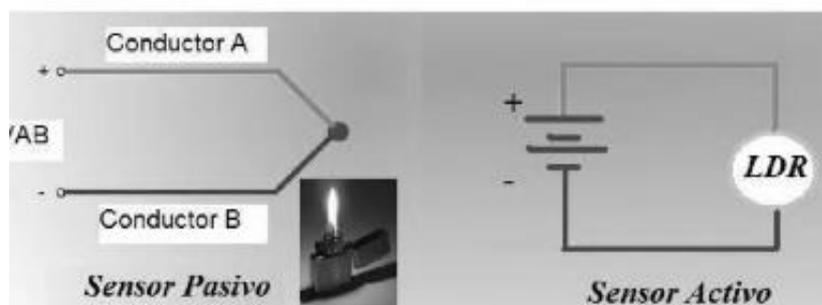


Figura.1 Clasificación por su funcionamiento.

Fuente: (Serna, Ros, & Rico, 2010)

b. Por sus señales que entregan.

- **Análogos:** La información que entregan a su salida es análoga (tensión, corriente), quiere decir que entregan una infinidad de valores a un valor mínimo y máximo
- **Digitales:** Su señal de salida es cuadrática o también dicha señal digital, los valores que darán son “1” o “0” lógicos. p.3)

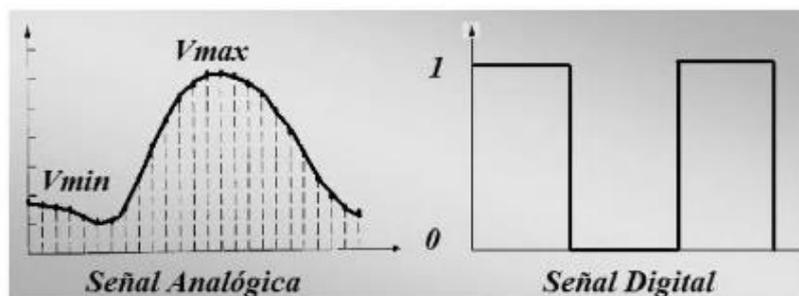


Figura. 2 Clasificación por su señal que proporciona.
Fuente: (Serna, Ros, & Rico, 2010)

c. Por la naturaleza de su funcionamiento.

- **Posición:** Detectan las variaciones que se da al cambio de posición en un tiempo.
- **Fotoeléctricos:** Dependiendo de la cantidad de luz que incida sobre ellos variaran.
- **Magnéticos:** De acuerdo al campo magnético que les atraviese, estos sensores varían.
- **Temperatura:** Varían de acuerdo a la temperatura que detecten en un determinado lugar.
- **Humedad:** Varían dependiendo del nivel de humedad existente en el ambiente.
- **Presión:** Varían en función a la presión que son sometidos.
- **Movimiento:** Son aquellos que varían de acuerdo al movimiento que se les aplique. (p.4)



Figura. 3 Sensores por naturaleza de su funcionamiento

Fuente: (Serna, Ros, & Rico, 2010)

d. Por los elementos utilizados en su manufactura.

- **Mecánicos:** Para abrirse y cerrarse usan contactos mecánicos.
- **Resistivos:** Utilizan en su fabricación elementos resistivos.
- **Capacitivos:** Utilizan en su fabricación condensadores.
- **Inductivos:** Son aquellos que son fabricados con bobinas.
- **Piezoeléctricos:** Utilizan en su fabricación cristales como el cuarzo.
- **Semiconductores:** Son aquellos que utilizan en su fabricación semiconductores. (p.5)

Una vez expuesto lo anterior y haber dado una clasificación general de los sensores, eventualmente se revisara los sensores de: temperatura, humedad y humedad de suelo, que son los utilizados para este proyecto.

e. Sensor de temperatura.

Según (electronica2000, s.f), menciona que:

Como se sabe la temperatura es considerada una medida medioambiental, una variable física que se mide en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$), considerada parte indispensable en muchos procesos de monitoreo que requieran una temperatura estricta. Se considera un sensor de temperatura a todo dispositivo o elemento que sea capaz de cuantificar la cantidad de energía térmica y detecte un cambio físico en la temperatura enviando datos a su señal de salida sean digitales o análogos. (párr. 2-3)

(Carolyn, 2011) puntúa que:

Existen dos tipos de sensores principales: con contacto y sin contacto, considerados a los termopares y termistores, miden la temperatura de su objetivo haciendo contacto directo con él y los sensores de temperatura sin contacto miden la radiación térmica emitida por una fuente de calor para determinar su temperatura. Ha este último grupo se los utiliza en condiciones de entornos peligrosos o cuando se desee medir a distancia. (párr.2)

En la práctica existen muchos sensores de temperatura que se pueden utilizar según la aplicación específica, se puede elegir los más adecuados. (Carolyn, 2011), indica los tipos de sensores frecuentemente utilizados e importantes:

e.1 Termistores.

Estos dispositivos son también considerados sensores de temperatura económicos, fáciles de conseguir y sencillos de utilizar, sin embargo, son utilizados en sencillas mediciones de temperatura por lo que no son recomendados para usos en altas temperaturas. Son fabricados con un material semiconductor que posee una resistividad que es especialmente sensible a la temperatura. Por ello la resistencia de un termistor disminuye con el incremento de la temperatura. (párr.5)

Los termistores se diferencian de los (RTD) en dos cosas: primero en que los RTD se utiliza metal puro para fabricarlos y segundo cada uno de ellos entrega una respuesta térmica distinta. Estos termistores se clasifican en dos ejemplares, en donde su símbolo (k) al ser positivo, se dirá que es un termistor con coeficiente positivo debido a que la resistencia aumenta al crecer la temperatura. Si (k) es negativo, el termistor se denominará con coeficiente de temperatura negativo, la resistencia disminuye al crecer la temperatura. (párr.6)

e.2 Termopares.

Posee un par de empalmes formados por dos metales de diferente tipo, uno de los empalmes solo servirá como referencia de temperatura mientras el otro será la temperatura que se vaya a medir. Su funcionamiento se da con una diferencia de temperatura que provoca un voltaje (efecto Seebeck), el

cual es proporcional a la temperatura, el voltaje producido es convertido en datos de temperatura. El uso de estos sensores es debido a su bajo costo, su resistividad y se pueden usar en distintas temperaturas como por ejemplo se pueden hacer uso de estos por períodos cortos en temperaturas de hasta 3.000°C y tan bajas como -250°C . (párr.3)

e.3 Detectores de temperatura de resistencia (RTD).

(“National Instruments Corporation”, 2016) detalla que:

Los RTD son sensores de temperatura resistivos, que dependiendo de los cambios de temperatura que se presenten, la resistencia interior del elemento cambiara el valor resistivo simultáneamente. Los RTDs son fabricados de níquel (Ni) y cobre (Cu), aunque el material más común para estos elementos es el platino (Pt) debido a su amplio rango de temperatura, precisión y estabilidad. Un detector de resistencia de temperatura (RTD) de platino es un dispositivo con una resistencia típica de $100\ \Omega$ a 0°C .

Al hacer funcionar al RTD este generará un voltaje, al medir dicho voltaje se podrá establecer la resistencia y por ende la temperatura que el RTD esté recibiendo, esta relación entre estas variables es de forma directa y lineal.

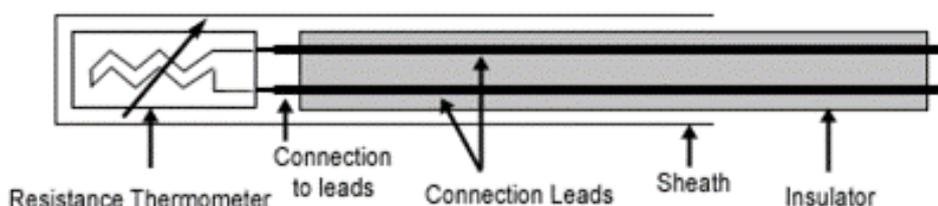


Figura 4. Arquitectura Física de un RTD.

Fuente: (National Instruments Corporation, 2016)

(Erazo & Sanchez, 2011), afirman que “El coeficiente del platino es $a = 0.00392$ ohmios/ $^{\circ}\text{C}$ sobre un rango de 0°C a 100°C , teniendo una resistencia de 100 ohmios para una temperatura de 0°C , por lo que recibe el nombre de Pt-100”.

Los RTDs son diseñados usando una de las dos configuraciones de manufactura. Los RTDs wire-wound son creados enrollando un cable delgado

en una bobina. Una configuración más común es el elemento de película delgada, el cual consiste en una capa muy delgada de metal puesta sobre un estrato de plástico o cerámica. Para proteger el RTD, una cubierta de metal cubre al elemento RTD y los cables conectados a él.

Son populares por su excelente estabilidad, los RTDs muestran la señal más lineal con respecto a la temperatura de cualquier sensor electrónico de temperatura. Sin embargo, son generalmente más caros por su cuidadosa construcción y el uso de platino. Los RTDs también se caracterizan por un tiempo lento de respuesta y baja sensibilidad; y como requieren excitación de corriente pueden ser propensos a auto calentamiento.

f. Sensores de humedad.

Alarcón (como se cita en (Guzman, 2015) afirma que “La humedad es una variable climática y un fenómeno natural, se encuentra a nivel molecular y es la cantidad de moléculas de agua presentes en una determinada sustancia, la cual puede estar en estado sólido o gaseoso” (p.14).

Según la investigación de (La Guia MetAs, 2008) señala “La gran cantidad de partículas de agua en el medio en que se habita, no influye en la vida de los humanos, pero resulta muy importante en varios procesos como físicos, químicos y mayormente en el crecimiento de plantaciones” (párr. 1).

Para la medición de esta magnitud se hace uso de una variedad de sensores de humedad (ver Figura.5)



Figura 5. Tipos de sensores de humedad
Fuente: Jaime & Samir, (2010)

(Barrios, 2014), señala algunos tipos existentes y los más utilizados, por ejemplo:

f.1 Sensores Mecánicos.

Estos sensores utilizan los mínimos cambios físicos que un tipo específico de material es capaz de detectar, cambiando esta su dimensión al sentir humedad. Para un ejemplo podemos comparar al cabello humano como uno de estos materiales, al sentir esta una mayor humedad relativa sus fibras se dilatan, se alargan. Este fenómeno se debe amplificar por medio de circuitos electrónicos y se calibra en igualdad a la humedad relativa. (p. 2)

(Temarios formativos profesionales, s.f), mencionan los siguientes:

f.2 Sensores por Conductividad.

En cualquier superficie que se tenga y esta se encuentre cubierta por vapor de agua, sobre esta área siempre quedara un monto de moléculas de agua. Los sensores de conductividad utilizan esta presencia de agua en la superficie para que por medio de ella la corriente eléctrica pueda circular. (p. 3)

Para ello se dispone de una superficie pulida, no conductora, sobre la cual se posicionan dos rejillas de oro entrelazadas, sin tocarse. Según sea la Hr presente, habrá una cantidad de moléculas de H₂O proporcional a ella. Luego al ser conectados los alambres de oro a una diferencia de potencial continua, se producirá una corriente que estará en directa relación con la cantidad de moléculas presentes en la superficie.

f.3 Sensores Capacitivos.

Los sensores más utilizados para realizar mediciones climáticas, se encuentren en el mercado fácilmente a costos muy accesibles y realizan un buen trabajo mostrando una buena fidelidad. Este tipo de sensores funcionan en base al cambio que sufre la capacidad (Farad) de un condensador al variar la constante dieléctrica del mismo. (p. 3)

En pocas palabras el cambio de capacidad que sufre un condensador cuando siente un cambio en la humedad.

f.4. Sensores Infrarrojos.

Se dispone de 2 fuentes infrarrojas idénticas, la primera se toma como referencia y es medida por una foto-resistencia, la segunda atraviesa la muestra con vapor de agua, el cual absorbe parte de la radiación e incide en el otro detector, ambos valores resistivos son transformados a voltaje por puentes de Wheatstone, para finalmente ser comparados con un amplificador diferencial. El resultado entre ambos va a ser proporcional a la cantidad de humedad presente en la muestra. Los sensores que utilizan este método son muy sensibles.

g. Sensor de Humedad en el Suelo.

Son sensores resistivos que utilizan la condición en que la tierra se encuentre, es decir mientras más mojada este la tierra, mayor será la conductividad y así viceversa. (Temarios formativos profesionales, s.f), indican que:

A través de dos puntales conductores separados que se enterrarán en el área del suelo que se desee medir, serán sometidos a una diferencia de potencial constante, es decir se medirá voltaje, por lo que, dependiendo a la cantidad de agua existente en la tierra, la conductividad de la corriente será proporcional. (p. 4) En la figura 6 se aprecia un esquema de medición.

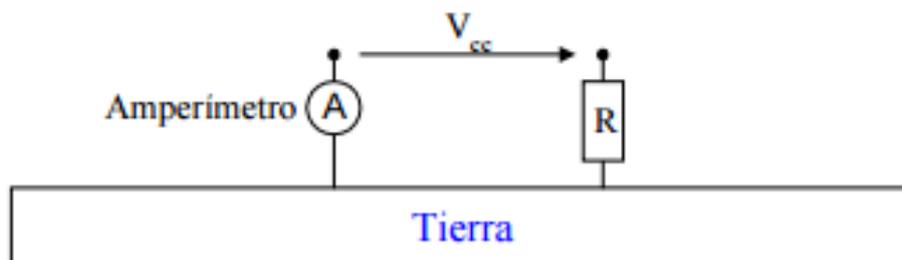


Figura 6. Esquema de medición sensor de humedad en el suelo
Fuente: Jaime & Samir, (2010)

2.6 Tecnología GSM.

Es una tecnología digital inalámbrica de segunda generación (2G) que presta servicios de voz de alta calidad.

La (“Universidad Interamericana de Puerto Rico”, s.f.), señala que:

Al inicio de los años 80 los primeros sistemas de comunicaciones celulares móviles aparecieron en el mundo. Cada nación desarrollaba su propio sistema y un teléfono móvil funcionaba únicamente en el país en que era comprado. Todo esto debido a que la tecnología de un país no era compatible con la del otro. Es por eso que se denominaban tecnologías nacionales.

En 1982, un consorcio de países europeos creó el (Group Spéciale Mobile) GSM para desarrollar una tecnología celular que proveyera un servicio común de telefonía móvil europea. Desde el inicio el grupo tenía la idea de que el nuevo estándar debía utilizar la tecnología digital envés de la análoga.

Poco a poco la tecnología GSM en 1991 fue cubriendo las principales ciudades europeas y expandiéndose por muchas más. En 1995 la segunda fase de la red añadió el envío de datos, fax y vídeo a través del GSM. El sistema se fue expandiendo por varios países del mundo. Se hizo evidente que GSM sería una tecnología global y no europea. Así fue como las siglas GSM comenzaron a significar "Sistema Global para Comunicaciones Móviles". (p.1).

BANDAS GSM	FRECUENCIAS
GSM-850	850 Mhz
GSM-900	900Mhz
GSM-1800	1,8 Ghz
GSM-1900	1.9 Ghz

Figura 7. Bandas GSM con su frecuencia de trabajo
Fuente: (Universidad de Sevilla, s.f)

Según la (“Universidad de Sevilla”, s.f.), el GSM tiene cuatro versiones principales basadas en las bandas de la figura. 7:

El GSM-1800 y GSM-900 son las bandas más empleadas en el mundo, con sus excepciones de EEUU, Canadá y América Latina, lugares en los que se utilizan las bandas de GSM-850 y GSM-1900. Inicialmente GSM utilizó la frecuencia de 900 Mhz, pero tras su rápida expansión, pronto se saturó el espacio radioeléctrico entorno a esa frecuencia por lo que las redes de telecomunicaciones pública empezaron a utilizar las bandas de 1800 y 1900 Mhz, dando como resultado que los equipos móviles de hoy sean tri-banda o doble-banda. (p.70)

2.6.1 Arquitectura de una Red GSM.

La arquitectura básica de una red GSM está compuesta por varias etapas con funciones específicas, como podemos ver en la figura.

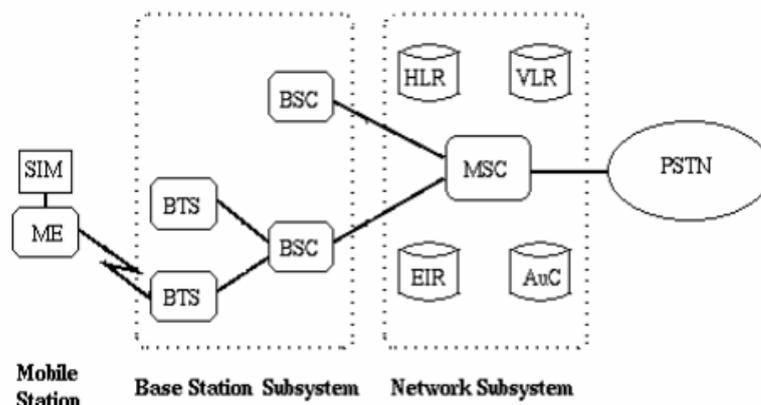


Figura 8. Arquitectura GSM

Fuente: Universidad de Sevilla

Los componentes fundamentales de una red GSM según (Fernández, Gonzáles, & Rubio, 2002) son:

2.6.1.1 Estación Móvil (MS).

(MS) Mobile Station es el punto de entrada a la red inalámbrica, consta de dos elementos básicos que se deben conocer.

- **Mobile Equipment (ME):** Es el teléfono celular que los usuarios hacen uso para acceder a los servicios GSM.

- **Suscriber Identity Module (SIM):** La tarjeta SIM es un chip ubicado en el teléfono móvil, contiene el número de teléfono y sirve también para el prepago de la línea.

2.6.1.2 Estación Base BSS.

BSS (Base Station Subsystem). Sirve para conectar a las estaciones móviles con el subsistema de comunicación y red (NSS), se encargan de la transmisión y recepción, constan de los siguientes elementos:

- **Estación Transceptora Base (BTS):** Cada área que contenga un BTS posee dispositivos de transmisión y recepción, con esto se logra cubrir dicha área circular denominada también como celdas. La potencia de transmisión determina el tamaño de la celda.
- **Controlador de Estación Base (BSC):** Se utiliza como controladores de los BTS, para que no se produzcan interferencias coordinan la transferencia de llamadas entre distintas BTS (handovers).

2.6.1.3 Subsistema de Conmutación y Red NSS.

NSS (Network and Switching Subsystem) se encarga de administrar las comunicaciones que se realiza entre los diferentes usuarios de la red, para poder realizar este trabajo el NSS se divide en diferentes sistemas:

- **Centro de conmutación de servicios móviles (MSC):** Es considerado el componente central del NSS, se encarga de permitir que los usuarios puedan conectarse entre sí y tengan acceso a los distintos servicios como paquetes de datos, servicios digitales integrados, internet, entre otros.
- **Registro de localización local (HLR):** Es una base de datos que contiene información de los usuarios conectados a un MSC, entre esta información que almacena el HLR fundamentalmente está la localización del usuario para que pueda encaminar las llamadas que reciba y los servicios a los que tiene acceso.
- **Registro de posiciones de visitantes (VLR):** Posee toda la información del usuario que ingrese en su zona de cobertura transitoria, esta información ha sido requerida y obtenida a partir de los datos contenidos

en el HLR del que depende el usuario por lo que el VLR trabaja en conjunto con el HLR.

- **Centro de autenticación (AuC):** Asociado al HLR como elemento complementario para proteger la comunicación contra el fraude e intrusión.
- **Registro de identificación de equipo (EIR):** Evita el empleo de equipos móviles no autorizados. La EIR contiene una base de datos con todos los terminales. Su función es comprobar el identificador del dispositivo o IMEI (international mobile equipment identification). Todos los dispositivos tienen un identificador IMEI único en el mundo por lo que si el teléfono es robado se podrá informar al operador y que proceda a poner el IMEI robado en la lista negra del EIR. Si el EIR detecta una llamada con dicho teléfono la interrumpe, aunque la SIM sea distinta por lo que el teléfono queda inoperativo. (pp.21-22).

La tecnología GSM ofrece un sinnúmero de servicios de fácil uso, sin embargo, el servicio ofrecido por GSM y que no se encuentra en los sistemas analógicos más antiguos es el que realmente interesa para este proyecto, el servicio de mensajes cortos (SMS). Es un servicio bidireccional para mensajes alfanuméricos.

2.7 Servicio SMS.

El SMS (Short Message Service) es una red digital que permite a los usuarios de teléfonos móviles enviar y recibir mensajes de texto. Un mensaje de texto puede ser enviado desde un teléfono celular, un modem o desde una dirección IP. El desarrollo de los últimos años de la tecnología celular permite realizar transferencia de mensajes entre diferentes operadoras, permitiendo al cliente recibir y enviar mensajes de un teléfono a otro en muy corto tiempo.

Según (España, 2003) cita que el servicio SMS:

Permite él envió a las estaciones móviles de mensajes de reducido tamaño: 140 octetos o 160 caracteres ASCII. Estos mensajes pueden enviarse o recibirse incluso mientras se está cursando otra llamada de voz o datos. El centro de servicios SMS (SMSC) es el encargado de recoger, almacenar y entregar los mensajes cortos. (p.148)

Para utilizar el servicio de los mensajes cortos, los usuarios necesitan la suscripción y el hardware específico determinado a continuación:

- Una suscripción a una red de telefonía móvil que soporte SMS
- Un teléfono móvil o un modem que soporte SMS
- Un destino para recibir el mensaje, un Pc, un teléfono móvil, un terminal.

2.7.1 Elementos de la Red SMS.

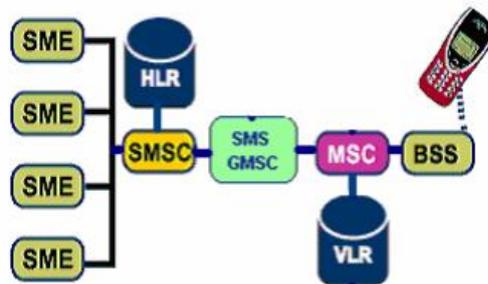


Figura 9. Elementos de la red SMS

Fuente: (Urgiles & Colcha, 2014)

La Red SMS es parte de la Red GSM, es un servicio que el mismo otorga, sin embargo esta red también posee sus propios elementos que trabajan en conjunto para poder realizar el envío de mensajes de texto. Para ello los autores (Urgiles & Colcha, 2014), mencionan que los elementos de dicha Red son:

- **Entidad de envío de Mensajes cortos (SME):** esta entidad como su mismo nombre lo menciona, es capaz desde cualquier teléfono celular o desde una línea fija, enviar o recibir mensajes cortos,
- **Centro de Servicio de Mensajes (SMSC):** se encarga de gestionar que se realice el envío de un SMS corto entre el SME y un teléfono móvil o estación móvil y que dicho mensaje se guarde.
- **(GMSC-SMS):** Primero se encarga de recibir el SMS corto enviado desde un centro de Servicio de Mensajes, después de ello debe pasar por el HLR, para finalmente enviar el SMS al MSC. (p.55)

Las demás etapas de la figura son mencionadas en la sección 2.6.1

2.8 Módulo GSM y Comandos AT.

2.8.1 Módulo GSM.

Es un dispositivo electrónico que acepta un módulo de identidad para el suscriptor (SIM) programado para transferir datos de forma inalámbrica utilizando la red GSM, con el cual se puede conectar cualquier sistema digital usando sus servicios, entre estos los mensajes de texto SMS.



Figura 10. Módulo GSM

Fuente: (Universidad de Sevilla, s.f)

2.8.2 Comandos AT

(Huidrobo, 2005), nos da a conocer que:

Estos comandos también son nombrados como HAYES introducidos por primera vez por Dennis Hayes y Dale Heatherington en su Smart Modem, a principios de los 80. Nombrados AT por la abreviatura Attention, es un lenguaje para que el hombre pueda comunicarse con la máquina, en este caso un modem de terminal, esta comunicación se realiza gracias a una serie de instrucciones codificadas. Existen numerosas versiones extendidas de los mismos, lo que provoca cierta confusión al no ser totalmente compatibles con la versión reducida. Los comandos Hayes se expresan mediante caracteres ASCII y son interpretados por el modem a medida que los recibe. pp. (36-37)

Según la opinión de la (Universidad Tecnica del Norte, 2014) afirma: “El principal trabajo que los comandos HAYES deben realizar es, facilitar la comunicación entre humanos y módems, por lo que se ha optado como opción utilizar este lenguaje como estándar en la red GSM para la telefonía móvil” (p. 8).

Los teléfonos celulares que hoy en día se usan, poseen un pequeño listado detallado de comandos HAYES para poder realizar las acciones que usamos con frecuencia como llamadas, mensajes de texto y poder mirar y agregar números en la lista de contactos.

Como sabemos los comandos AT:

Son cadenas ASCII que comienzan por los caracteres AT y termina con un retorno del carro (CR). Debido a que los comandos AT estaban muy extendidos y muy estandarizados, se ha realizado una ampliación, añadiéndose nuevos comandos. Estos nuevos comandos empiezan por los caracteres AT+, y se denominan comandos AT+. (“Universidad de Sevilla”, s.f. pp.79-80).

2.8.3 Listado de Comandos AT y AT+ más frecuentes.

Los comandos más utilizados según la (Universidad Tecnica del Norte, 2014) son:

Comandos Generales.

AT+CGMI: Identificación del fabricante

AT+CGSN: Obtener número de serie

AT+CIMI: Obtener el IMSI

AT+CPAS: Leer estado del modem

Comandos para SMS

AT+CPMS: Seleccionar lugar de almacenamiento de los MSM

AT+CMGF: Seleccionar formato de los mensajes: Modo texto y Modo PDU

AT+CMGR: Leer un Mensaje SMS almacenado

AT+CMGL: Listar los mensajes almacenados

AT+CMGS: Enviar mensaje SMS

AT+CMGW: Almacenar mensaje en memoria

AT+CMSS: Enviar mensaje almacenado

AT+CSCA: Establecer el centro de mensajes a usar

Los autores (Urgiles & Colcha, 2014) hacen mención de otros más:

Comandos para la agenda de teléfonos

AT+CPBR: Leer todas las entradas

AT+CPBF: Encontrar una entrada

AT+CPBW: Almacenar una entrada

AT+CPBS: Buscar una entrada

Comandos del servicio de red.

AT+CSQ: Obtener calidad de la señal

AT+COPS: Selección de un operador

AT+CREG: Registrarse a una red

AT+WOPN: Leer nombre del operador

2.9 Arduino.

Según (“Arduino”, 2016) destaca que:

Es una plataforma electrónica de código abierto basado en el fácil uso del hardware y software. Las placas Arduino son capaces de leer señales de entrada como, por ejemplo: la luz en un sensor, un dedo sobre un botón o un mensaje de Twitter y convertirlo en una señal de salida activando un motor, encendiendo un LED, publicar algo en línea. Se le puede decir que hacer a la placa enviando las instrucciones al microcontrolador. Lo único que se debe hacer, es usar el lenguaje de programación Arduino y obtener el software de Arduino (IDE).

(Pedrera, 2014), cita que Arduino es:

Hardware y software libre, se encuentra abierto para uso y contribución de toda la sociedad. Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos, creados en Italia, que consiste básicamente en una placa microcontroladora, con un lenguaje de programación en un entorno de desarrollo que soporta la entrada y salida de datos y señales.

Fue creado en el año 2005 con el propósito de servir como base para proyectos de bajo coste y es lo suficientemente simple para ser utilizado por los desarrolladores. Arduino es una plataforma de computación física

(son sistemas digitales conectados a sensores y actuadores, que permiten construir sistemas que perciben la realidad y responden con acciones físicas), basada en una simple placa microcontroladora de entrada/salida y desarrollada sobre una biblioteca que simplifica la escritura de la programación en C/C++.

Arduino es un kit de desarrollo capaz de interpretar variables en el entorno y transformarlas en señales eléctricas correspondientes a través de sensores conectados a sus terminales de entrada y tutear el control o accionamiento de algún otro elemento electrónico conectado a la terminal de salida. O sea, es una herramienta de control de entrada y salida de datos, que puede ser accionada por un sensor (como por ejemplo una fotorresistencia), después de pasar por una etapa de procesamiento, el microcontrolador, podrá accionar un actuador (un motor, por ejemplo). Como se puede percibir es un ordenador que tiene sensores de entrada como el mouse y el teclado, y de salida, como las impresoras y los altavoces, solo que este hace interface con circuitos eléctricos pudiendo recibir o enviar información/tensión en estos.

Arduino está basado en un microcontrolador (ATMEGA), de esta forma se puede programar lógicamente, es posible la creación de programas, utilizando un lenguaje propio basado en C/C+, la gran diferencia de esta herramienta es que está desarrollada y perfeccionada por una comunidad que divulga sus proyectos y sus códigos de aplicación, ya que la concepción de esta es open-source, es decir cualquier persona con conocimiento de programación puede modificarlas y ampliarlas de acuerdo a las necesidades, apuntando siempre hacia las mejoras de los productos que puedan ser creados aplicando Arduino. (pp.7-9)

2.9.1 Tipos de Arduino más utilizados.

Existen muchos tipos de Arduino que se pueden utilizar dependiendo de lo que se quiera hacer, con diferentes formas y configuraciones de hardware. (Pedrera, 2014), menciona algunos tipos de Arduino:

El ARDUINO UNO es el utilizado comúnmente pero el MEGA ARDUINO, posee mayores puertos de entrada y salida facilitando la creación de dispositivos más grandes y más complejos. El ARDUINO NANO, como su nombre lo dice, es una versión abreviada de un Arduino común, se lo utiliza para la creación de objetos de electrónica más pequeños. A continuación, se puede observar los diferentes tipos de Arduino existentes hoy en día.

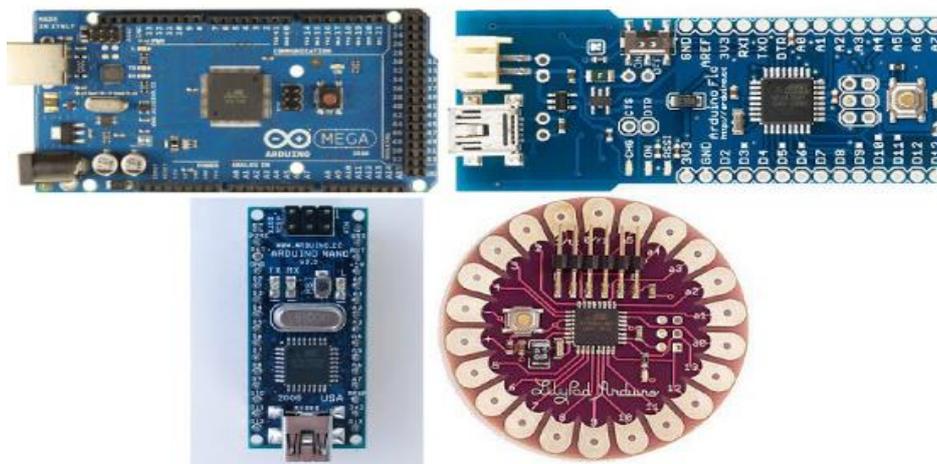


Figura 11. Tipos de Arduino

Fuente: (Pedrera. A, 2014)

Respectivamente, estos modelos son Arduino Mega, Arduino Nano, Arduino Fio y Arduino Lilypad. Cada uno tiene una funcionalidad diferente que justifica su creación. El LilyPad, por ejemplo, está diseñado para ser capaz de ser utilizado en la ropa, se puede cocer directamente sobre los tejidos. (pp. 10-11).

2.10 Módulos RF.

Según las investigaciones de (Bolaños, Modulos de Rf para radiocontrol, 2011) manifiestan que:

Existen muchas opciones para escoger un módulo RF con su respectivo emisor y receptor, para que estos se adapten a las necesidades de los proyectos. Hace unos años atrás lo único que se podía realizar para trabajar con módulos así, era fabricar y calibrar el circuito emisor y receptor, lo

cual resultaba tedioso y una pérdida valiosa de tiempo. Pero gracias a la tecnología que avanza, ahora se puede encontrar en el mercado a precios económicos distintos tipos de módulos, con la ventaja que son de fácil uso y es posible hacerlos funcionar con una poca cantidad de elementos. (p. 1)

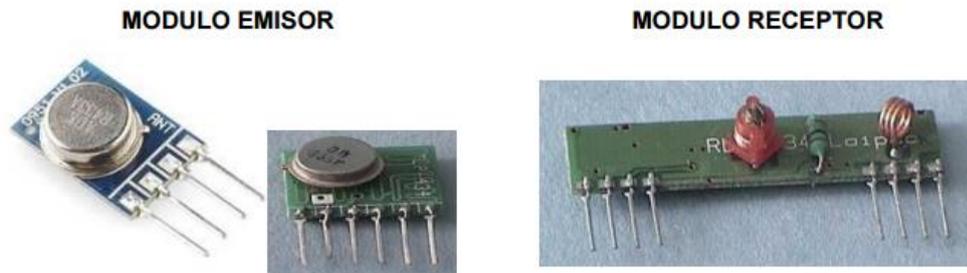


Figura 12. Módulos RF emisor y receptor

Fuente: (Bolaños, Módulos de Rf para radiocontrol, 2011)

Los módulos Rf de 433Mhz utilizados para este proyecto, solo se les puede usar para transmitir datos digitales, es decir si se desea transmitir audio y video no se lograría hacer. Un punto importante que mencionar es la tasa de transmisión de datos en estos módulos, no es muy alta.

2.11 LCD (Liquid Crystal Display).

Según el autor (Bolaños, Manejo de display LCD, 2013) expresa que:

Para proyectos donde es esencial poder observar los datos que un sistema requiera, se podría hacer uso de un display de 7 segmentos, pero lamentablemente presentan demasiadas complicaciones y limitaciones como: no permitir visualizar caracteres ASCII ni caracteres combinados entre números y letras, otra de sus desventajas es la cantidad de energía que absorben. Para ello se crearon los LCD, quienes ahorran todas estas molestias y presentan superioridad en cuanto a sus predecesores.

Los LCD poseen consigo la capacidad de poder ser conectados a placas microcontroladoras como también a los microprocesadores, sumando la nitidez de resolución de la pantalla, estos displays pueden mostrar caracteres alfanuméricos facilitando de esta manera la presentación de la información que cualquier circuito electrónico o cualquier equipo necesite

mostrar. Cabe mencionar que estos displays de cristal líquido son muy accesibles a las necesidades económicas. (p. 1)

2.11.1 Características Principales De Los Módulos LCD.

Según (Bolaños, Manejo de display LCD, 2013) establece que:

Se encuentran una cantidad muy extensa de modelos LCD en el mercado como, por ejemplo: los más utilizados los módulos LCD de 2 líneas X 16 caracteres, aunque existen modelos en todas las presentaciones deseadas para que se adapten a las necesidades del usuario, existen de 2x20, 4x20, 4x40, entre otros. Al comprar alguno es necesario basarse en un catálogo debido a la amplia línea de modelos, de esta forma reducir la búsqueda y será más preciso encontrar el LCD que se adapte de mejor manera al proyecto y a las necesidades que este requiera. Su forma de utilización y conexionado se encuentra en la hoja de datos del LCD que se vaya a utilizar, aunque la forma de conexión entre todos es de manera similar. (p. 1)

(Electronica 60 Norte, s.f), nos describe el Display LCD 2X16:

En la figura. 13 se puede observar físicamente como se ve un Display de cristal líquido, contiene un circuito electrónico impreso en placa donde se hallan ubicados los respectivos pines de conexionado. El LCD por su protección contiene una estructura metálica alrededor de la pantalla, la cual se encuentra empotrada sobre la placa impresa. Este LCD tiene la capacidad de mostrar la cantidad de 32 caracteres divididos en dos filas de ahí el nombre del modelo 2X16. (p.7)

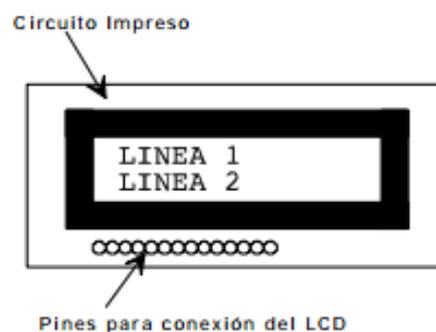


Figura 13. Aspecto Físico del LCD

Fuente: (Electronica 60 Norte, s.f)

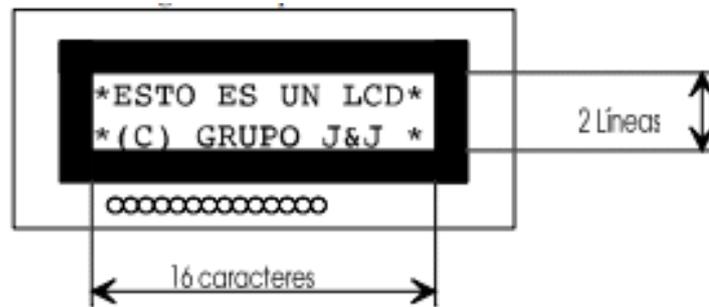


Figura 14. Visualización de caracteres del display

Fuente: (Electronica 60 Norte, s.f)

(Bolaños, Manejo de display LCD, 2013), puntúa que:

Entre los pines más importantes de un LCD que siempre se deben conectar están, los pines de alimentación VSS y VDD, el pin R/W que indica al módulo del LCD si lo que se va a realizar es escritura de datos o solo lectura, el pin RS que señala si lo que está entrando por el bus es instrucción o dato y el pin E para habilitar el Display.

En la siguiente tabla se especifica los pines mencionados con anterioridad y otros pines secundarios:

PIN	SÍMBOLO	Nombre y función
1	VSS	GND (Tierra 0V)
2	VDD	Alimentación +5V
3	VO	Ajuste del contraste
4	RS#	Selección DATO/CONTROL
5	RW#	Lectura o escritura en LCD
6	E	Habilitación
7	D0	D0 bit menos significativo
8	D1	D1
9	D2	D2
10	D3	D3
11	D4	D4
12	D5	D5
13	D6	D6
14	D7	D7 bit más significativo
15	LED+	Ánodo de LED backlight
16	LED-	Cátodo de LED backlight

Nota: # significa negado.

Figura 15. Pines de conexión del display

Fuente: (Bolaños, Manejo de display LCD, 2013)

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares.

En el presente capítulo se realizará primeramente la identificación de las variables físicas que llegan a intervenir en el sistema de monitoreo para el invernadero Ricaurte. Se examinará también los diferentes rangos de valores que deben tener las variables ambientales a utilizar en el invernadero, a fin de asegurar el mejoramiento de producción en el cultivo de frutillas.

Se efectuará una descripción detallada de las características relevantes de los elementos principales que se utilizaron para la realización de este proyecto. Posteriormente paso a paso se explicara cómo se ejecutó la implementación del sistema de monitoreo, primero dividiéndolo en tres etapas y explicando el funcionamiento que realiza cada una para que todo el sistema esté completo y trabaje eficazmente.

Como segundo se realizara la explicación del desarrollo del software por medio de diagramas de flujo para dar a conocer la lógica de programación aplicada, seguidamente se expondrá el desarrollo del hardware y la instalación realizada en el invernadero. Para finalizar se indicarán las respectivas pruebas de funcionamiento que se realizó a cada etapa de manera individual para detectar alguna falla existente que interfiera con la correcta labor del sistema.

3.2 Variables físicas

Primeramente, se realizó una investigación de las variables climáticas que se harán uso (temperatura, humedad relativa y humedad de suelo), para determinar la magnitud que estas influyen dentro de un invernadero y de sus cultivos, seguido se analizó varios documentos y recomendaciones de expertos en agricultura, para así determinar cuáles son los valores óptimos climáticos que deben tener los cultivos de frutilla para un adecuado crecimiento.

Una parte importante de analizar primero las variables es el poder tener en cuenta los daños que pueden causar en los cultivos los rangos demasiados altos o bajos de concentración en cada variable del microclima que se esté monitoreando. Todas estas consideraciones se encuentran presentadas en la tabla 3 y serán tomadas en cuenta para realizar la programación de la placa microcontroladora (Arduino Mega), además para la configuración de la alarma vía SMS que se enviara al teléfono celular por medio de tecnología GSM.

Tabla 3
Variables físicas a considerar para el monitoreo.

VARIABLE	VALORES OPTIMOS	DAÑO POR VALORES ALTOS	DAÑO POR VALORES BAJOS
Temperatura	15 a 20 %	Maduración y coloración demasiada rápida, produciendo frutos pequeños.	Frutos deformados por el frío.
Humedad Relativa	60 a 75%	Enfermedades causadas por hongos.	Daños fisiológicos, deshidratación de las plantas, en casos extremos produce muerte.

Se tomó también la variable de humedad del suelo por requerimiento del encargado del invernadero para poder tener una idea de cuanta humedad se encuentra presente en las plantaciones y que no exista un ahogamiento de las mismas. Los porcentajes considerados fueron los siguientes:

Tabla 4
Rangos del sensor de humedad.

Humedad de suelo. (%)	Estado del suelo.
0-40 %	Tierra seca
40-90%	Tierra húmeda
90-100%	Tierra muy mojada

Se tomaron estos valores por lo que simplemente se desea saber si la tierra se encuentra muy mojada, húmeda o seca. La elaboración de esta tabla con los respectivos porcentajes, al estado del suelo se realizó de acuerdo a lo establecido por el dueño.

3.3 Selección de materiales.

3.3.1 Sensores de temperatura y humedad relativa DHT22

El DHT22 es un módulo sensor de temperatura y humedad que en su interior incluye dos sensores, uno para medir la temperatura (termistor) y otro para la humedad ambiental (sensor capacitivo), ambos son comandados por un micro controlador el cual se encarga de tomar el valor de ambas magnitudes y digitalizarlas, de tal manera de que puedan ser enviadas a un MCU para ser decodificadas y mostradas al usuario.

Una particularidad de estos sensores es que la señal de salida es digital, por lo tanto la conexión es a pines digitales. Al Principio se decidió utilizar el sensor DHT11 para la realización de este proyecto, pero se vio descartado debido a algunas diferencias existentes en las especificaciones técnicas que no cumplían con lo requerido, como se puede observar en la (Tabla. 5)

La principal diferencia entre ambos es que el ciclo de operación es menor en el DHT11 que en el DHT22, sin embargo, el DHT22 tiene rangos de medida más amplios y de mayor resolución, a cambio de resultar más caro. Para hacer uso de estos sensores es necesario implementar la librería “DHT.h”, la cual se puede descargar de la página de Arduino.

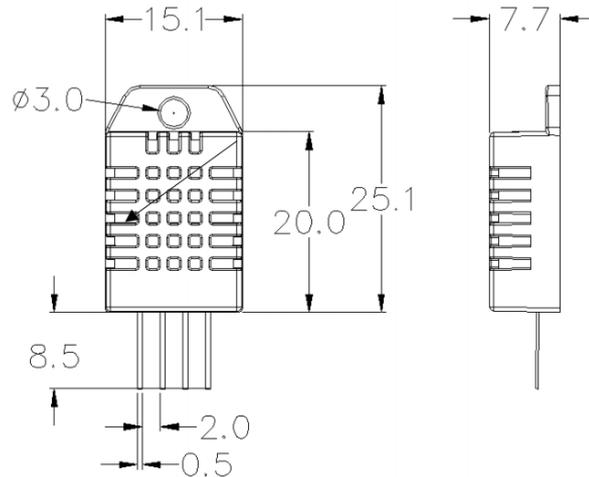


Figura 16. Pines de conexión sensor DHT22.

Fuente: (“Aosong Electronics Co, Ltd”, 2014)

En cuanto a la **Figura. 16** indica los pines de conexión del DHT22 con la siguiente secuencia: 1-2-3-4 (leyendo de izquierda a derecha).

Pines	Función
1	VDD – Power Supply
2	Data - Signal
3	Null
4	GND

Figura 17. Pines de conexión (DHT22)

Tabla 5
Especificaciones técnicas de los sensores DHT11 y DHT22.

SENSOR	DHT11	DHT22
Alimentación	$3Vdc \leq Vcc \leq 5Vdc$	$3.3Vdc \leq Vcc \leq 6Vdc$
Señal De Salida	Digital	Digital
Rango De Medida Temperatura	De 0 a 50 °C	De -40°C a 80 °C
Precisión Temperatura	± 2 °C	$<\pm 0.5$ °C
Resolución O Sensibilidad	0.1°C	0.1°C
Rango De Medida Humedad	De 20% a 90% RH	De 0 a 100% RH
Precisión Humedad	4% RH	2% RH
Resolución O Sensibilidad	1%RH	0.1%RH
Tiempo De Respuesta	1s	2s
Tamaño	12 x 15.5 x 5.5mm	14 x 18 x 5.5mm

Fuente: (“D-robotics & Aosong Electronics Co., Ltd”, 2010)

- **Protocolo de comunicación.-** El DHT22 (o AM3202) utiliza un bus simple de comunicación, un bus de una sola línea para la transmisión y recepción de datos, solo se necesita de un micro controlador para realizar la comunicación.

Cuando el bus se encuentra inactivo (sin transferencia de datos), éste se encuentra en estado alto (bus = VCC), la transferencia de datos es iniciada por el micro controlador el cual manda el bus a nivel bajo al menos por 18 milisegundos, transcurrido este tiempo, el micro controlador manda el bus a estado alto, en éste punto el micro queda en espera de la respuesta del sensor la cual tiene un tiempo de 20 a 40 micro segundos, es decir para iniciar la transferencia de datos, se debe poner el bus a nivel bajo por al menos 18 milisegundos (ver línea negra en la *figura. 18*) y luego mandarlo a nivel alto, una vez hecho esto esperaremos de 20 a 40 micro segundos la respuesta del sensor. (“Aosong Electronics Co, Ltd”, 2014)

- **Respuesta del sensor.-** Antes de que el DHT22 envíe algún dato, éste debe responder confirmando que ha recibido la petición de transmitir los datos de temperatura y humedad, esto lo hace mandando el bus a nivel bajo por 80 micro segundos y luego regresando el bus a nivel alto por otros 80 micro

segundos, una vez terminada la confirmación, empieza la transmisión de datos. (Ver línea gris en la *figura. 18*)

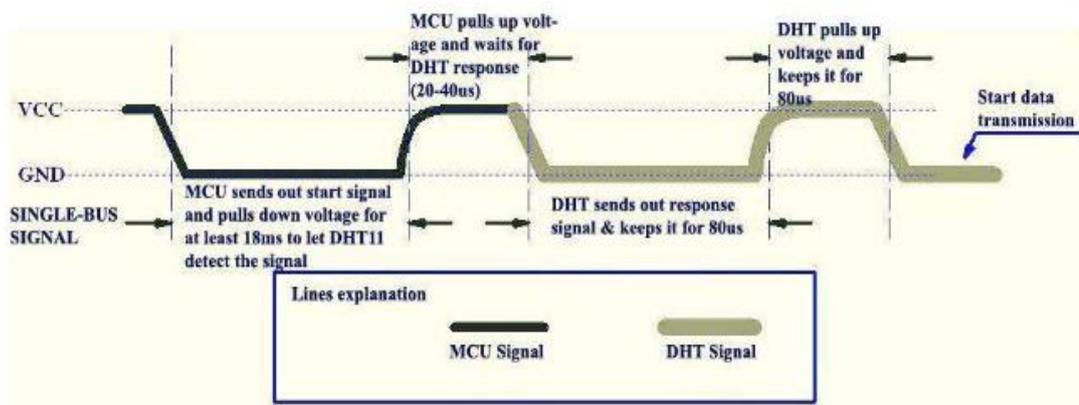


Figura 18. Petición de enviar datos

Fuente: ("Aosong Electronics Co, Ltd", 2014)

- **Transmisión de datos.-** Para ("Aosong Electronics Co, Ltd", *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module, 2014*), menciona que la transmisión de datos en el sensor DHT22 se realiza de la siguiente manera:

El sensor envía un tren de pulsos el cual debe de ser decodificado, el sensor envía 40 bits (5 bytes de información) es decir, suponiendo que se recibe el valor de; Humedad = 70.5% y temperatura = 30.4°C

Byte 0	% Humedad	70
Byte 1	% Humedad (decimales)	5
Byte 2	Temperatura C	30
Byte 3	Temperatura (decimales)	4
Byte 4	Checksum	

Figura 19. Valores recibidos por Byte.

Fuente: ("Aosong Electronics Co, Ltd", 2014)

Cada bit es separado por un pulso bajo que dura 50 micro segundos, después el sensor enviará un pulso alto y dependiendo de la duración de dicho pulso, se sabrá si lo que está enviando es un cero o un uno como se muestra en la siguiente imagen que corresponde al envío de un 1.

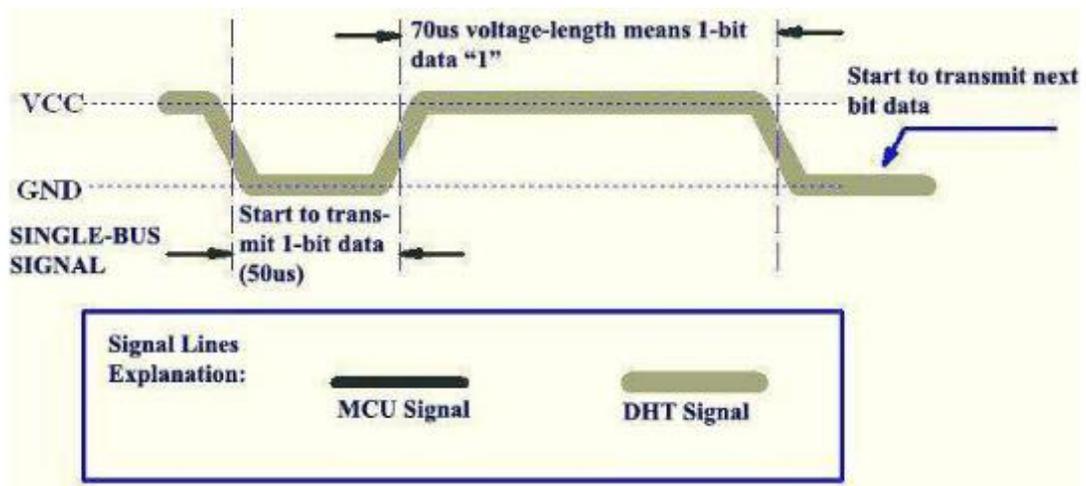


Figura 20. Inicio de transmisión de datos con 1 lógico.

Fuente: ("Aosong Electronics Co, Ltd", 2014)

En la imagen se puede ver que antes de enviar un bit, el sensor manda el bus a nivel bajo durante 50 micro segundos, esto lo hace con el fin de separar los bits y poder diferenciarlos, como se ve en la *figura. 20*, un pulso que dura 70 micro segundos o más, corresponde a un 1 lógico. En la siguiente imagen se observa la representación de un 0 lógico enviado por el sensor.

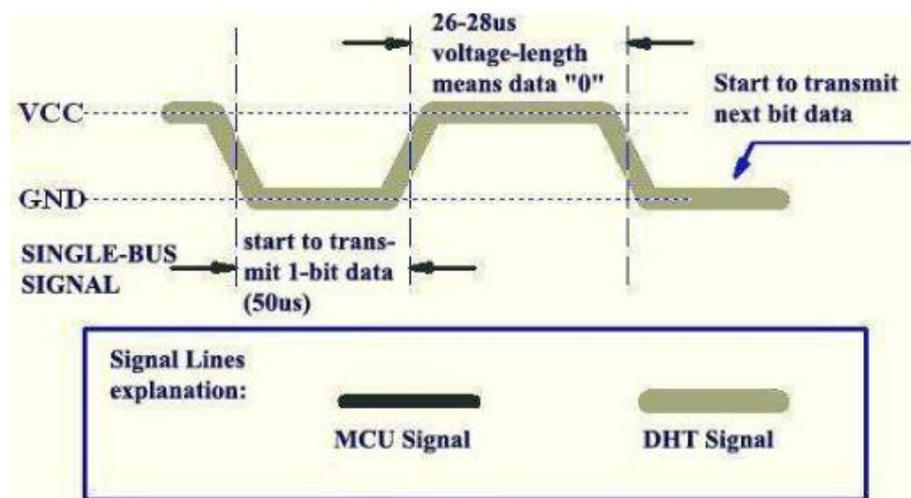


Figura 21. Inicio de transmisión de datos con 0 lógico.

Fuente: ("Aosong Electronics Co, Ltd", 2014)

Al inicio es visible un pulso bajo de 50 micro segundos seguido de un pulso alto de una duración de 26 a 28 micro segundos lo cual equivale que el sensor esté enviando un cero lógico. Ahora se entiende cómo es que el DHT22 se comunica con un micro controlador, en la siguiente imagen se observa parte de dicha comunicación. (pp. 8-9)

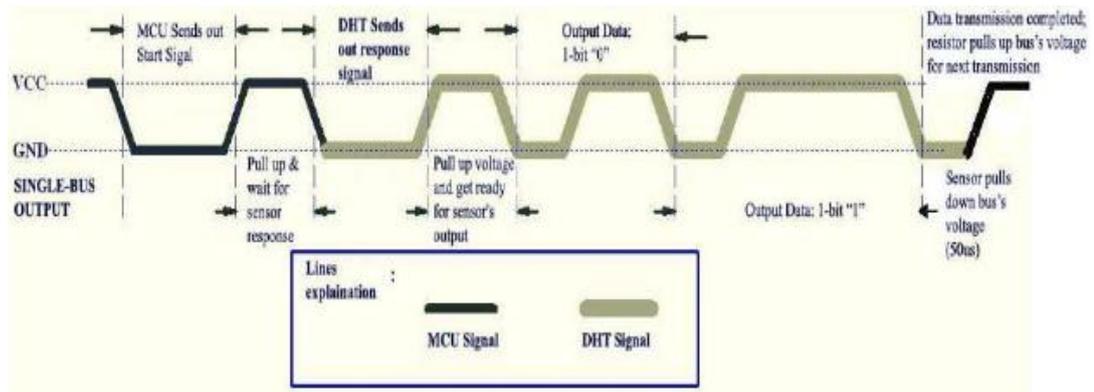


Figura 22. Transmisión de datos bit a bit sensor DHT22

Fuente: ("Aosong Electronics Co, Ltd", 2014)

Se escogió este sensor de temperatura debido a sus especificaciones técnicas adecuadas (*tabla 5*) para la operación de acuerdo a las necesidades del proyecto, una de las principales características por las que se escogió el sensor de temperatura DHT22 es por su capacidad de medir temperatura y humedad relativa al mismo tiempo, de esta forma en vez de utilizar dos sensores diferentes se hace uso únicamente de uno solo, además el rango de medición de su temperatura y humedad relativa es adecuado para la medición en el interior de un invernadero, también es compatible con Arduino y no necesita acondicionamiento de señal.

3.3.2 Sensor de humedad de suelo YL-69 & YL-38.

Es un sensor de humedad que se basa en la conductividad, pues tiene la capacidad de medir la humedad del suelo, mediante la aplicación de una pequeña tensión entre los terminales del módulo YL-69, el cual hace pasar una corriente que depende básicamente de la resistencia que se genera en el suelo y esta depende mucho de la humedad. Al aumentar la humedad la corriente crece y al bajar la corriente disminuye.

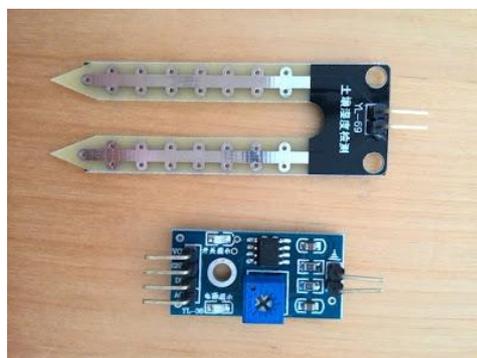


Figura 23. Módulo YL-69 y YL-38

Fuente: ("Elektronik", 2015)

Acompañado del módulo YL-38 que contiene un amplificador operacional LM393 (c.i comparador), se encarga de transformar la conductividad registrada por el módulo YL-69 entre sus puntales, a un valor analógico o digital que podrá ser leído por Arduino.

El módulo YL-38 (*figura. 24*) tiene 2 pines de conexión hacia el módulo YL-69, consta de 2 pines para la alimentación VCC: 3,3 a 5V y GND=0V; y 2 pines para datos de salida D0: interfaz de salida digital (H=1 / l=0) y A0= interfaz de salida analógica.

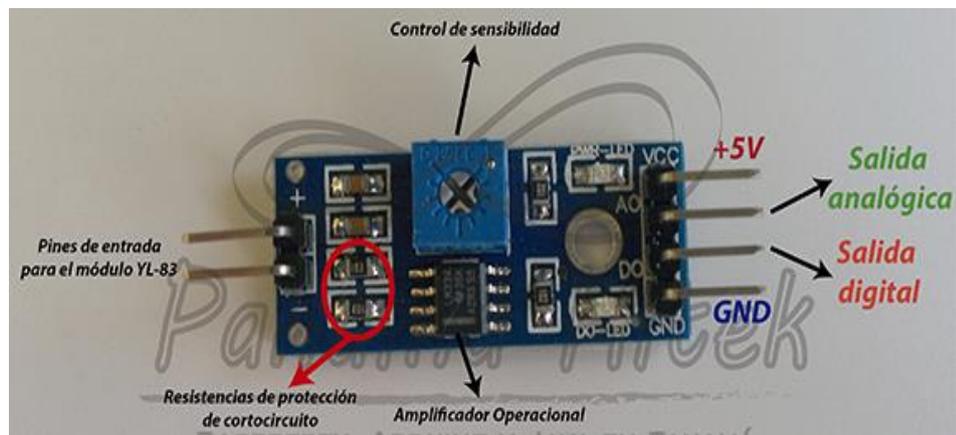


Figura 24. Partes del módulo YL-38.

Fuente: ("Panama Hitek", 2014)

En este sensor están presentes dos salidas una analógica y otra digital, eventualmente se usará la salida analógica por lo que el nivel de voltaje dependerá directamente de cuanta humedad exista en el suelo. Es decir, dependiendo de cuanta conductividad (producto del agua en el suelo) posea entre las puntas del módulo, así variará el valor entregado por Arduino (entre 0 y 1023).

Se hizo uso de este sensor debido a que es muy útil para proyectos donde se requiera monitorear las condiciones del suelo, aparte de que es económico y de fácil uso, su diseño favorece para adaptarlo a un mando inalámbrico, conjuntamente de ser compatible con Arduino facilitando la comunicación entre el sensor y el microcontrolador.

La *Tabla. 6* muestra las especificaciones técnicas del sensor expuesto.

Tabla 6
Especificaciones técnicas del sensor de humedad.

ESPECIFICACIONES	MODULO YL-38
Voltaje de entrada	3.3 – 5 Vcd
Voltaje de salida	0 – 4.2 V
Corriente	35 mA
A0	Salida analógica, entrega una tensión proporcional a la humedad.
D0	Salida digital, permite ajustar cuándo el nivel lógico en esta salida pasa de bajo a alto mediante el potenciómetro.
Dimensiones YL-69	60 X 30 mm
Dimensiones YL-38	30 X 16 mm

Fuente: (“Talos Electronics”, sf)

3.3.3 Arduino Mega

Dentro de la diversidad existente es la placa más grande, con el mayor número de pines digitales y analógicos. Su característica fundamental es la compatibilidad que tiene con todos los demás componentes utilizados en el presente proyecto, al pertenecer la mayoría de elementos a su misma casa desarrolladora por lo que esta placa se encargara de ser la fuente principal donde todos los datos serán recopilados para después ser presentados en la pantalla LCD y ser enviados vía GSM al teléfono celular seleccionado.



Figura 25. Arduino Mega 2560.

Fuente: (“Arduino”, 2016).

El Arduino Mega es una placa microcontroladora basada en el ATmega 2560, cuenta con 54 pines digitales de entrada/salida, adecuados para los sensores que tienen una señal de salida digital, además consta de varios pines de alimentación de 5V y de GND, por lo que admite varias conexiones. Esto va a ser necesario puesto que se debe alimentar la tarjeta GSM y el módulo Rf (receptor), facilitando el diseño al momento de armar por la razón que cada elemento necesita de un pin de alimentación y otro de tierra.

A parte de esto, la placa Arduino Mega 2560 puede ser alimentada a través de un ordenador o bien usando una fuente externa. Si se elige la alimentación por ordenador, esta conexión también une por el puerto serie 0 el ordenador y la placa Arduino. De elegirse una alimentación externa, el puerto serie 0 puede ser utilizado a través de sus pines correspondientes (TX0 y RX0) al igual que el resto de los puertos serie disponibles (4 en total). La placa puede ser reseteada físicamente, usando el botón disponible o en la programación. Cada vez que es conectada a un ordenador también se resetea.

Se ha escogido la placa Arduino Mega 2560 (*Figura. 25*), debido a que es una placa completa y se ajusta a las necesidades permitiendo enlazar todos los elementos y que estos se comuniquen entre sí gracias a su comunicación serial debido a que los elementos utilizados en este proyecto son pertenecientes a la familia Arduino o compatible con esta. Arduino presenta un lenguaje de programación de código abierto, fácil y lo suficientemente flexible para realizar cualquier tipo de proyecto, cabe mencionar también que su precio en el mercado es de bajo costo.

En la *tabla. 7* se indica un resumen de las características de la placa Arduino Mega 2560, el esquemático de esta placa con sus pines se puede encontrar en el Anexo. A

Tabla 7
Características de Arduino Mega 2560.

Microcontrolador	ATmega 2560
Voltaje de Funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 - 12V
Voltaje de entrada (limite)	6 - 20V
Pines E/S digitales	54 (15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Intensidad por Pin	40mA
Intensidad en Pin 3.3V	50mA
Memoria Flash	256 Kb de los cuales 8 Kb las usa el gestor de arranque (bootloader)
SRAM	8 Kb
EEPROM	4 Kb
Velocidad de reloj	16 MHz
Puerto serie	4

Fuente: ("Arduino", 2016)

3.3.4 Arduino Nano.

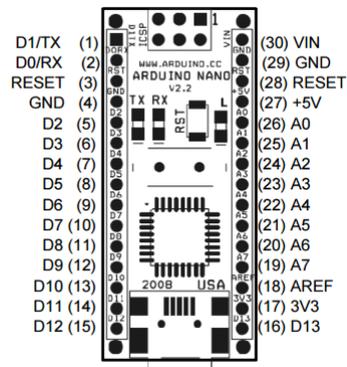


Figura 26. Estructura del Arduino Nano

Fuente: ("Arduino", 2016).

La placa Arduino Nano (Figura. 26) es una placa de prueba pequeña y completa basada en el ATmega 328 o el ATmega 168, carece de un Jack de alimentación DC por lo que funciona con un cable Mini-B USB en lugar de uno estándar, para una fuente externa no regulada de 6-20V se puede hacer uso del (pin 30) o de 5V de una fuente externa regulada por el (pin 27). La fuente de alimentación selecciona automáticamente a aquella de tensión más alta.

Posee 14 pines digitales (pines del 1 – 16, exceptuando los pines 3 y 4) los cuales pueden ser usados como entrada/salida usando sus respectivas funciones `pinMode ()`, `digitalWrite ()` y `digitalRead ()`. Cada pin opera con 5V y puede proveer o recibir un máximo de 40 mA. Respecto a sus entradas analógicas el Nano posee 8 de estas con una resolución de 10 bits (1024 valores diferentes), por defecto miden entre 5V y masa.

El criterio de selección para esta placa microcontroladora, se orientó a que sus características técnicas son las adecuadas, a pesar de algunas desventajas, como un número menos de puertos de entrada/salida o un menor espacio en la memoria es prácticamente idéntico al Arduino Mega. Posee los pines digitales y analógicos suficientes para realizar el sensor inalámbrico de humedad de suelo, compatible con el módulo de RF para tener una adecuada comunicación a través de sus puertos seriales, gracias a la librería `SoftwareSerial` permite llevar a cabo una comunicación serie usando cualquiera de los pines digitales del Nano, aparte su tamaño favorece para realizar un diseño portátil y su costo es económico.

En la tabla. 8 se puede apreciar las características más importantes del Arduino nano.

Tabla 8
Características de Arduino nano

Microcontrolador	ATmega168 o ATmega328
Voltaje de Funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 - 12 V
Voltaje de entrada (limite)	6 -20 V
Pines E/S digitales	14 (6 proporcionan salida PWM)

Pines de entrada analógica	8 (pines del 19 – 26)
Intensidad por Pin	40 mA
Memoria Flash	16 Kb (ATmega168) o 32 Kb (ATmega328) de los cuales 2 Kb son usados para bootloader
SRAM	1 Kb (ATmega168) o 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) o 1 KB (ATmega328)
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente: ("Arduino", 2016)

3.3.5 Módulos RF de 433 MHz.

Se decidió utilizar estos módulos RF por el motivo que permiten comunicar dos arduinos seleccionados con anterioridad; Arduino Nano y el Arduino Mega a través de una comunicación inalámbrica unidireccional, en un solo canal; esto se debe a que trabajan con un enlace de datos simplex.

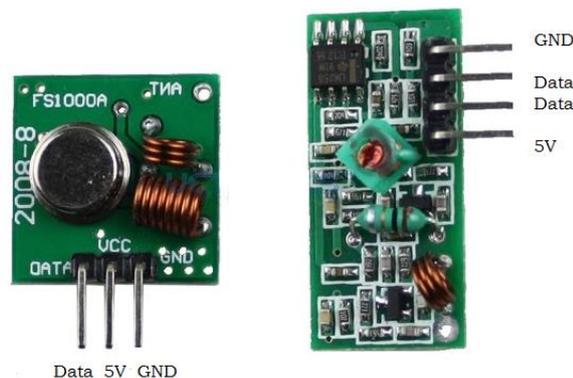


Figura 27. Pines de los Módulos RF de 433Mhz.

Fuente: ("ROBOLOGS", 2015)

Estos módulos Rf utilizan un esquema de modulación OOK (ASK), quiere decir que la señal portadora que por lo general es una onda sinusoidal, es encendida o apagada para representar los "unos" y "ceros" lógicos en el flujo de datos. Su frecuencia de trabajo es de 433 MHz, debido a que es una banda de libre uso.

Transmiten información en un solo sentido, resultan extremadamente útiles en aplicaciones sencillas que no requieran comunicación bidireccional. Los módulos se pueden conectar a cualquier microcontrolador y/o circuitos codificadores y decodificadores, permitiéndonos tener un enlace Rf funcional en muy poco tiempo.

En la *figura. 27* se muestran un emisor (FS1000A) y receptor (XY-MK-5V) con sus respectivos pines de conexión, el receptor posee 4 pines, dos de ellos etiquetados como datos, es necesario solo utilizar uno al momento de conectar. Se consideró seleccionar estos módulos Rf por su bajo costo que poseen, son ideales para transmisión Rf, fáciles de usar y son compatibles con cualquier microcontrolador en este caso Arduino.

En las tablas. 9 y 10 se encuentran las características principales que poseen el emisor y transmisor Rf.

Tabla 9
Características del módulo transmisor.

Voltaje de operación	3-12 V
Oscilador	SAW
Modulación	ASK/OOK
Frecuencia de operación	433.92 MHz
Potencia	25 mW
Error de frecuencia	+/- 150 KHz máximo
Velocidad de transmisión	< 10 Kbps
Temperatura de operación	-40 a +80 °C

Fuente: ("GeekFactory", sf)

Para poder saber cuánta es la potencia del transmisor que otorga el módulo FS1000A, se debe medir en dBm. (Bolaños, 2011) afirma: "La unidad de medida

usada en telecomunicaciones es el dBm, para expresar la potencia absoluta mediante una relación logarítmica” (p. 2).

(Bolaños, Modulos de Rf para radiocontrol, 2011), menciona que: “El dBm es la cantidad de potencia que tenemos expresada en decibelios tomando como referencia 1mW” (p. 2). La fórmula de dBm dada es la siguiente:

$$dBm = 10 \times \log \frac{P}{1mW}$$

Haciendo uso de esta fórmula para saber cuál es el valor de potencia de transmisión, queda de la siguiente manera.

$$dBm = 10 \times \log \frac{P}{1mW}$$

$$dBm = 10 \times \log \frac{25mW}{1mW}$$

$$dBm = 10 \times \log 25$$

$$dBm = 13,97$$

El modulo Rf de transmisión nos otorga una potencia de 13 dBm,

Dadas las investigaciones realizadas por (Bolaños, Modulos de Rf para radiocontrol, 2011), indica que:

Se debe buscar que el transmisor de cualquier circuito de comunicación siempre envíe su señal con los dBm positivos, es decir que mientras más dBm tenga la transmisión será más eficaz. En cambio, en el receptor es todo lo contrario, esto se refiere a la sensibilidad de este para detectar la señal de transmisión, mientras más dBm negativos se tenga más sensible será el receptor. (p. 3)

La sensibilidad es un punto clave para trabajar con módulos RF, muestra cuanto es el alcance del sistema, al ser capaz el receptor de acoger transmisiones débiles.

Tabla 10
Características del módulo receptor.

Voltaje de operación	4.5-5.5 V
Corriente de operación	5.5 mA
Principio de funcionamiento	Receptor súper regenerativo
Modulación	ASK/OOK
Frecuencia de operación	433.92 MHz
Sensibilidad	-100 dBm
Velocidad de transmisión	< 9.6 Kbps
Temperatura de operación	-20 a +80 °C

Fuente: ("GeekFactory", sf)

Para el receptor en las especificaciones muestra que su sensibilidad es de -100 dBm siendo esto favorable. Como estos módulos no disponen de un filtro, poseen gran cantidad de ruido al transmitir por lo que si se desea una comunicación robusta se tendrá que implementar por software, para ello se debe utilizar la librería Virtual Wire que se encuentra fácilmente en la web. Esta librería mejora la calidad de la comunicación, gestionando las funciones de los módulos Rf como envío y recepción de datos, el mensaje, la longitud del mensaje y la comprobación de errores.

3.3.6 Módulo GSM: Tarjeta SIM 900

Existen varias formas de conectar y que una placa microcontroladora logre comunicarse al exterior, utilizando herramientas como Ethernet, wifi, pero puede ocurrir que alguna vez no sea posible el acceso a ninguna de estas redes o no se desee depender de ellas. Para este tipo de propósitos un módulo GSM/GPRS (*figura. 28*) con una tarjeta SIM es el adecuado.



Figura 28. Módulo GSM/GPRS SIM 900

Fuente: ("Prometec", Los módulos GSM/GPRS, 2016)

Esta tarjeta basada en el módulo SIM900 de SIMCOM, compatible con Arduino y sus clones, proporciona una manera de comunicarse a través de la red de telefonía celular GSM permitiendo enviar y recibir; llamadas telefónicas, mensajes de texto (SMS), incluso hacer uso de internet, todo esto controlado por vía UART (comunicación serial), haciendo uso de los comandos AT. En la parte posterior se incluye un receptáculo estándar para el chip de cualquier operador de telefonía celular.



Figura 29. Receptáculo estándar

Fuente: ("Prometec", 2016)

La razón escogida para hacer uso de este módulo GSM, se debe a que con este periférico el Arduino Mega será como si fuese un teléfono móvil, permitiendo usar la red telefónica y poder enviar SMS con los datos que se deseen a un móvil en cualquier lugar donde este se encuentre (siempre y cuando exista cobertura celular). El SIM 900 posee las cuatro bandas de frecuencia internacional GSM, lo que garantiza la compatibilidad del dispositivo con la mayoría de operadoras de telefonía a nivel global, aparte de que es compatible con cualquier microcontrolador

especialmente con la placa a utilizar (Arduino) y su costo en el mercado es totalmente accesible.

En la siguiente tabla podemos ver las características y especificaciones más relevantes del módulo GSM SIM 900.

Tabla 11
Especificaciones módulo GSM/GPRS SIM 900

Quad-Band 850/900/1800/1900 MHz.	Redes GSM en todos los países del mundo.
GPRS clase B	Estación móvil.
Control a través de comandos AT	Comandos estándar: GSM 07.07 y 07.05. Enhanced Comandos: Comandos AT SIMCOM.
Servicio de mensajes cortos	Puede enviar pequeñas cantidades de datos a través de la red (ASCII o hexadecimal).
TCP Embedded / pila UDP	Permite cargar datos a un servidor web.
Bajo consumo de energía	(Modo de reposo) 1,5 mA.
RTC	(Reloj de tiempo real) compatible.
Rango de temperatura Industrial	de - 40 ° C a 85 ° C
Antena de 50mm	GSM Multi-banda.

Fuente: ("GeekFactory", sf)

3.4 Funcionamiento del sistema de monitoreo con alarma vía GSM.

Se ha procedido a dividir en etapas a todo el sistema para que de esta manera sea más fácil realizar una breve descripción del funcionamiento, también resulta sencillo encontrar errores, en caso de existir una falla cuando se realicen las respectivas pruebas. Se ha procedido a dividir en:

- a. Sensores
- b. Comunicación GSM
- c. Comunicación RF

a. Sensores.

La ventaja que presenta el DHT 22 es que podemos medir dos variables físicas diferentes (temperatura y humedad relativa) en un solo sensor. El monitoreo de temperatura y humedad relativa interna del invernadero, se basa en la lectura de los sensores DHT 22 (*figura.16*). Para él envío de alerta por mensaje de texto vía GSM, se darán bajo las condiciones que se programen posteriormente en el microcontrolador Arduino, pero se tomara como base los datos obtenidos de las mediciones realizadas por los sensores DHT22.

Si cualquiera de las dos variables a medir en el monitoreo, se detecta que el nivel es superior o inferior al establecido en el valor de consigna (Set-Point (SP)), dependiendo cual sea el caso (*Tabla. 12*), se enviará una alerta por mensaje de texto.

Tabla 12
Casos al sobrepasar los niveles del (SP).

Caso 1	$T > \text{Max} - \text{Hr} > \text{Max}$
Caso 2	$T > \text{Max} - \text{Hr} = \text{E}$
Caso 3	$T > \text{Max} - \text{Hr} < \text{Min}$
Caso 4	$T = \text{E} - \text{Hr} > \text{Max}$
Caso 5	$T = \text{E} - \text{Hr} = \text{E}$
Caso 6	$T = \text{E} - \text{Hr} < \text{Min}$
Caso 7	$T < \text{Min} - \text{Hr} > \text{Max}$
Caso 8	$T < \text{Min} - \text{Hr} = \text{E}$
Caso 9	$T < \text{Min} - \text{Hr} < \text{Min}$

E= Estable

T= Temperatura	Min= 15°C	Max= 20°C
Hr= Humedad Relativa	Min= 60%	Max= 75%
SP (Set-Point)		

Para una medición más precisa se utilizaron 4 sensores, distribuidos en el centro del invernadero, permitiendo ampliar el rango de medición expandiendo los DHT22 en distintos puntos.

a.1 Medición humedad del suelo.

Para la lectura de la humedad del suelo en el invernadero se basa en el sensor YL-69 (ver Figura. 23) acompañado de su módulo YL-38 (ver Figura. 24), que se encarga de transformar los datos recogidos por el módulo YL-69 a un valor analógico o digital que podrá ser leído por Arduino.

Este sensor se realizó como un extra para el proyecto por pedido del dueño del invernadero, debido a que tenía la necesidad de saber cuan húmeda se encuentra la tierra, así evitar el ahogamiento o la marchitez de los cultivos, por lo cual se adaptó para que sea un sensor inalámbrico y ser trasladado a cualquier lugar del área del invernadero que se desee saber el estado de humedad en las plantaciones.



Figura 30. Sensor humedad de suelo inalámbrico.

En este caso no se tendrá un valor establecido de set-point, el sensor inalámbrico solo se va a dedicar a leer la cantidad de humedad en la tierra permitiendo observar dichos valores en porcentaje. En la *tabla. 4* se tiene los respectivos valores en porcentaje a la equivalencia de si la tierra se encuentra en estado seco o húmedo. Esta información se visualizará en la pantalla LCD de 2X16 (ver Figura. 31) instalada en el mismo sensor.



Figura 31. LCD del sensor humedad suelo.

Va a estar conectado dicho sensor a un módulo de comunicación RF transmisor (FS 1000A) para que envíe los datos recopilados hacia el receptor (XY-MK-5V) que va a estar conectado a la placa principal, de esta manera la información que se vea en la LCD del sensor de humedad de suelo también se verá en la LCD de la placa principal. Cabe mencionar que la humedad del suelo está relacionada directamente con la humedad relativa.

b. Comunicación GSM.

Para poder realizar la comunicación GSM, la tarjeta SIM 900 es la cual se utilizó, quien tiene la funcionalidad de un teléfono celular permitiendo hacer uso de la red de telefonía móvil, quiere decir que será necesaria una tarjeta SIM prepago para poder trabajar con este módulo GSM.

Por esta razón el módulo GSM se va a encargar de gestionar el envío de alerta mediante SMS, bajo las condiciones del valor de consigna (SP) (ver Tabla.12) pre-programados en el microcontrolador principal. Por ello una vez que los valores del (SP) se encuentren fuera de los niveles permitidos, se procederá a enviar de esta manera un mensaje de texto en forma de aviso al teléfono celular del dueño del invernadero, dando a conocer en qué niveles se encuentran las variables a monitorear (temperatura y humedad relativa) y de esta manera se realicen las acciones necesarias (*abrir o cerrar ventanas, iniciar o suspender el riego a los cultivos*) así estabilizar las variables ambientales y evitar que los cultivos crezcan en condiciones ambientales no adecuadas.

Los mensajes de texto que se envían dependen directamente del caso, en que los valores del (SP) se encuentren (*tabla.12*). Por lo que se procederá a enviar lo siguiente

Tabla 13
Mensajes a enviar por el GSM dependiendo del caso de variación del set-point.

Casos de acuerdo al (SP)	Mensaje a enviar
CASO 1	Temperatura muy alta: ## - Humedad muy alta: ##
CASO 2	Temperatura muy alta: ## – Humedad normal: ##
CASO 3	Temperatura muy alta: ## – Humedad muy baja: ##
CASO 4	Temperatura normal: ## – Humedad muy alta: ##
CASO 5	Temperatura normal: ## – Humedad normal: ##
CASO 6	Temperatura normal: ## – Humedad muy baja: ##
CASO 7	Temperatura muy baja: ## – Humedad muy alta: ##
CASO 8	Temperatura muy baja: ## – Humedad normal: ##
CASO 9	Temperatura muy baja: ## – Humedad muy baja: ##

El simbolo (##) significa que tomara el valor de la temperatura y humedad relativa que en ese momento este leyendo el sensor y lo enviara por mensaje de texto. Un ejemplo de como se ve en el telefono celular el SMS podemos observar en la (Figura. 32)



Figura 32. Alerta por Mensaje de texto

c. Comunicación RF

La comunicación RF se basa en los módulos; transmisor (FS 1000A) y receptor (XY-MK-5V), se encargan de realizar una comunicación inalámbrica de datos simplex entre el sensor de humedad de suelo y la placa principal, es decir entre las placas microcontroladoras Arduino Nano y Arduino Mega. En esta etapa no hay mucho que explicar con respecto a su funcionamiento, debido a que lo único que se debe realizar es una transmisión de datos unidireccional por radio frecuencia, por lo que los módulos realizan la mayoría del trabajo.

Como se conoce, la comunicación se realiza en una frecuencia de 433Mhz, debido a que es una banda de comunicación de libre uso. Al Arduino Nano se le conecto el módulo transmisor (FS 1000A), como este micro es aquel que recolecta los datos que lee el sensor YL-69 y YL-38, utilizara esta información para enviarla codificada hacia el módulo receptor (XY-MK-5V) conectado al Arduino Mega para que este decodifique la información y pueda presentarla en su pantalla LCD.

De esta manera lo que se visualice en la pantalla del sensor de humedad de tierra también se pueda observar en la pantalla principal.

El alcance que tienen estos módulos de transmisión RF dependen del voltaje de alimentación que varía de 5v a 12v, mientras más alto sea el voltaje de alimentación, mayor será la transmisión. Otros factores también son los que influyen la distancia de transmisión como obstáculos o interferencias en el ambiente, pues estos módulos Rf reciben mucho ruido al trabajar, para ello se debe buscar un método para filtrar y

mejorar la comunicación. Como se ha mencionado con anterioridad se recomienda utilizar la librería Virtual Wire en la programación, esta se encarga de gestionar las funciones de los módulos Rf como envío y recepción de datos, la longitud del mensaje y la comprobación de errores logrando tener una comunicación más robusta.

3.5 Diagrama de bloques del sistema.

Para una mejor comprensión y explicación se ha procedido a representar el sistema completo mediante dos diagramas de bloques en las *figuras. 33 y 34*. En el primer diagrama de bloques se observará de una manera global las partes importantes del sistema que lo componen, mientras que en el segundo diagrama de bloques se encontrara todo esto, pero de una manera más detallada y con su respectiva explicación.

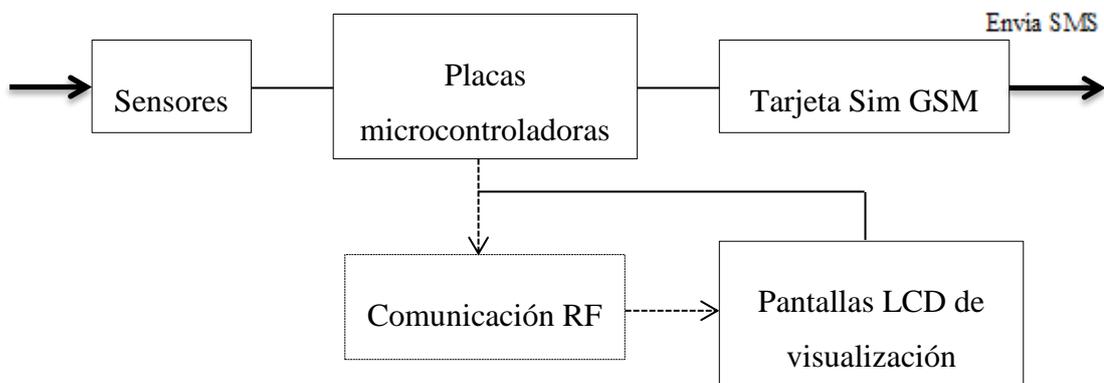


Figura 33. Diagrama de bloques del funcionamiento.

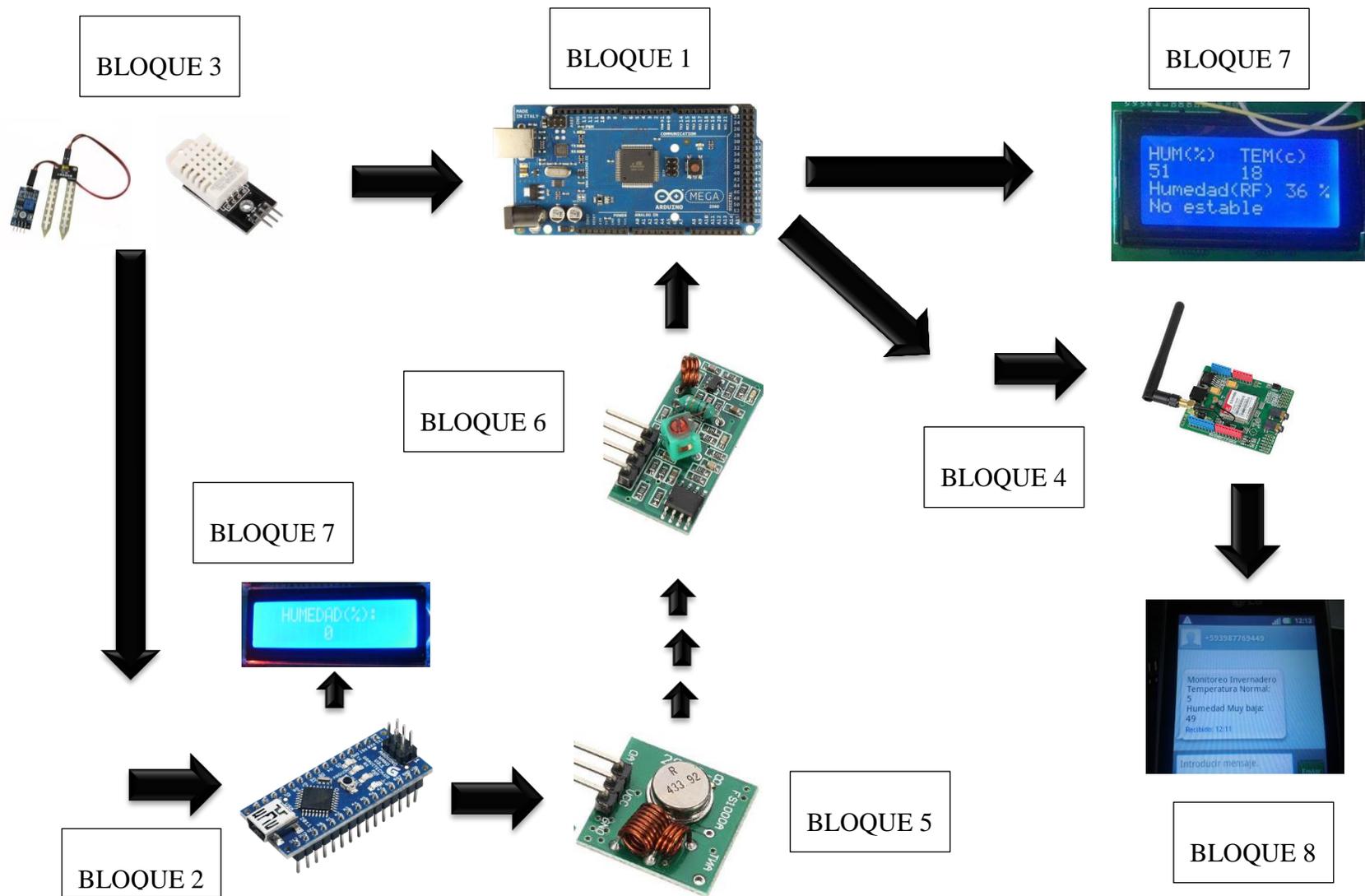


Figura 34. Diagrama por bloques del conexionado de elementos del sistema

- **Bloque 1.-** Representa al Arduino Mega: utilizado para este proyecto como el cerebro primordial de todo el sistema. Contiene la programación principal, por lo que es el encargado de controlar el trabajo que deben realizar los sensores de temperatura, humedad relativa, gestionar la comunicación Rf (receptor) y el estado de alarma vía GSM. Aparte también se encarga de mostrar todos los datos en el LCD principal (Bloque 7).
- **Bloque 2.-** Arduino Nano: es el encargado de controlar el trabajo del sensor de humedad de suelo, como también la comunicación Rf (emisor) para que estos datos sean enviados inalámbricamente hacia el bloque 1 y puedan ser mostrados en la pantalla principal.
- **Bloque 3.-** Sensores: se utilizan los sensores de temperatura (dht22), humedad relativa (dht22), humedad de suelo (YI-69 y YI-38) que se encargan de enviar datos hacia el Arduino Mega. En el caso del sensor de suelo envía primero sus datos hacia el Arduino Nano para finalmente enviar por medio de comunicación Rf estos datos al Mega.
- **Bloque 4.-** Tarjeta Sim 900 GSM: envía un aviso de alerta por medio de la red de telefonía celular GSM, un mensaje de texto (SMS) advirtiéndolo (dependiendo los casos (*tabla.13*), si las variables físicas; temperatura o humedad relativa, se encuentran fuera de los rangos del valor de consigna (SP), pre programado en el bloque 1.
- **Bloque 5.-** Modulo Rf (transmisor): se encarga de enviar los datos recolectados por el sensor de suelo y codificados por el Arduino Nano hacia el bloque 6.
- **Bloque 6.-** Modulo Rf (receptor): recibe la información enviada por el módulo Rf (transmisor), para después proceder a decodificar por medio del microcontrolador Arduino Mega y poder visualizar estos datos en el LCD principal.
- **Bloque 7.-** Pantallas LCD: permiten visualizar la información del sistema de monitoreo. Están presentes dos pantallas; una principal que está conectada al Arduino Mega y una secundaria conectada al Arduino Nano. La pantalla secundaria muestra el porcentaje de humedad de suelo obtenida por el sensor.
- **Bloque 8.-** Teléfono celular: dispositivo móvil que portara el dueño del invernadero, donde se enviarán los SMS de alerta.

Una vez realizada la explicación de cómo trabaja el proyecto propuesto, se procederá a revisar y detallar cómo se realizó el presente cometido hasta llegar a tener el sistema de monitoreo completo correctamente funcionando.

3.6 Entorno de desarrollo (Software).

Antes de empezar con la explicación de la programación que es parte importante en el diseño y construcción del proyecto, se explicara el tipo de software que Arduino utiliza y el que se ha manejado para realizar los distintos códigos de programación que ha dado vida al sistema de monitoreo con alarma vía GSM.

Para proceder con la programación de las placas es necesario primero obtener el software de Arduino que es un (IDE), entorno de desarrollo integrado (siglas en inglés de Integrated Development Environment). El cual es un programa compuesto por un conjunto de herramientas de programación. El IDE de Arduino es un entorno de programación que consiste en; editor de código, un compilador, un depurador y constructor de interfaz gráfica (GUI). Aparte de incorporar las herramientas para cargar el programa compilado en la memoria flash del hardware, es decir en las diferentes placas que Arduino tiene.

Una ventaja de Arduino es que es una plataforma de hardware y software libre, se puede obtener de forma gratuita de la página (www.arduino.cc), dispone de versiones para Windows y Mac como también para Linux, en la *figura. 34* está el aspecto del entorno de programación. La principal característica de este software y del lenguaje de programación es su sencillez y facilidad de uso. Arduino posee su propio lenguaje de programación basado en C++, es considerado como un lenguaje de nivel medio.

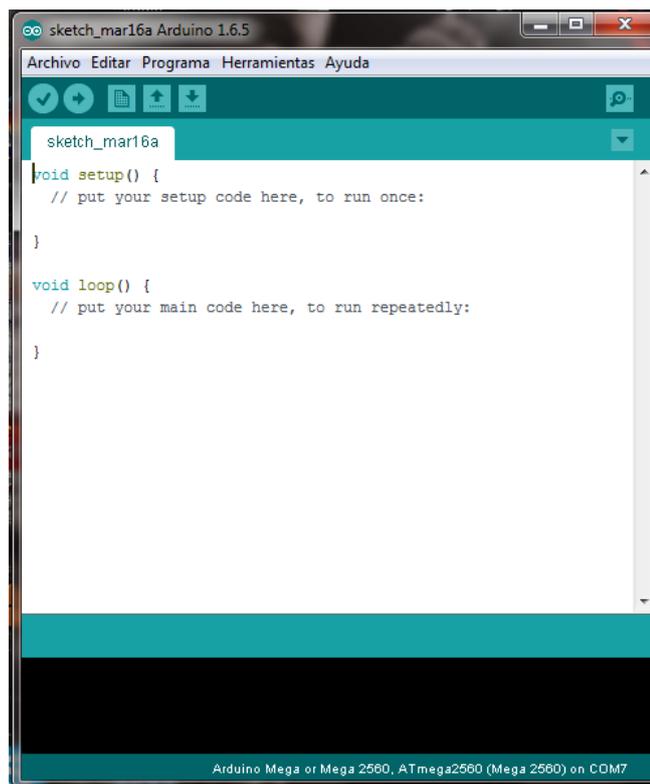


Figura 35. Entorno de desarrollo

3.6.1 Estructura básica de un programa.

La estructura básica de programación divide la ejecución en dos partes: void setup y void loop.

Void Setup () constituye la preparación del programa, es decir aquí se incluye la declaración de variables, librerías y se trata de la primera función que se ejecuta en el programa. Esta función se ejecuta una única vez y es empleada para configurar el pinMode (ej. si un determinado pin digital es de entrada o salida) e inicializar la comunicación serie.

Void Loop () es la ejecución del programa, aquí se dan las ordenes de lo que se desea que el microcontrolador realice, en pocas palabras incluye el código a ser ejecutado continuamente (leyendo las entradas de la placa, salidas). Cada instrucción va a terminar con ; y los comentarios se indicarán con //

3.7 Instalación del software.

Una vez descargado el instalador IDE de la página principal de Arduino se procede a realizar su respectiva instalación, siguiendo los siguientes pasos:

1.- El instalador que descarguemos de la página principal de Arduino vendrá en un

archivo (. Zip) comprimido de esta manera: , por lo que procedemos a descomprimirlo.

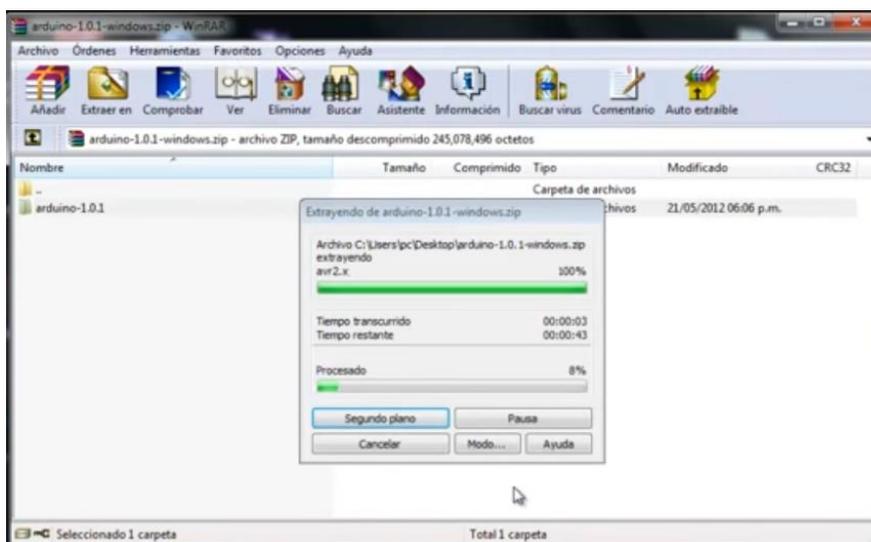


Figura 36. Archivo. Zip descomprimido.

2.- Proceder a abrir la carpeta donde se descomprima el archivo .Zip, en este caso el nombre de carpeta es Arduino 1.6.1 y la abrimos.



Buscar el siguiente icono;  dar click derecho, seleccionar ejecutar como administrador y dar click izquierdo.

3.- Aparecera una recuadro con los términos de la licencia de Arduino, dar click izquierdo en Aceptar términos (I Agree).

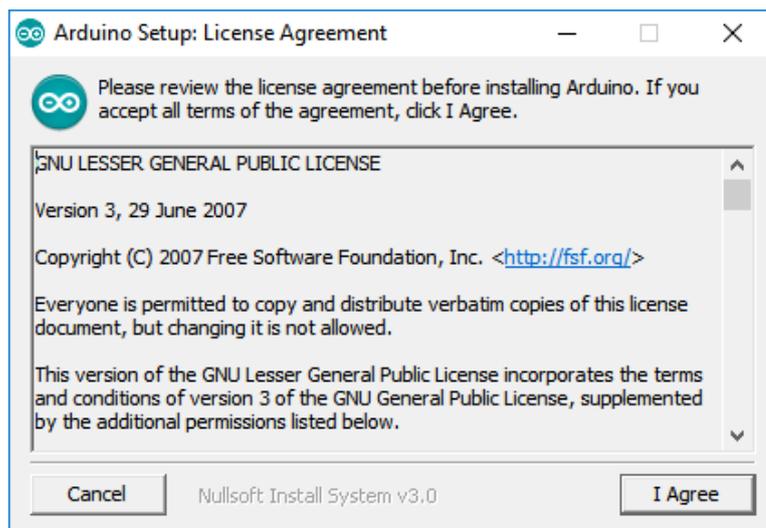


Figura 37. Términos de la licencia de Arduino.

4.- Una segunda ventana se desplegará con las opciones de instalación, seleccionamos todas las opciones, se marcarán con un visto y click izquierdo en siguiente.

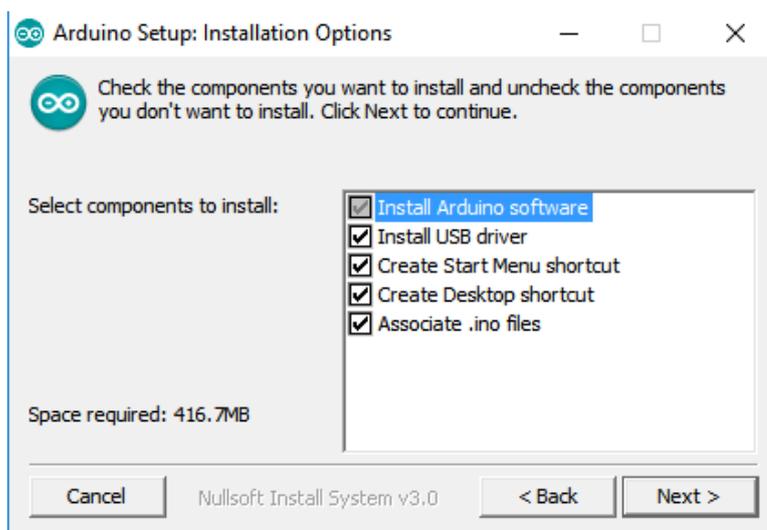


Figura 38. Opciones de instalación.

5.- En la siguiente ventana aparecerá el destino de la carpeta donde el software se instalará, se puede optar por cambiar la dirección de destinatario, si no es ese el caso, dejar la que está por default y click izquierdo a Instalar.

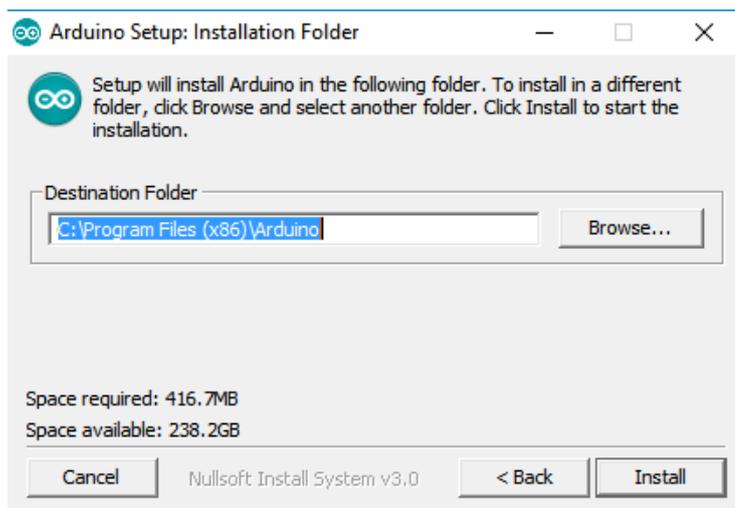


Figura 39. Carpeta de destino.

6.- Si sale un recuadro pidiendo permiso para instalar dispositivos extras, procedemos a dar click izquierdo en instalar.

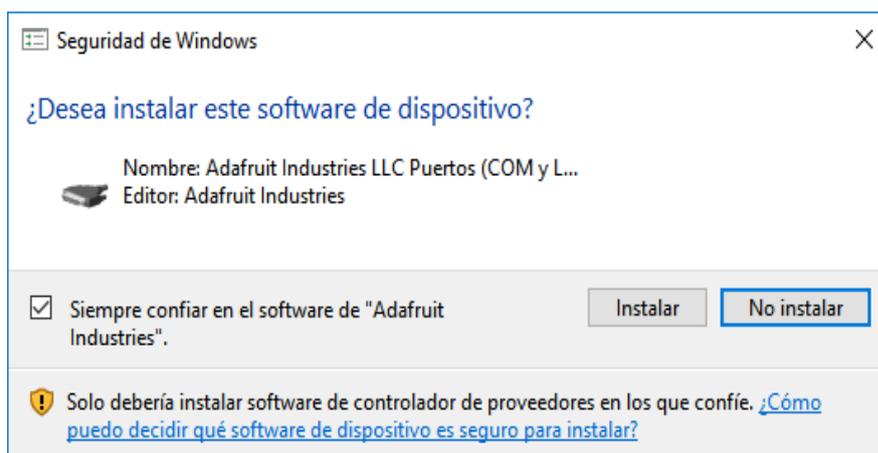


Figura 40. Instalación de puertos COM.

7.- Una vez el programe termine la instalación, dará un aviso que la instalación está completa y click izquierdo en cerrar. El programa no necesita de ningún crack extra por lo que una vez realizados todos los pasos, el entorno de desarrollo de Arduino estará listo para usarse.

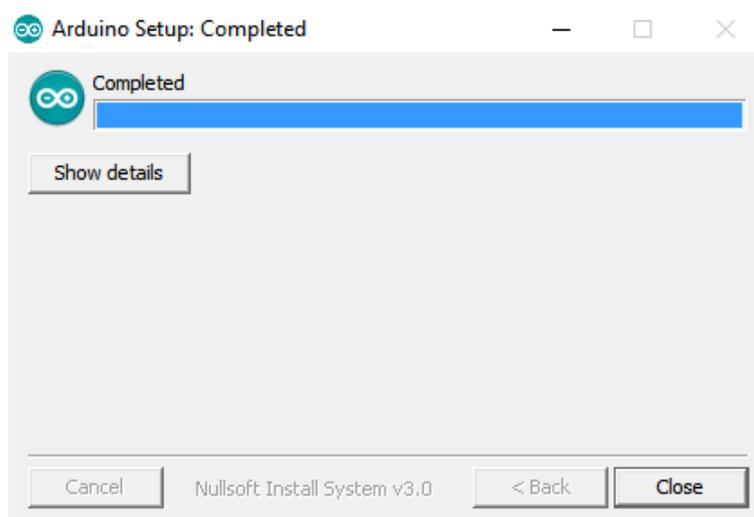


Figura 41. Instalación finalizada.

3.7.1 Instalación de librerías extras.

En la programación de cualquier proyecto se utilizarán librerías adicionales, aparte de las que vienen por default en el programa, para de esta forma aportar mayor funcionalidad a los programas de una forma sencilla. Razón por la cual se dará una explicación de cómo se deben instalar estas librerías para poder hacer uso de ellas.

- 1.- Primero proceder a descargar las librerías a utilizar, se necesita que estén en archivo. Zip. Las librerías nuevas a utilizar son; Virtual Wire, DHT, RC Switch, GSM.
- 2.- Una vez descargadas las librerías a usar, abrir el entorno de desarrollo de Arduino. Ubicamos el cursor en Programa > Incluir librería > Añadir librería Zip y buscar el archivo descargado.

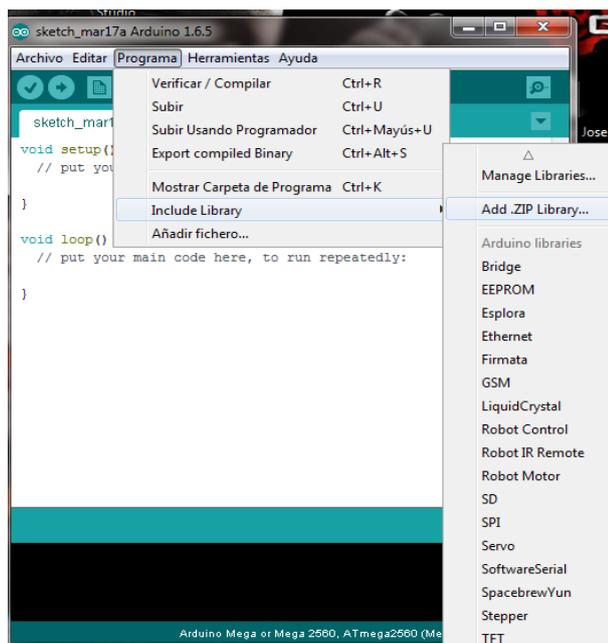


Figura 42. Instalación de librerías

3.- Seleccionar la librería que se debe incluir y la tendremos dispuesta a ser usada. Estos pasos aplicar con todas las librerías de manera individual. Incluir una librería de Arduino al proyecto puede ser determinante para su buen o mal funcionamiento.

3.8 Desarrollo de la programación.

Para un mejor entendimiento y explicación, se diseñó diagramas de flujo de las programaciones realizadas en el proyecto, de esta manera poder entender la lógica de programación usada para el desarrollo del mismo será más sencillo.

3.8.1 Desarrollo del software en la placa principal.

Lo primero que se debe realizar para empezar a trabajar en el entorno de desarrollo de Arduino, es configurar el puerto de comunicación entre la placa Arduino Mega y la PC. Para ello una vez hayamos ingresado en el software el cursor dirigimos a abrir el menú “*Herramientas*” seleccionar la opción “*Puerto*”, en esta opción escoger el puerto serial al que esté conectada la placa. Si no se conoce el puerto asignado al Arduino se verifica a través del administrador de dispositivos ingresando a *Panel de control > Hardware y sonido > Dispositivos e impresoras*, ahí se mostrara un icono con el nombre de la tarjeta Arduino que esté usando como también el puerto serial asignado.

Para finalizar la configuración, seleccionar el tipo de placa que se está usando y el procesador con el que trabaja. En el mismo menú “*Herramientas*” ubicamos el cursor en la opción “*Placa*” y escoger “*Arduino Mega or Mega 2560*”, esta placa es la que se va hacer uso, seleccionar también la opción “*Procesador*” y “*ATmega 2560.*”

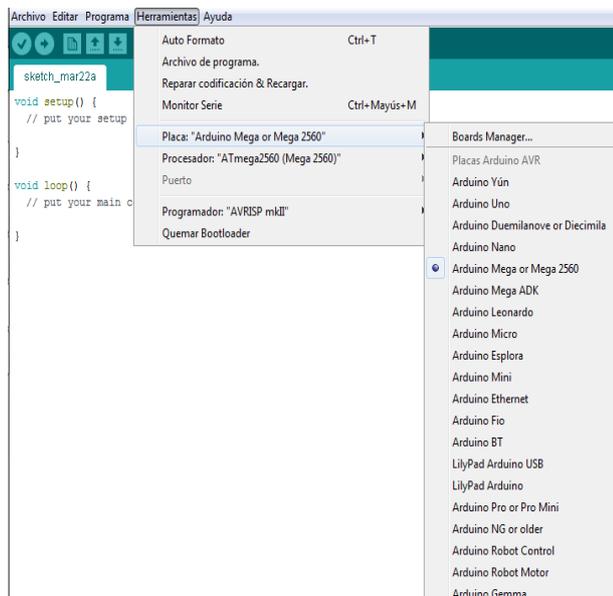


Figura 43. Configuración de la placa Arduino Mega.

Si se desea comprobar que la placa está bien configurada y en perfecto estado, se recomienda abrir uno de los ejemplos que se encuentra en el mismo software de Arduino llamado “*Blink*”, para ello acceder seleccionando el menú “*Archivo*” > “*Ejemplos*” > “*Basics*” > y por último “*Blink*” (figura. 44). El ejemplo lo único que realiza es parpadear un led que está colocado en el pin 13 del Arduino Mega. Si el led del pin 13 se enciende y apaga cada segundo indica que el programa se ha subido con éxito y la placa está trabajando correctamente.

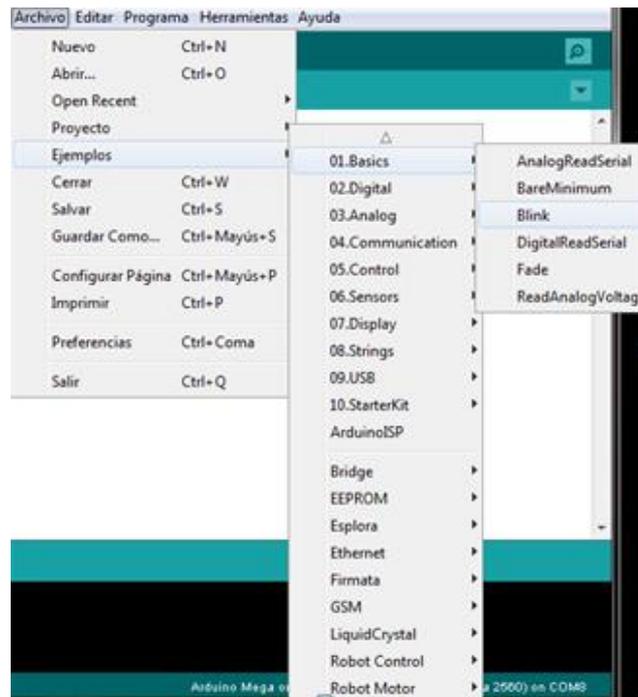
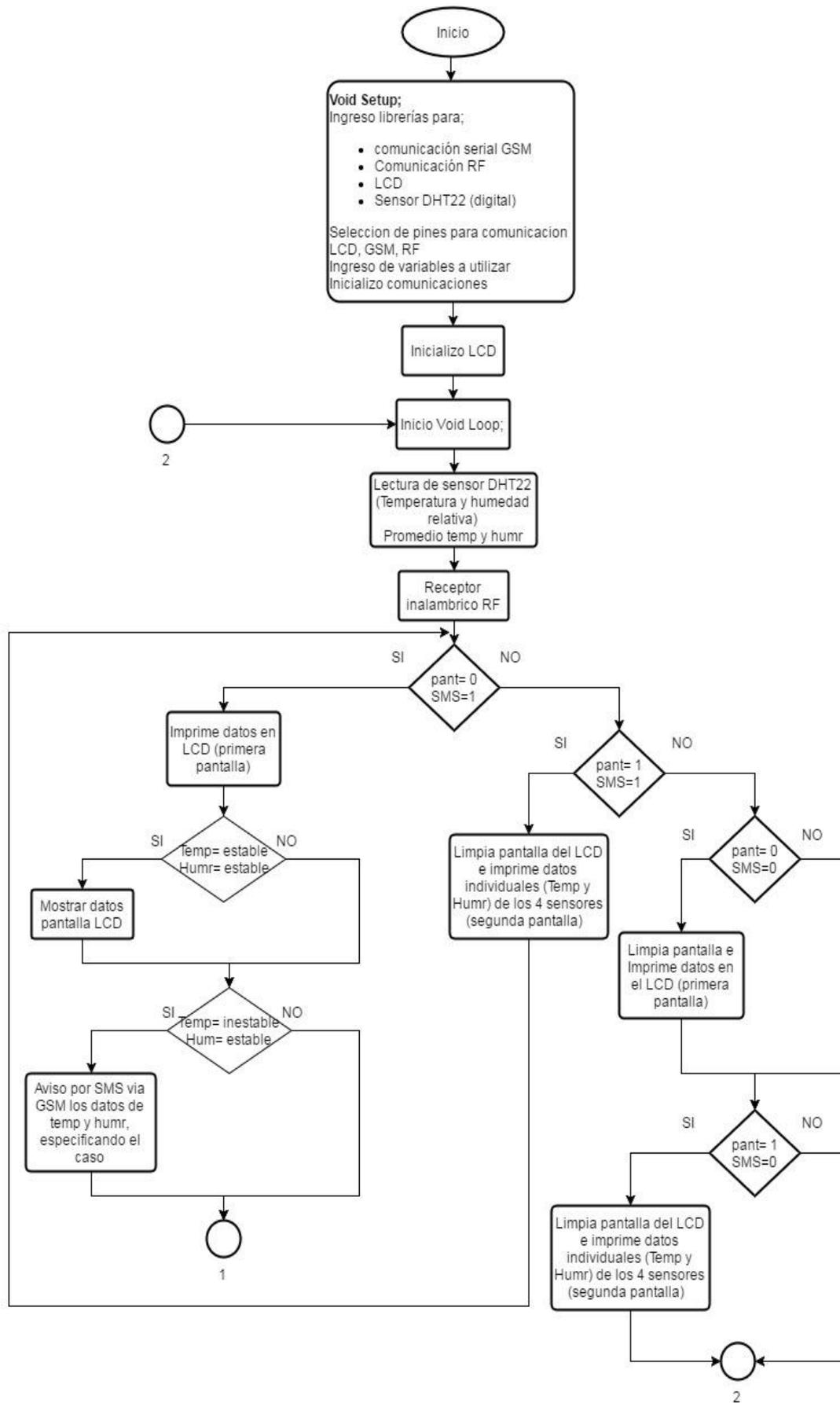


Figura 44. Ejemplo básico de comprobación “Blink.”

Una vez realizada la configuración correspondiente indicada y tras verificar que el Arduino Mega está funcionando, todo estará listo para empezar a trabajar y proceder con la respectiva programación. El siguiente diagrama muestra la lógica de programación que se siguió para desarrollar el sistema de monitoreo, es decir la medición de temperatura y humedad relativa (sensor DHT22) con su respectiva variable de Set – Point (SP) a utilizar y él envió de alerta por medio de mensajes de texto SMS (comunicación GSM) en caso de no encontrarse dentro de los rangos establecidos por el (SP).



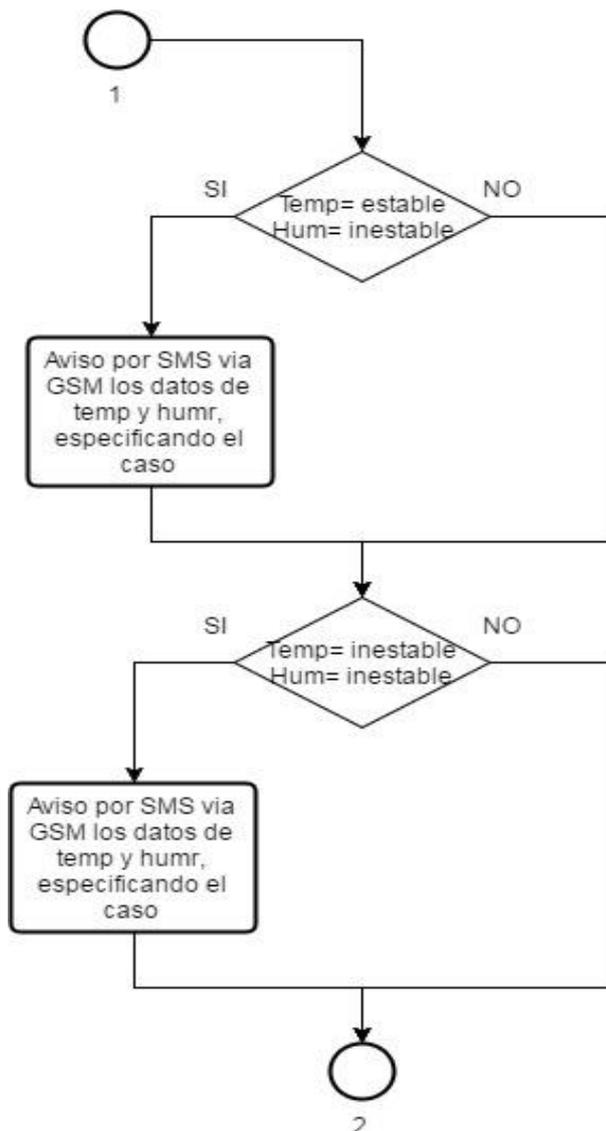


Figura 45. Diagrama de Flujo del sistema de monitoreo.

A continuación, se realizará una explicación general de la programación en el micro controlador Mega, basado en el diagrama de flujo realizado en la *figura. 45*

Iniciar primeramente ingresando las librerías a utilizar dentro de la programación, entre estas librerías está:

- Librería para comunicación serial GSM: <SoftwareSerial.h>
- Librería para comunicación RF: <VirtualWire.h>
- Librería para LCD: <LiquidCrystal.h>
- Librería de sensor Humedad am2302 (DHT22): "DHT.h"

Seleccionar los pines a utilizar en el microcontrolador para que la conexión de los elementos a utilizar como, el GSM, los sensores DHT22 y la pantalla LCD.

SoftwareSerial mySerial (9, 8); //comunicación con GSM
LiquidCrystal lcd (23, 25, 27, 29, 31, 33); //pantalla LCD

Para los sensores DHT22 por medio de estas líneas de código escoger los pines de conexión al microcontrolador, el tipo de sensor que se va a utilizar en este caso es el DHT22, y por último cambiar el nombre que se usara en toda la programación.

#define DHTPIN 3
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE);

#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht1 (DHTPIN, DHTTYPE);

#define DHTPIN 5
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht2 (DHTPIN, DHTTYPE);

#define DHTPIN 6
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht3 (DHTPIN, DHTTYPE);

Cumplida la selección de pines colocar todas las variables que vayan a hacerse uso en la programación, en la declaración de la variable se indica el tipo de datos que almacenará (int, float, long). Las variables se colocaron antes del Void Setup(), de esta forma se haran globales y pueden ser empleadas en cualquier función del programa. Dentro de estas variables ubicar el valor de consigna (SP) que se utilizara.

int Tempmax=20;
int Tempmin=15;
int Hummax=75;
int Hummin=60;

Dentro del Void Setup();

Inicializar los sensores, el LCD, la comunicación serial entre Arduino y GSM, los baudios recomendados es de 57600.

dht.begin (); // Inicializo sensor humedad y temperatura.

lcd.begin (16,4); // Inicializo LCD

mySerial.begin (57600); // Inicializo comunicación serial Arduino vs GSM

Inicio Void Loop();

Dentro del Void Loop(); contiene todo el código que se ha de ejecutar durante todo el funcionamiento del sistema. Empezando primero con la recepción de datos de los sensores de Temperatura y Humedad relativa.

```
ha = dht.readHumidity();
// recepción de dato de temperatura y humedad 1
temdhta = dht.readTemperature();
hb = dht1.readHumidity();
// recepción de dato de temperatura y humedad 2
temdhtb = dht1.readTemperature();
hc = dht2.readHumidity();
// recepción de dato de temperatura y humedad 3
temdhtc = dht2.readTemperature();
hd = dht3.readHumidity();
// recepción de dato de temperatura y humedad 4
temdhtd = dht3.readTemperature();
```

En el interior de los DHT22 incluyen dos sensores, un termistor (temperatura) y un sensor capacitivo (humedad ambiental), lleva internamente un pequeño microcontrolador el cual se encarga de tomar el valor de ambas magnitudes y digitalizarlas, de ahí es que la señal de salida de este sensor es digital. Por ello una de las ventajas de los sensores DHT22 es que vienen calibrados de fábrica y no requieren componentes adicionales para que puedan obtener mediciones de temperatura y humedad relativa.

Para sacar el promedio general de las variables ambientales entre los 4 sensores solo se toma los valores recopilados y guardados en las variables *ha*, *hb*, *hc*, *hd* para humedad relativa y *temdhta*, *temdhtb*, *temdhtc*, *temdhtd* para temperatura y se realiza el siguiente cálculo:

$$\mathbf{promedioHum = (ha + hb + hc + hd)/4}$$

$$\mathbf{promedioTemp = (temdhta + temdhtb + temdhtc + temdhtd)/4}$$

Después de realizar la lectura de los sensores DHT22 se viene a efectuar la lectura del sensor inalámbrico.

Se inicializa la librería VirtualWire a través del **vw_setup (2000)**, como parámetro se debe indicar la velocidad de operación, la recomendada es de 2000 bps. Seguido se realiza la selección del pin digital de entrada de recepción a utilizar en el Arduino Mega y se configura el push to talk.

```
vw_set_ptt_inverted(true); //configuration push to talk
vw_setup(2000); //velocidad de operación bps
vw_set_rx_pin(2); //Pin 2 como entrada del Rf
vw_rx_start(); //se inicia como receptor
```

La manera en la que realizan la comunicación los módulos Rf es enviando un inicio de trama diferente para cada dato, el cual indica al receptor que dato se está enviando, para ello las siguientes líneas de programación se encargaran de verificar si hay un dato valido en el Rf y en el caso de que exista, verificar el inicio de trama de dicho dato.

```
//verificamos si hay un dato valido en el Rf
```

```
uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;
//verificamos el inicio de trama
if (vw_get_message(buf, &buflen)) {
for (int i = 0; i < buflen; i++)
StringReceived[i] = char(buf[i]);
scanf(StringReceived, "%d", &ledData);
memset( StringReceived, 0, sizeof(StringReceived));
```

Una vez realizada la lectura y recepción de datos en los sensores, lo siguiente es lo que efectuara el GSM de acuerdo al (SP) establecido, dependiendo de los casos que se presenten. Como se observa en el diagrama de flujo de la *figura. 44* existen diferentes condiciones a cumplirse.

Si el pulsador **pant=0** (pulsador no presionado) y el interruptor **SMS=1**(interruptor GSM ON), se muestra los datos principales en la pantalla LCD *figura 71*, como el SMS este encendido se habilita el envío de mensajes de texto vía GSM en el caso de que los valores del (SP) estén fuera de los rangos definidos, así se

podrá supervisar que los cultivos estén en condiciones ambientales necesarias para su producción. Si la condición no se cumple pasa a la siguiente.

Si el pulsador **pant=1** (pulsador presionado) y el interruptor **SMS=1** (interruptor GSM ON), se limpia la pantalla LCD y procede a imprimir los valores de humedad relativa y temperatura individualmente de los 4 sensores; después regresar a la primera condición expuesta en la parte de arriba. Si la respuesta de la condición es NO pasa a la siguiente. Los datos del LCD expuesto en esta condición actuarían como una segunda pantalla (*figura.72*), mientras el pulsador de **pant** se mantenga presionado.

Si el pulsador **pant= 0** (pulsador no presionado) y el interruptor **SMS=0** (interruptor GSM OFF), se limpia la pantalla y se presentan los datos principales en la pantalla LCD (*figura.71*). Como el SMS esta desactivado no se habilita el módulo GSM y el envío de mensajes de texto no se realiza. Si la condición no se cumple pasa a la siguiente.

Si el pulsador **pant= 1** (pulsador presionado) y el interruptor **SMS=0** (interruptor GSM OFF), se limpia la pantalla e imprime los valores de humedad relativa y temperatura individualmente de los 4 sensores. Es decir, la segunda pantalla (*figura.72*). Como el SMS esta desactivado no se habilita el módulo GSM y el envío de mensajes de texto no se realiza. Si la condición no se cumple regresa al Void Loop().

Las condiciones del (SP) programadas son las siguientes. Solo en las condiciones que el SMS está activado se habilitara el envío de SMS vía GSM como se explicó anteriormente.

La primera condición es si la temperatura es estable y la humedad relativa es estable, para verificar a qué caso pertenece revisamos la *tabla. 12*, en la sección 3.4

```
lecturaSensores();
```

```
if(((promedioTemp>=Tempmin)&&(promedioTemp<=Tempmax)) && ((  
promedioHum>=Hummin)&&( promedioHum<=Hummax)))
```

```
//solo monitorea e imprime hacia LCD
```

```

if (b==1)
b=0;
delay(2000);

```

Es decir que ninguna de las dos variables a medir ha sobrepasado los valores establecidos en el (SP). Si la respuesta es SI, se volverá a imprimir los datos principales en la pantalla LCD *figura.71* Si la respuesta es NO pasa a la siguiente condición.

En el segundo proceso, si la temperatura es inestable y la humedad relativa es estable. Dentro de este existen dos condiciones distintas a programar correspondientes a dos casos de la *tabla. 12*, sección 3.4 que serían:

//Temperatura > a la establecida en el (SP)

//Humedad relativa = Estable, se mantiene dentro del rango del (SP)

```

lecturaSensores();
if(promedioTemp>Tempmax)&&((promedioHum>=Hummin)&&(promedioHum<=Hummax)))
// envia SMS
    if (b==0){
        b=1;
        lcd.setCursor(15,3);
        lcd.print(">");
        ENVIOMSM2();

```

//Temperatura < a la establecida en el (SP)

//Humedad relativa = Estable, se mantiene dentro del rango del (SP)

```

lecturaSensores();
if((promedioTemp<Tempmin)&&((promedioHum>=Hummin)&&(promedioHum<=Hummax) ) ) {
// envia SMS
    if (b==0){
        b=1;
        lcd.setCursor(15,3);

```

```

lcd.print(">");
ENVIOMSM8();

```

Si cualquiera de las dos condiciones se cumple, se procede a enviar el SMS de alerta por medio del GSM especificando de igual manera el caso en el que se encuentre (*Tabla. 13*). Si no se cumple pasa a la siguiente condición.

Si la Temperatura es estable y la humedad relativa es inestable. De igual forma dentro de este tercer proceso se encuentran dos condiciones distintas a programar correspondientes a dos casos de la *tabla. 12*, sección 3.4 que serían:

```

//Temperatura = Estable, se mantiene dentro del rango del (SP)
//Humedad relativa > a la establecida en el (SP)

```

```

lecturaSensores();
if(((promedioTemp>=Tempmin)&&(promedioTemp<=Tempmax))&&
(promedioHum>Hummax) )
  // envia SMS
  if (b==0){
    b=1;
    lcd.setCursor(15,3);
    lcd.print(">");
    ENVIOMSM4();

```

```

//Temperatura = Estable, se mantiene dentro del rango del (SP)
//Humedad relativa < a la establecida en el (SP)

```

```

lecturaSensores();
if(((promedioTemp>=Tempmin)&&(promedioTemp<=Tempmax))
(promedioHum<Hummin))
  //envía SMS
  if (b==0){
    b=1;
    lcd.setCursor(15,3);
    lcd.print(">");
    ENVIOMSM6();

```

Si cualquiera de las dos condiciones se cumple, envía SMS de alerta a través del GSM especificando de igual manera el caso en el que se encuentre (*Tabla. 13*). Si no se cumple pasa a la siguiente condición.

Temperatura inestable y humedad relativa inestable. Dentro de este último proceso se tendrán cuatro condiciones distintas a programar, de la misma forma podemos ver estos 4 casos diferentes en la *tabla. 12*, sección 3.4 que serían los siguientes:

```
//Temperatura > a la establecida en el (SP)
//Humedad relativa > a la establecida en el (SP)

lecturaSensores();
if((promedioTemp>Tempmax)&&( promedioHum>Hummax))
// envia SMS
    if (b==0)
        b=1;
        lcd.setCursor(15,3);
        lcd.print(">");
        ENVIOMSM1();

//Temperatura < a la establecida en el (SP)
//Humedad relativa > a la establecida en el (SP)

lecturaSensores();
if((promedioTemp<Tempmin) &&( promedioHum>Hummax)){
// envia SMS
    if (b==0){
        b=1;
        lcd.setCursor(15,3);
        lcd.print(">");
        ENVIOMSM7();

//Temperatura > a la establecida en el (SP)
//Humedad relativa < a la establecida en el (SP)

lecturaSensores();
```

```

if((promedioTemp>Tempmax) &&( promedioHum<Hummin)){
  // envia SMS
  if (b==0){
    b=1;
    lcd.setCursor(15,3);
    lcd.print(">");
    ENVIOMSM3();

    //Temperatura < a la establecida en el (SP)
    //Humedad relativa < a la establecida en el (SP)

```

```

lecturaSensores();
if((promedioTemp<Tempmin) &&( promedioHum<Hummin)){
  // envia SMS
  if (b==0){
    b=1;
    lcd.setCursor(15,3);
    lcd.print(">");
    ENVIOMSM9();

```

Si cualquiera de estas 4 condiciones se cumple, el envío del SMS de alerta se enviará por medio del GSM, especificando el caso en el que se encuentre, verificar (Tabla.13). Si no se cumplen las condiciones regresa el programa al Void Loop()

Para el envío de mensajes de texto, en la programación se crearon subrutinas de envío de SMS, en la (tabla. 12) existen 9 casos que pueden cumplirse donde el (SP) está fuera de los rangos establecidos. Por lo tanto, son 9 mensajes de texto diferentes que deben enviar, en la tabla. 13 se puede visualizar que SMS se debe enviar dependiendo del caso del (SP). Para la programación se utilizó los comandos AT, que maneja el módulo GSM.

```

void ENVIOMSM1() {
  mySerial.println("AT+CMGF=1"); //Seleccionar formato del mensaje
  delay(1000); (SMS o PDU)
  mySerial.print("AT+CMGS=\00999889425\"); //Enviar SMS
  mySerial.println();

```

```

mySerial.print((char)26);
delay(1000);

mySerial.println("Monitoreo Invernadero");
mySerial.println("Temperatura Muy ALta:");
mySerial.println(promedioTemp);
mySerial.println("Humedad Muy ALta:");
mySerial.println(promedioHum);
delay(100); }

void ENVIOMSM2{
  mySerial.println("AT+CMGF=1");
  delay(1000);
  mySerial.print("AT+CMGS=\\"0999889425\\");
  mySerial.println();
  mySerial.print((char)26);
  delay(1000);

  mySerial.println("Monitoreo Invernadero");
  mySerial.println("Temperatura Muy ALta:");
  mySerial.println(promedioTemp);
  mySerial.println("Humedad Normal:");
  mySerial.println(promedioHum);
  delay(100); }

void ENVIOMSM3{
  mySerial.println("AT+CMGF=1");
  delay(1000);
  mySerial.print("AT+CMGS=\\"0999889425\\");
  mySerial.println();
  mySerial.print((char)26);
  delay(1000);

  mySerial.println("Monitoreo Invernadero");

```

```
mySerial.println("Temperatura Muy ALta:");  
mySerial.println(promedioTemp);  
mySerial.println("Humedad Muy Baja:");  
mySerial.println(promedioHum);  
delay(100);}
```

```
void ENVIOMSM4() {  
  mySerial.println("AT+CMGF=1");  
  delay(1000);  
  mySerial.print("AT+CMGS=\\"0999889425\\");  
  mySerial.println();  
  mySerial.print((char)26);  
  delay(1000);
```

```
  mySerial.println("Monitoreo Invernadero");  
  mySerial.println("Temperatura Normal:");  
  mySerial.println(promedioTemp);  
  mySerial.println("Humedad Muy ALta:");  
  mySerial.println(promedioHum);  
  delay(100); }
```

```
void ENVIOMSM6(){  
  mySerial.println("AT+CMGF=1");  
  delay(1000);  
  mySerial.print("AT+CMGS=\\"0999889425\\");  
  mySerial.println();  
  mySerial.print((char)26);  
  delay(1000);
```

```
  mySerial.println("Monitoreo Invernadero");  
  mySerial.println("Temperatura Normal:");  
  mySerial.println(promedioTemp);  
  mySerial.println("Humedad Muy baja:");  
  mySerial.println(promedioHum);
```

```
delay(100);}


```

```
Void ENVIOMSM7 (){
mySerial.println("AT+CMGF=1");
  delay(1000);
  mySerial.print("AT+CMGS=\\"0999889425\\");
  mySerial.println();
  mySerial.print((char)26);
  delay(1000);

  mySerial.println("Monitoreo Invernadero");
  mySerial.println("Temperatura Muy baja:");
  mySerial.println(promedioTemp);
  mySerial.println("Humedad Muy ALta:");
  mySerial.println(promedioHum);
  delay(100); }


```

```
void ENVIOMSM8(){
  mySerial.println("AT+CMGF=1");
  delay(1000);
  mySerial.print("AT+CMGS=\\"0999889425\\");
  mySerial.println();
  mySerial.print((char)26);
  delay(1000);

  mySerial.println("Monitoreo Invernadero");
  mySerial.println("Temperatura Muy baja:");
  mySerial.println(promedioTemp);
  mySerial.println("Humedad Normal:");
  mySerial.println(promedioHum);
  delay(100);}


```

```
void ENVIOMSM9(){
  mySerial.println("AT+CMGF=1");


```

```

delay(1000);
mySerial.print("AT+CMGS=\"09998894257\"");
mySerial.println();
mySerial.print((char)26);
delay(1000);

mySerial.println("Monitoreo Invernadero");
mySerial.println("Temperatura Muy baja:");
mySerial.println(promedioTemp);
mySerial.println("Humedad Muy Baja:");
mySerial.println(promedioHum);
delay(100); }.

```

3.8.2 Desarrollo del software para el sensor de humedad inalámbrico RF emisor. (placa secundaria)

Primero se debe realizar la comunicación entre la Pc y la placa Arduino Nano, para ello revisar el literal 3.8.1 donde se encuentran los pasos a seguir. Lo único que se cambia en la configuración es en la selección del tipo de placa y el procesador, ingresar al menú “*Herramientas*” escoger la opción “*Placa*” y seleccionar “*Arduino Nano*”. Para la siguiente configuración ingresamos en “*Procesador*” y elegir “*ATmega 328.*”

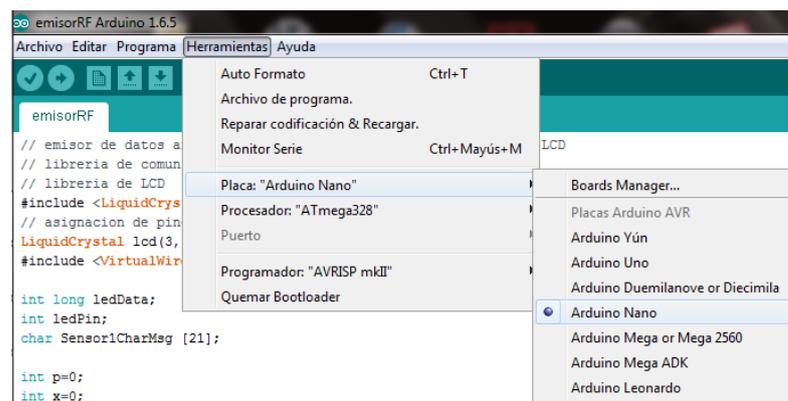


Figura 46. Configuración de la placa Arduino Nano.

Una vez realizada la configuración correspondiente y tras verificar que el Arduino Nano está funcionando, tendremos todo listo para empezar a trabajar y proceder con la respectiva programación.

Se diseñó el presente diagrama de flujo para una mejor explicación y un fácil análisis de cómo se estructuró el cuerpo de la programación utilizada para desarrollar el software del sensor de humedad de suelo inalámbrico (emisor) por comunicación RF.

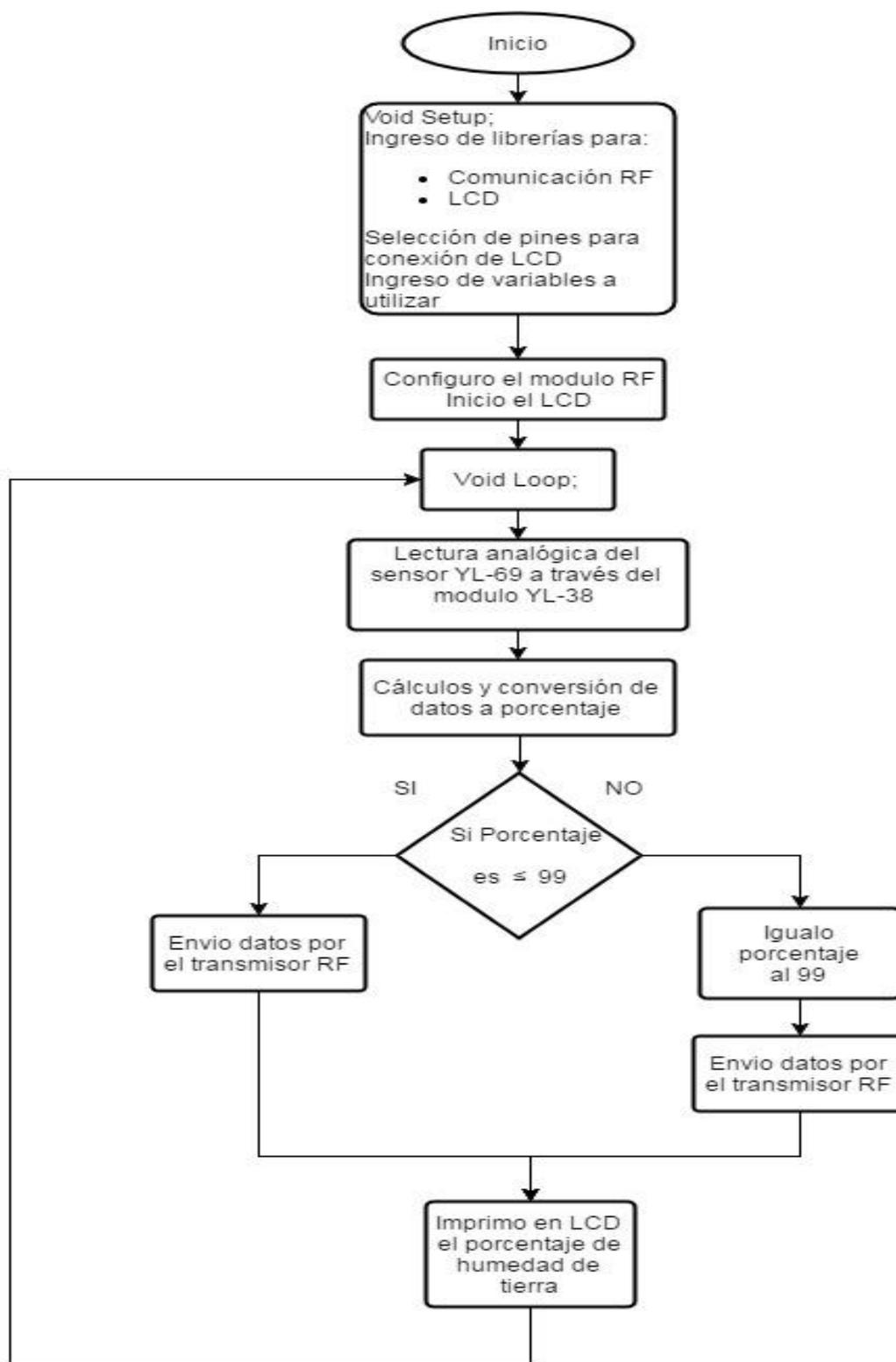


Figura 47. Diagrama de Flujo del sensor de humedad de suelo RF (transmisor)

Primero ubicar las librerías a utilizar en la programación:

- Librería de comunicación Rf 433MHz: **#include <VirtualWire.h>**
- Librería de LCD: **#include <LiquidCrystal.h>**

Proceder a seleccionar los pines a utilizar en el microcontrolador Nano para la pantalla LCD.

LiquidCrystal lcd(3, 4, 5, 6, 7, 8); *//pines de conexión LCD*

Las variables a utilizar se declararán de igual forma que en la anterior programación, antes del Void Setup(); de esta manera las variables son globales y pueden ser empleadas en cualquier función del programa.

//Variables globales ingresadas

int long ledData;

int ledPin;

char Sensor1CharMsg [21];

int p=0;

int x=0;

int porcentaje=0;

Void Setup();

Dentro del Void Setup inicializar la pantalla LCD, limpiando y escribiendo sucesivamente la palabra **Inicializando** para dar el efecto visual de que la pantalla esta en modo espera antes de imprimir los datos de Humedad de suelo.

lcd.begin(16,2); *//Inicializamos LCD*

lcd.clear(); *//Limpiamos LCD*

lcd.setCursor(0,0); *//Ubico el cursor en la posición inicial del LCD*

delay(2000); *//Espera de 2s*

lcd.clear(); *//Limpio LCD*

lcd.setCursor(0,0); *//Ubico el cursor en la posición inicial del LCD*

lcd.print("Inicializando..."); *//Imprimimos la palabra inicializando*

delay(500); *//Espera de 500ms*

lcd.clear(); *//Limpio LCD*

```

lcd.setCursor(0,0);           //Ubico el cursor en la posición inicial del LCD
lcd.print("      ");       //Imprimimos un espacio vacío en el LCD
delay(500);                 //Espera de 500ms
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Iniciando...");
delay(500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("      ");
delay(500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Iniciando...");
delay(500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("      ");
delay(500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Iniciando...");
delay(3000);}

```

Void Loop ():

En el Void Loop primero se procede a programar la lectura de datos que realizara el sensor de Humedad de suelo. A estos valores analógicos que el módulo YL-38 entrega se llaman *ADC* para facilitar la explicación.

El módulo YL-38 es el encargado de transformar la conductividad registrada por el módulo YL-69 entre sus puntales, a un valor analógico (*ADC*) o digital que pueda ser leído por el Arduino Nano. Usaremos la entrada analógica para trabajar con el sensor de humedad de tierra.

```

ledData =analogRead(A5); // Selección pin (A5) para conexión del sensor
p =ledData; //Guardamos el valor análogo (ADC) en la variable p
x=p*(0.004882812); //Transformamos el ADC a voltaje

```

Para realizar los cálculos de conversión de *ADC* a porcentaje, primero tomar en cuenta lo siguiente; La resolución de la entrada analógica es de 10 bits, es decir el rango de valor que podemos leer oscila entre 0 y 1023. Al realizar las pruebas de funcionamiento se realizaron mediciones del sensor en condiciones totalmente secas dando como valor: 1023 y totalmente mojado dando como valor: 280.

Para poder hacer el cálculo de la conversión a porcentaje se realizó una gráfica (Porcentaje Vs datos análogos), teniendo como consideración que el 0% de humedad equivale a los 1023 y el 100% equivale a los 280.

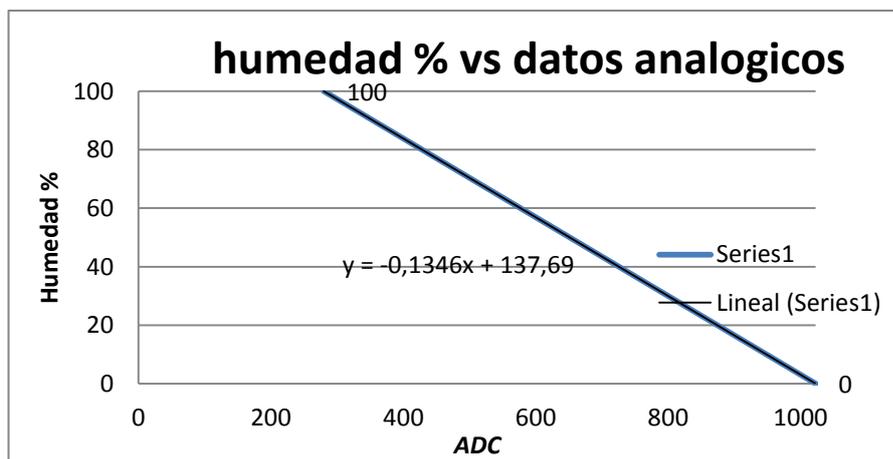


Figura 48. Ecuación de la recta humedad vs ADC.

En otras palabras, Al tener dos puntos de una recta que serían; (280,100) y (1023,0). Para poder transformar el valor *ADC* a porcentaje y poder visualizarlo en una pantalla LCD, se debe hallar la ecuación de la recta presentada en el gráfico. 48 y realizar el despeje de la variable *Y*.

$$m = \frac{\Delta y_2 - \Delta y_1}{\Delta x_2 - \Delta x_1} \quad y - y_1 = m(x - x_1)$$

$$m = \frac{0 - 100}{1023 - 280} \quad y - 100 = -0.1346(x - 280)$$

$$m = \frac{-100}{743} \quad y = 100 - 0.1346x + 37.69$$

$$m = -0.1346 \quad y = -0.1346x + 137.69$$

La variable X equivale al valor analógico (0 - 1023) que el sensor va a conceder y la variable Y equivale al porcentaje que deseamos conocer.

```

porcentaje=(-0.1346*(p))+137.69; //Formula de conversión a porcentaje

if (porcentaje<=99){

    enviodatos(); //Envío a subrutina de envío para la transmisión RF
else
{
    porcentaje=99;
    enviodatos();
}
lcd.clear(); //limpiar LCD
lcd.setCursor(2,0); ubicar cursos de LCD en la posición 2
lcd.print( "HUMEDAD(%):"); //Imprimir porcentaje de humedad en el LCD
lcd.setCursor(7,1);
lcd.print( porcentaje);
Serial.println(porcentaje);
delay(1000);

```

Realizada la conversión de datos a porcentaje, posteriormente se va a realizar el envío de estos a través del transmisor RF hacia la placa principal. Para realizar este envío se creó una subrutina para el transmisor RF.

```

void enviodatos(){
    vw_set_ptt_inverted(true); //Configuración push to talk
    vw_setup (2000); // Inicia la comunicación
    vw_set_tx_pin (2); //Establece el pin digital del transmisor
    delay(10);
    printf(Sensor1CharMsg, "%d", porcentaje);
    //Enviamos el dato
    vw_send ((uint8_t *)Sensor1CharMsg, strlen(Sensor1CharMsg));
    vw_wait_tx(); //Tiempo de espera hasta que el dato se envíe

```

De la misma forma que la programación del emisor se inicializa la librería VirtualWire a través del `vw_setup (2000)`, como parámetro se debe indicar la velocidad de operación, la recomendada es de 2000 bps. Seguido se realiza la selección del pin digital de entrada que el Arduino Nano utilizara para la transmisión y se configura el push to talk.

3.9 Desarrollo del Hardware.

3.9.1 Diseño de cajas protectoras.

Se diseñaron 2 cajas de un material especial llamado “acrílico”, es un material termoplástico rígido excepcionalmente transparente, resistente a la intemperie. La primera caja se diseñó para que contenga la placa principal del Sistema de monitoreo, donde se encuentra el código de programación primordial y por ende todos los elementos indispensables para el funcionamiento; Posee las siguientes dimensiones principales viéndola con la cara hacia arriba; LARGO: 150mm; ANCHO: 120mm y ALTURA: 65mm (ver figura. 49 y 50)



Figura 49. Caja de acrílico para la placa principal (cara hacia arriba).



Figura 50. Caja placa principal (cara hacia el frente).

En el Anexo B se encuentra la hoja de diseño con todas las medidas. La segunda caja se diseñó para contener la placa secundaria, es decir para el sensor inalámbrico de humedad de suelo. Sus dimensiones principales viendo la caja con su cara hacia arriba son; LARGO: 111mm; ANCHO: 105mm y ALTO: 46mm (*figura.51*)



Figura 51. Caja de acrílico para la placa secundaria

En el Anexo C se encuentra la hoja de diseño con todas las medidas. Las cajas se diseñaron con el propósito de mantener las plaquetas y la circuitería protegida contra la oxidación de las pistas o impurezas externas como: polvo, agua, insectos pequeños, entre otros factores que podrían provocar un mal funcionamiento de todo el sistema.

3.9.2 Diseño de las plaquetas (circuitos impresos).

El diagrama esquemático y el circuito impreso se realizaron en el programa de diseño de diagramas y PCBs con autoenrutador llamado EAGLE versión 8.1.1

Los materiales utilizados en la placa principal son:

- Módulo GSM SIM 900
- Microcontrolador Arduino Mega
- Pantalla LCD 16x4
- 4 sensores DHT 22
- 2 reguladores de voltaje 7809 y 7805
- 2 interruptores ON/OFF
- 1 pulsador
- 1 JACK de DC
- 1 adaptador de corriente
- 2 resistencias 3.6K
- 1 resistencia 220
- 1 resistencia 1K
- módulo Rf receptor
- 1 diodo de protección

En la figura.52 se presenta el circuito impreso diseñado para la placa principal y posteriormente la figura.53 detalla el diagrama pictórico del circuito, en él se muestra la disposición final de los elementos sobre la placa de circuito impreso.

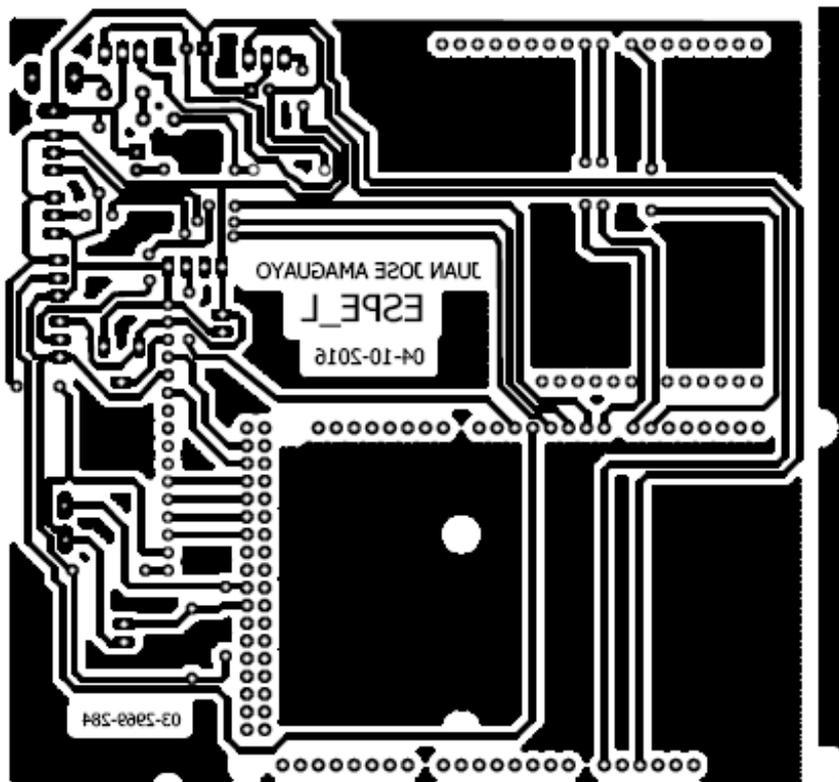


Figura 52. Circuito impreso placa principal.

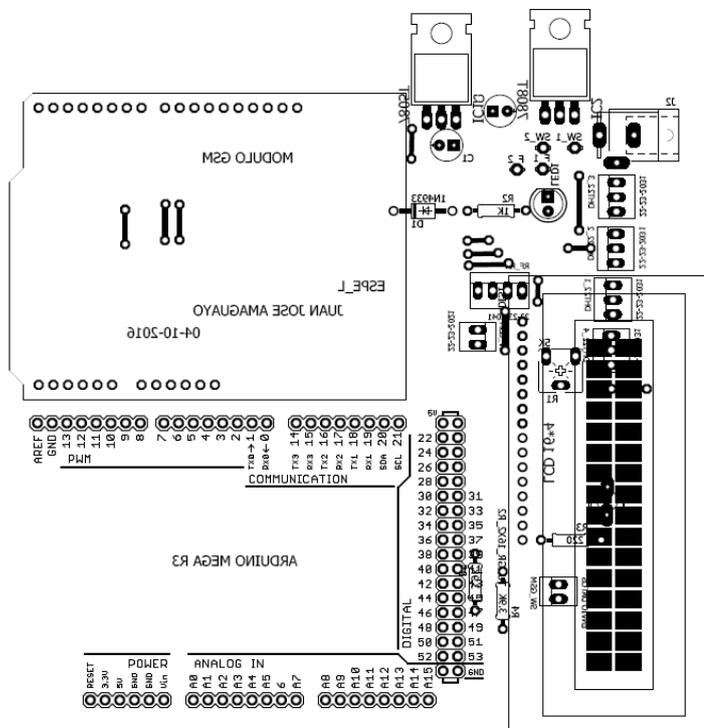


Figura 53. Diagrama pictórico placa principal.

Para la placa secundaria se utilizaron los siguientes materiales:

- Pantalla LCD 16x2
- 2 resistencias de 220
- Potenciómetro 5k
- 1 resistencia de 10k
- 1 condensador de 1000uf/25v
- Borneras
- Batería de
- Modulo Rf transmisor
- Arduino Nano
- 1 LED
- 1 interruptor ON/OFF
- Sensor de humedad de tierra YL-69 y su módulo YL-38

En la figura.54 se muestra el circuito impreso diseñado para la placa secundaria, es decir para el sensor de suelo Rf y consecutivamente en la figura. 55 se presenta el diagrama pictórico del circuito mostrando

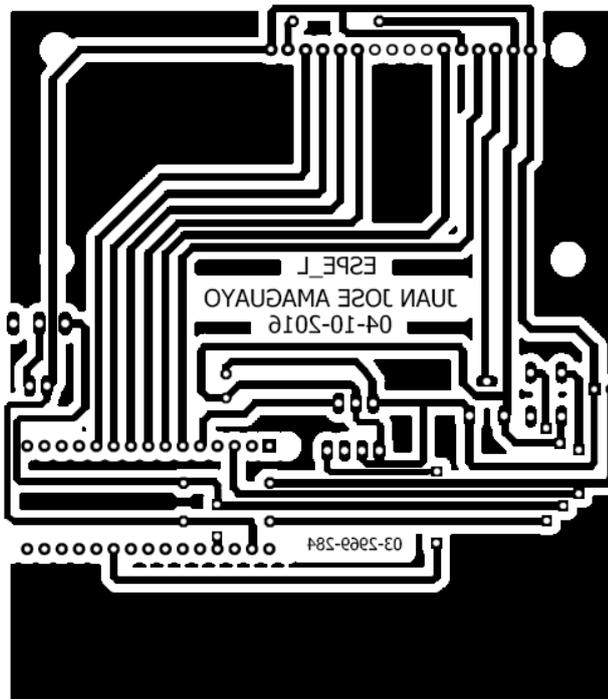


Figura 54. Circuito impreso placa secundaria.

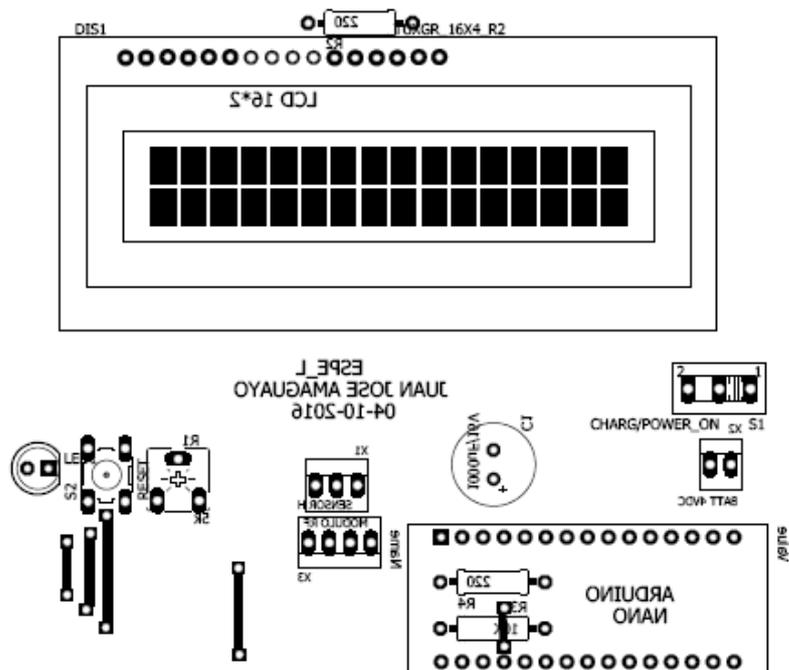


Figura 55. Diagrama pictórico placa secundaria.

En el Anexo D se encuentra el diagrama esquemático del circuito.

Una vez que se termine de armar los circuitos impresos, se procede a ubicarlos dentro de sus respectivas cajas de acrílico diseñadas específicamente para protegerlos de los factores externos ambientales. En las figuras. 56, 57, 58 y 59 se aprecia el resultado final.



Figura 56. Armado final de la placa principal.



Figura 57. Armado final de la placa principal.



Figura 58. Armado final de la placa secundaria

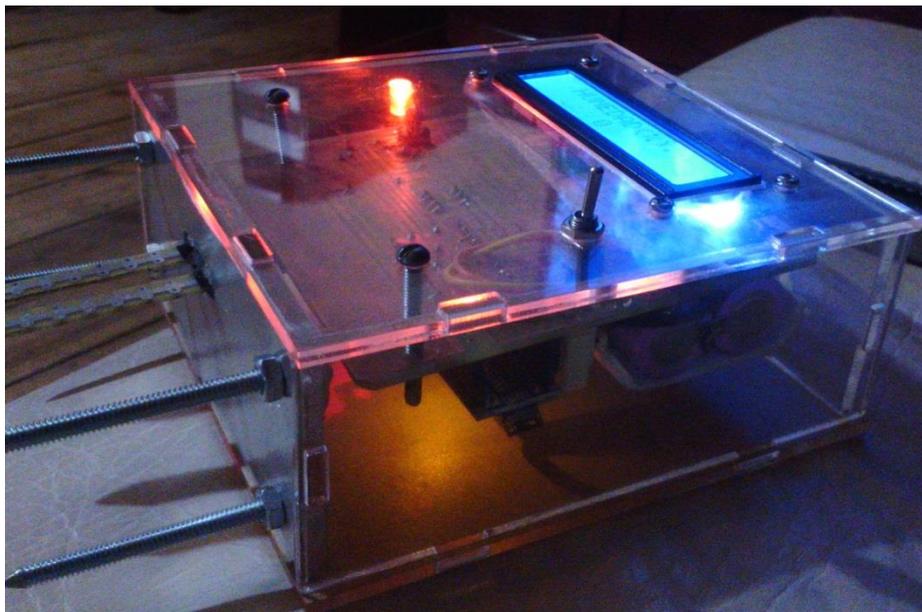


Figura 59. Armado final de la placa secundaria

3.10 Implementacion del Sistema de monitoreo con alarma SMS via GSM.

En el siguiente punto se detalla con fotografias la instalacion física del proyecto realizada en el invernadero. Primeramente se instalo una fuente de energia para la alimentacion de la placa principal. (ver figura. 60)



Figura 60. Tomacorriente instalado dentro del invernadero.

Para ello se procedio a instalar un cable gemelo N° 12 de 60m de largo, desde el medidor de la empresa electrica que proporciona electricidad a la zona hacia el sitio donde se realiza la instalacion de la placa principal dentro del invernadero. El

cableado se realizo por la parte superior de la estructura del invernadero como se puede apreciar en las figuras. 61 y 62, fuera del alcance de las personas evitando cualquier accidente.



Figura 61. Cableado para la instalación del tomacorriente.



Figura 62. Cableado del tomacorriente parte superior del invernadero.

En la figura. 63 se observa la instalación de la caja de acrílico que contiene a la placa principal. Se procedió a sujetar la caja a una base de madera triplex para poder instalarla en uno de los postes de la estructura del invernadero.

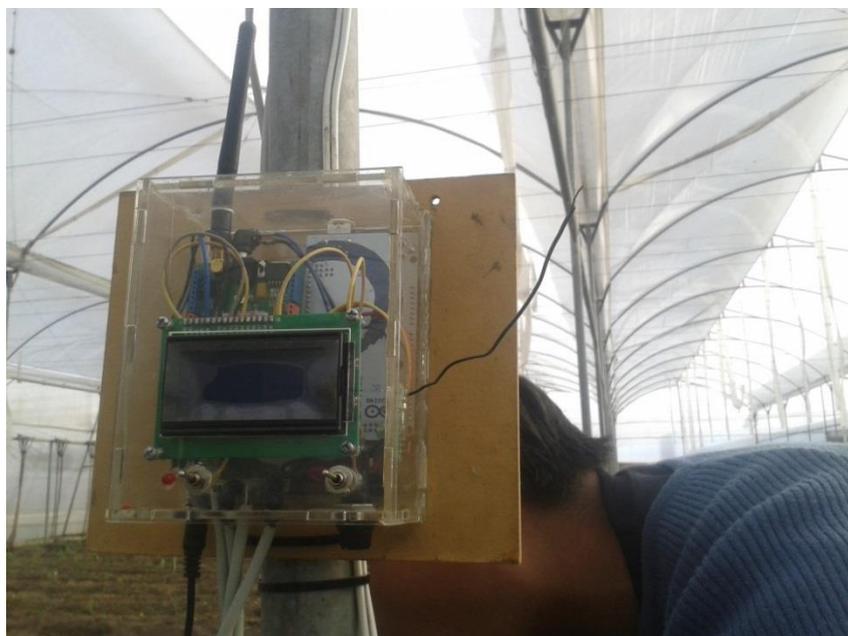


Figura 63. Instalación de la caja principal en el invernadero.

Para la instalación de los sensores se utilizó el cable UTP de red Cat. 5E (ver figura. 64), este cable es perfecto para la comunicación entre el Arduino Mega y los sensores DHT22 debido a que nos facilita la conexión de los mismos. El cable UTP contiene internamente 8 hilos individuales de cable sólido o también lo que es igual a 4 pares trenzados, nos resulta muy apropiado debido a que solo utilizaremos 3 de los hilos por cada sensor para conectarlos a VCC, GND y DATA, dejando los demás cables que sobran para futuras conexiones o reparaciones.

Como dato importante dejamos que la salida digital del sensor DHT22 puede soportar hasta una distancia de 20m sin perder datos por el largo del cable UTP.

Cableado Estructurado

Categoría 5e

Cable UTP Interior/Exterior



Figura 64. Cable UTP/ Cat. 5E

Fuente: ("Optotronics",sf.)

De igual forma el cableado para los sensores se realizó por la parte superior de la estructura del invernadero para evitar cualquier accidente. (figura. 65y 66)



Figura 65. Instalación del cableado para los sensores DHT22.

Se instalaron 4 sensores DHT22 en diferentes puntos de la zona a medir las variables ambientales (temperatura y humedad relativa).



Figura 66. Instalación de los sensores DHT22.



Figura 67. Instalación sensor 1.



Figura 68. Instalación sensor 2.



Figura 69. Instalación sensor 3



Figura 70. Instalación sensor 4

Terminado el montaje de los sensores se procede a subir la programación principal al Arduino Mega, quien es el que se encargara de gestionar todas las funciones primordiales del sistema de monitoreo, como es el leer los datos de los sensores DHT22 y receptor los datos enviados por el transmisor Rf desde el sensor de humedad de suelo, presentar estos datos en la pantalla LCD y enviar los mensajes de texto por medio del GSM verificando el (SP).



Figura 71. Estableciendo datos del (SP).

Una vez subido el programa correctamente al Arduino Mega se visualizara las siguientes pantallas en la LCD.

Como pantalla principal y la que continuamente estará mostrándose, siempre y cuando el pulsador de la pantalla no se presione, es la que se puede observar en la figura 72. En esta pantalla se presenta la humedad relativa y temperatura total de los 4 sensores, la humedad del suelo enviada vía Rf por el sensor YL-69 y si el sistema se encuentra estable o no estable.

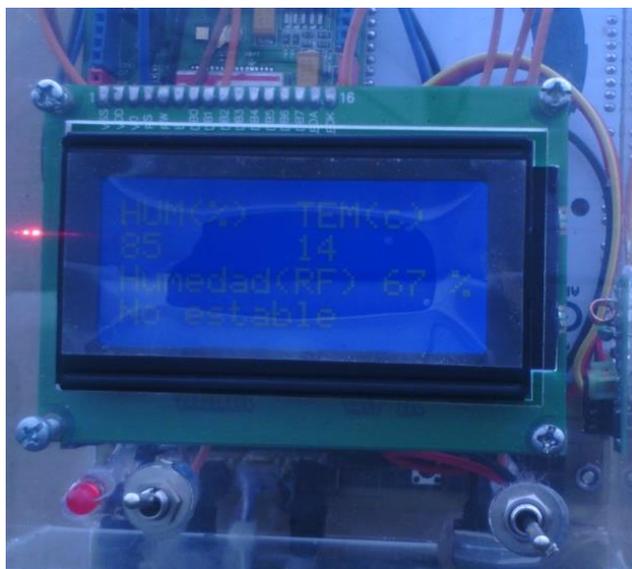


Figura 72. Pantalla LCD principal.

Como pantalla secundaria cada vez que el pulsador se presione, se limpiará la pantalla anteriormente presentada y se imprimirá los datos de humedad relativa y temperatura pertenecientes a cada sensor de manera individual (ver figura.73)



Figura 73. Pantalla LCD secundaria

El sensor de humedad de suelo inalámbrico se puede clavar en cualquier lugar que se desee saber cuánta humedad contiene la tierra, el módulo Rf emisor instalado se encargará de transmitir estos datos hacia el módulo receptor instalado en el Arduino Mega de la placa principal.



Figura 74. Sensor humedad tierra inalámbrico.



Figura 75. Porcentaje de la humedad del suelo

En la figura.76 se observa el mensaje de texto que llega como aviso, indicando que las condiciones climáticas del sistema están fuera de los rangos establecidos por el (SP) y los cultivos pueden sufrir daños al no tener las condiciones adecuadas para su crecimiento.



Figura 76. Alerta por SMS enviado por el GSM

De esta manera el sistema alertará al dueño del invernadero para que se tomen las medidas adecuadas para volver a estabilizar los parámetros ambientales, subiendo o bajando las cortinas del invernadero en caso de que la temperatura sea muy alta o muy baja, entre otras opciones que el dueño considere necesarias para garantizar un excelente crecimiento de sus cultivos bajo la temperatura y humedad relativa adecuadas.

3.11 Pruebas de funcionamiento.

En la fase de implementación de la interfaz Hardware, se consumaron pruebas para verificar que todas las etapas (*sección 3.4*) que conforman al sistema de monitero esten funcionando perfectamente. Para la optimización de los cultivos bajo invernadero se realizaron las siguientes pruebas:

3.11.1 Prueba del sensor de temperatura y humedad relativa.

El sensor para la medición de temperatura y humedad relativa es un DHT22, según las indicaciones del fabricante el sensor nos proporciona un rango de medida de:

Temperatura: -40°C a 80°C y de Humedad relativa: 0 a 100%

La conexión del sensor se realizó como se muestra en las figuras. 77 y 78 Se conecta el GND a tierra, el VCC a DC y el Data al pin digital del Arduino Mega.

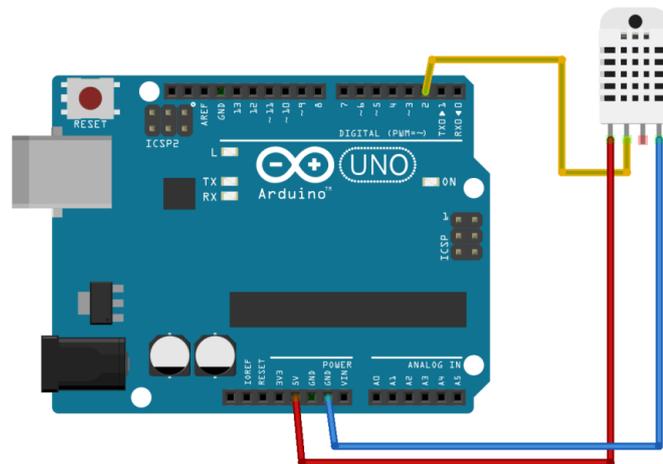


Figura 77. Conexión del sensor DHT22

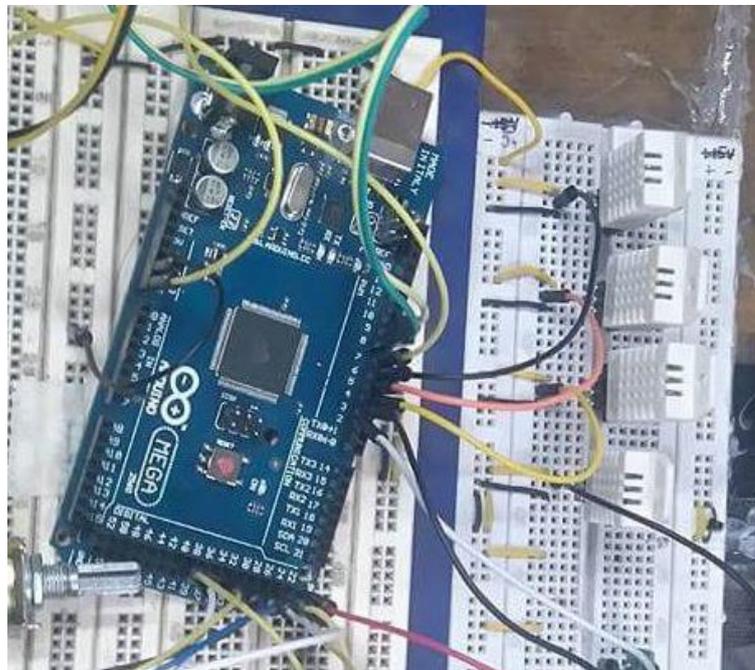


Figura 78. Conexión de prueba sensor DHT22.

El sensor DHT22 no necesita ningún elemento adicional, el mismo sensor se encarga de realizar las conversiones, basta solo con conectar los 3 pines del sensor directo al arduino, cargar la programación e ingresar en el monitor serial (ver figura.79).

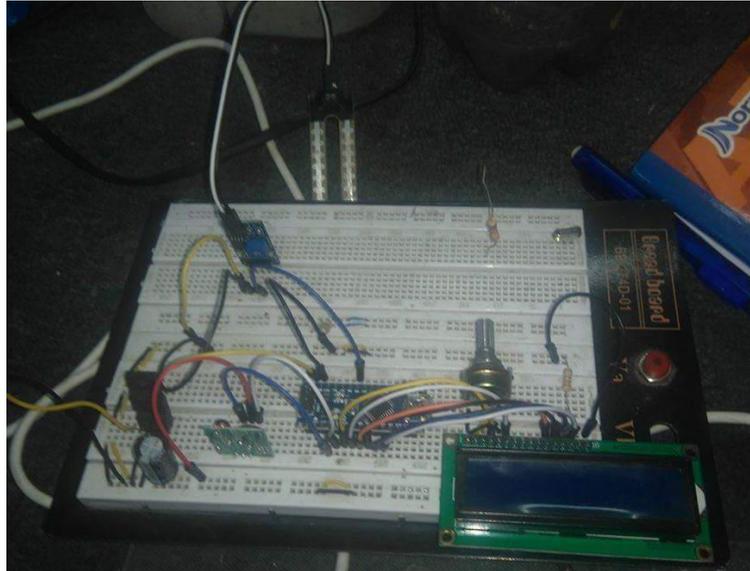


Figura 81. Conexión de prueba sensor YL-69 y YL-38

El funcionamiento de este senso se basa en la conductividad variable de la tierra dependiendo de su humedad, ha esta variacion el modulo YL-38 se encarga de interpretar y de emitir una señal analoga o digital.

Debido a que utilizamos la señal analoga, según las especificaciones del fabricante nos dice que esta variara entre 0 y 1023. Asi que se obtuvo una señal de voltaje de salida de 1.36mV en un estado completamente mojado y una salida de 4.9mV en un estado completamente seco.

Aplicando la siguiente formula:

$$ADC = \frac{V_{in} * 1024}{V_{ref}} \quad ADC = \frac{V_{in} * 1024}{5mv}$$

V_{in}= Voltaje de entrada

V_{ref}= Voltaje de referencia

ADC= datos analogos

Los valores analogos correspondientes a cada voltaje serian 1.36mV=280 y 4.9mV=1023. Se realizaron pruebas con mediciones intermedias (ver Tabla.14), comparando estos resultados con los valores que el monitor serial tambien nos otorga, ademas estos valores fueron representados por un grafica mostrada en la figura.82

Tabla 14
Pruebas del sensor de humedad de tierra.

Salida (mV)	ADC
1.36	280
1.6	328
2.5	512
3.9	800
4.9	1023

Esta respuesta indica que el sensor para medir la humedad del suelo en el invernadero funciona correctamente.

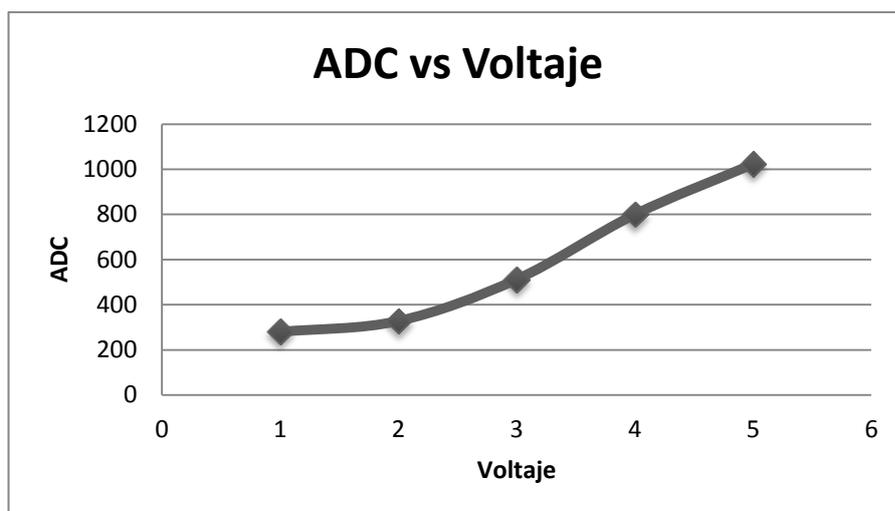


Figura 82. Curva de prueba del sensor de humedad de suelo.

3.11.3 Pruebas modulos de comunicación RF.

Para realizar la comunicación Rf se utilizaron los mudulos de 433Mhz, como se ha mencionado antes, estos mudulo se usaron por su banda de comunicación que es libre. Las conexiones se realizaron como se muestra en las *figuras. 83 y 84*

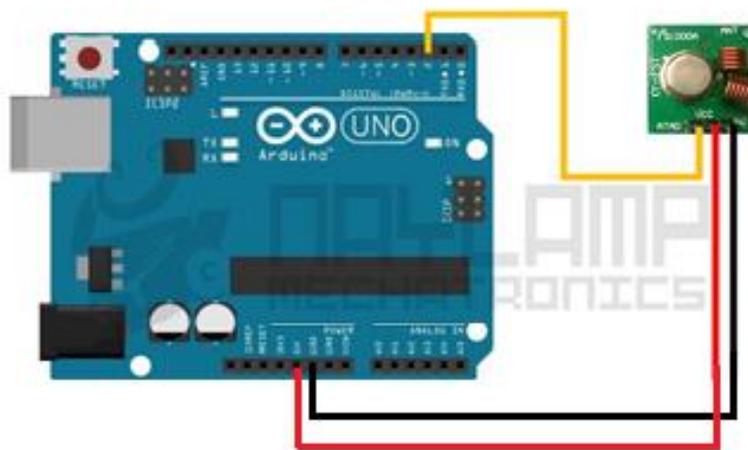


Figura 83. Conexión modulo Rf emisor 433Mhz

El emisor se debe conectar el pin de Vcc a 5V, el de GND a tierra y el pin de Data a un puerto digital del Arduino



Figura 84. Conexión modulo Rf receptor 433Mhz.

El receptor se debe conectar el pin de Vcc a 5V, el GND a tierra y solo usar un pin Data que va hacia un puerto digital de Arduino. En estos módulos Rf todo depende la programación que se realice y con la librería que se trabaje, como trabaja la librería Virtual Wire, esta transmite cadenas de bytes.

Como se explicó en la programación vista en el punto 3.8.2. Lo que se realiza es enviar un inicio de trama diferente para cada dato, el cual indica al receptor que dato es el que se está enviando. Al realizar las pruebas de comunicación se pudo visualizar que lo que presentaba el LCD del sensor inalámbrico de humedad de suelo se puede también observar en el LCD de la placa principal (ver figuras.85 y 86).

Esto indica que la comunicación inalámbrica se realizó con éxito y que los módulos Rf están trabajando.



Figura 85. LCD sensor inalámbrico (emisor Rf).

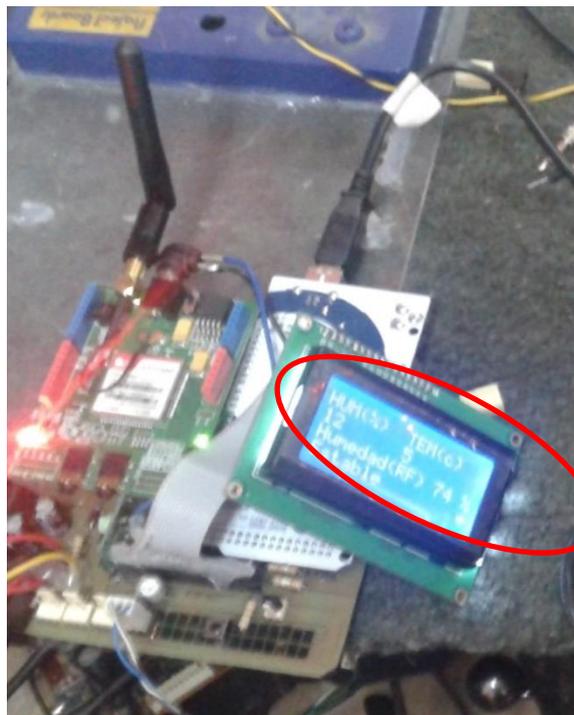


Figura 86. LCD placa principal (receptor Rf).

Para obtener una mejor comunicación entre los módulos Rf se puede añadir una antena tipo látigo o helicoidal. Se escogió añadir una antena tipo látigo por la razón de que es fácil de realizar. Primeramente, se sabe que los módulos trabajan a una

frecuencia exacta de $f=433,92\text{Mhz}$. Las ondas electromagnéticas en el vacío se propagan a una velocidad de $C=30000000\text{Km/s}$.

Con estos dos datos podemos realizar el siguiente cálculo:

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad \lambda = \text{Longitud de onda}$$

$$\lambda = \frac{300000000 \text{ m/s}}{433920000 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = 0,69 \text{ m} = 69 \text{ cm}$$

La antena látigo debe medir el cuarto de longitud de onda

$$\text{Longitud antena} = \lambda/4$$

$$= 69 \text{ cm}/4$$

$$= 17,25 \text{ cm}$$

La longitud de la antena para el módulo Rf emisor y receptor debe ser de **17cm**

3.11.4 Prueba de módulo GSM

Para el envío de alerta vía SMS se utilizó un módulo GSM SIM 900, las pruebas de funcionamiento que se realizó con este módulo fue una vez se terminó de armar todo el sistema y con toda la programación finalizada, obteniendo los siguientes resultados.

Lo que se realizó es tomar datos de la temperatura y humedad relativa individualmente durante un día completo y verificar cómo trabaja el módulo GSM frente al Set-Point establecido enviando los respectivos SMS (ver tabla. 15 y 16)

Tabla 15
Datos de prueba del GSM (temperatura).

Hora del día	Temperatura °C	Estado del GSM
8	14	Enviar SMS
9	15	Estable
10	18	Estable
11	21	Enviar SMS
12	20	Estable
13	22	Enviar SMS
15	19	Estable
18	16	Estable
20	13	Enviar SMS
22	11	Enviar SMS
24	11	Enviar SMS

Como muestra la figura. 87, al probar el funcionamiento del GSM se indica los resultados obtenidos de acuerdo con los datos de la *tabla.15*. El módulo se encarga de enviar el SMS que corresponda, dando aviso una vez que los valores medidos de temperatura se encuentren fuera del (SP) programado.

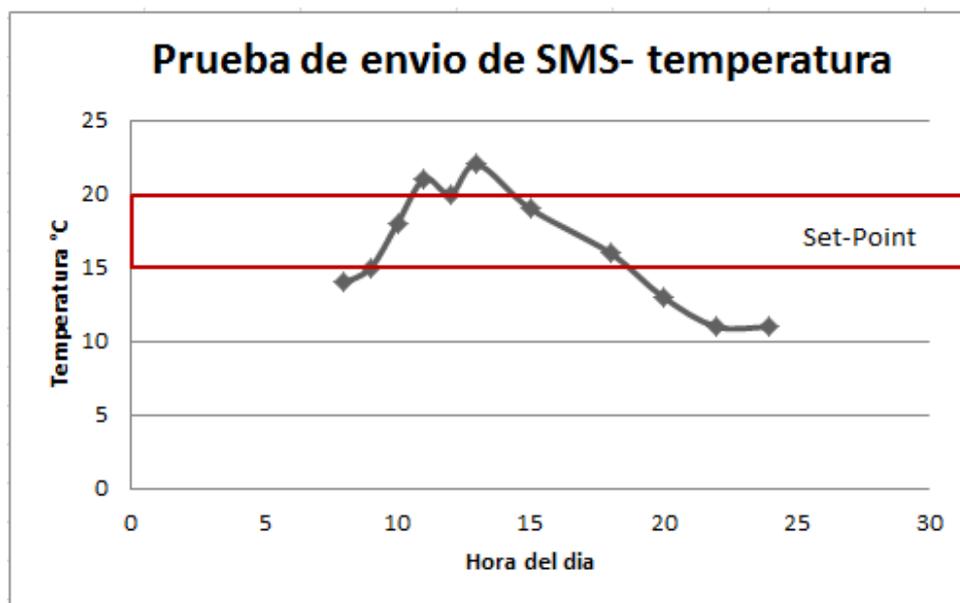


Figura 87. Resultados de las pruebas del GSM (temperatura).

Tabla 16

Datos de prueba del GSM (Humedad Relativa)

Hora del día	HR %	Estado del GSM
8	80	Enviar SMS
9	79	Enviar SMS
10	76	Enviar SMS
11	72	Estable
12	74	Estable
13	70	Estable
15	75	Estable
18	79	Enviar SMS
20	80	Enviar SMS
22	82	Enviar SMS
24	82	Enviar SMS

La figura. 88, se muestra los resultados obtenidos del funcionamiento del módulo GSM de acuerdo con los datos de la tabla.16. El módulo se encarga de enviar el SMS que corresponda, dando aviso una vez que los valores medidos de Humedad relativa se encuentren fuera del (SP) programado.

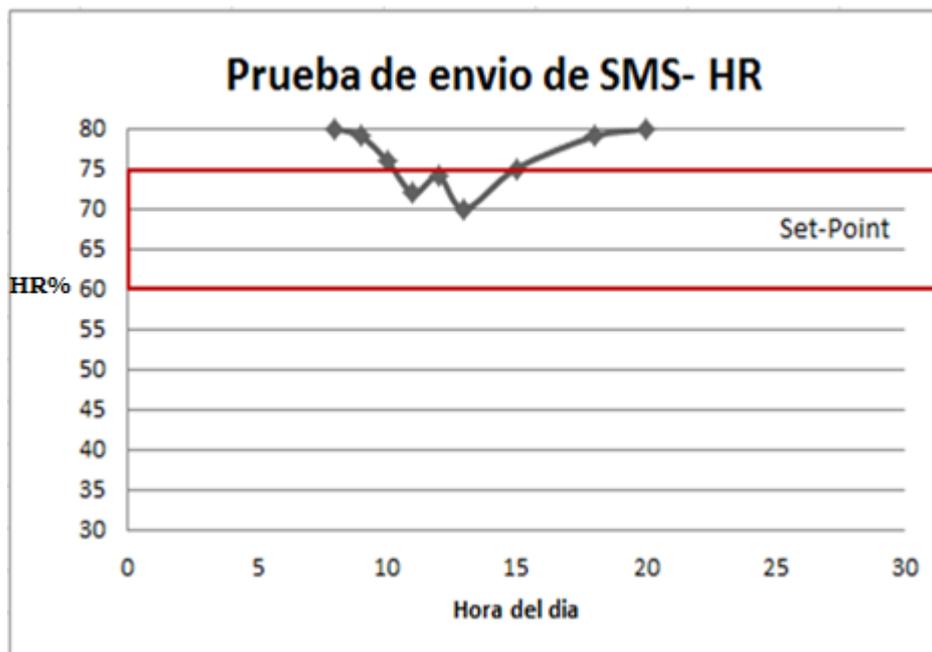


Figura 88. Resultados de las pruebas del GSM (HR)

Se debe tener en cuenta que la temperatura y la humedad relativa son variables climáticas inversas, es decir mientras la una aumenta la otra disminuye y viceversa. Estos datos dan a conocer el resultado del funcionamiento del GSM que se encuentra en perfectas condiciones y operando eficazmente.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

- Mediante el uso del sistema implementado, se logró optimizar el cultivo de frutillas, gracias al monitoreo de las variables climáticas en sus umbrales de trabajo óptimos, para temperatura de 15 a 20 °C y para humedad relativa de 60 a 75%, así se pudo disminuir daños que originan las condiciones climáticas extremas sobre las plantas.
- Gracias a la tecnología que avanza a pasos agigantados, se logró realizar un sistema de monitoreo óptimo con sensores de alta fiabilidad y de costos no muy elevados, como son los sensores digitales DHT22 de la familia Arduino, muy útiles debido a que este solo sensor es capaz de medir temperatura y humedad relativa al mismo tiempo y para la humedad de suelo el sensor YL-69 con su modulo YI-38.
- Se incorporó al proyecto el módulo GSM SIM 900 para el envío de alerta vía SMS, optimizando de esta manera tiempo en la comunicación y logrando tener alcance en cualquier parte del mundo donde exista tecnología GSM.
- El sistema de monitoreo logro funcionar con completa eficacia, también gracias a la protección para los equipos que es una parte muy importante, asegurando que no exista desgaste por factores ambientales y garantizar su perfecto funcionamiento.

4.2 Recomendaciones.

- Se debe acudir a fuentes seguras con experiencia, más recomendable a profesionales en agricultura que puedan orientar acerca de los niveles óptimos de las variables climáticas en base a estudios, de esta manera lograr una calibración del sistema adecuada y por consecuente un buen resultado en la producción de cultivos.
- Para desarrollar el proyecto se recomienda primero realizar un análisis y diseño de los componentes a utilizar, incluyendo costos y calidad, de esta forma evitaremos el uso de componentes caros e innecesarios que resulten una fuga económica y no aporten ningún bien al proyecto.
- Respecto al sensor de humedad de suelo es recomendable al momento de realizar las mediciones, utilizarlo en cortos tiempos, debido a que el uso excesivo de los electrodos, puede deteriorarlos y con el tiempo dar mediciones falsas. También se recomienda realizar un estudio más a fondo acerca de los módulos GSM ya que son elementos muy eficientes y de costo no muy elevado, que pueden ser utilizados para innumerables proyectos.
- Se debe dar una adecuada protección y mantenimiento continuo de los equipos, de esta forma alargará la vida útil de los mismos, así se logrará reducir costos en cambios de equipos en caso de falla.

Bibliografía

- Aosong Electronics Co, Ltd. (2014). *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module* . Obtenido de Spark Fun Electronics:
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- Arduino . (2016). *Arduino Genuino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Barrios, V. (3 de abril de 2014). *Sensor de humedad*. Obtenido de Es.slideshare.net:
<https://es.slideshare.net/valentinabbrm/sensor-de-humedad>
- Bolaños, D. (10 de 12 de 2011). *Modulos de Rf para radiocontrol*. Obtenido de
http://www.bolanosdj.com.ar/TEORIA/MODULOS_DE_RF.pdf
- Bolaños, D. (19 de 10 de 2013). Obtenido de Manejo de display LCD:
<http://www.bolanosdj.com.ar/SOBRELCD/TEORIALCDV1.pdf>
- Carolyn, M. (27 de 10 de 2011). *Conceptos Básicos sobre sensores de temperatura*.
 Obtenido de
<http://www.digikey.com/es/articles/techzone/2011/oct/temperature-sensors-the-basics>
- Castilla, N. (2007 segunda edicion). *Invernaderos de plastico, tecnologia y manejo. mexico.*
- DSPACE JSPUI. (2006). *Generalidades de las Tecnologias de comunicacion celular y satelital GPS*. Obtenido de
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2348/1/CD-0023.pdf>
- Electronica 60 Norte. (s.f). *Displays de cristal liquido*. Obtenido de
<http://www.electronica60norte.com/mwfls/pdf/displayLCD.pdf>
- electronica2000. (s.f). *Sensores de temperatura tipos y aplicaciones*. Obtenido de electrónica 2000.com:
<http://www.electronica2000.com/temas/sensores-temperatura.htm>

- Erazo, M., & Sanchez, J. (2011). Control y supervisión de variables en un sistema de antiheladas, riego y ventilación para optimizar los cultivos bajo un invernadero. (Tesis de Ingeniería). Latacunga, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de las Fuerzas Armadas, ESPE.
- España, M. (2003). *Servicios Avanzados de Telecomunicacion*. Madrid, España: Diaz de Santos.
- Fernández, A., Gonzáles, D., & Rubio, A. (2002). *Telefonia Movil: Transmisión y redes de datos*. Obtenido de http://www.uhu.es/fernando.gomez/transydat_archivos/Movil.PDF
- Guzman, J. (2015). Sistema para la supervisión y control de iluminación, temperatura y humedad en un invernadero. Milagro, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador.
- Huidrobo, J. (2005). *Sistemas de Telecomunicación e Informaticos*. Obtenido de Sistemas Telemáticos: <https://books.google.com.ec/books?id=mN5wszBGZEsC&pg=PA37&dq=Comandos+AT&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjfs6qMprbQAhUC7yYKHfmCCbsQ6AEIODAG#v=onepage&q=Comandos%20AT&f=false>
- Infoagro.com. (s.f). *Control climatico en Invernaderos*. Obtenido de http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm
- Jaime, G., & Samir, K. (2001). *Automatización Industrial: Sensores de Humedad*. Universidad Tecnica Federico Santa María.
- La Guia MetAs. (mayo de 2008). *Sensores de humedad tipos y aplicaciones*. Obtenido de metas.com.mx: <http://www.metas.com.mx/guiametas/la-guia-metas-08-05-sensores-de-humedad.pdf>
- National Instruments Corporation. (2016). *National Instruments*. Obtenido de <http://www.ni.com/es-cr.html>

- Pacheco, A. (s.f). *ACEA S.A.* Obtenido de Ventajas y Desventajas del uso de invernaderos: <http://acea.com.mx/articulos-tecnicos/alex-j-pacheco/43-i-introduccion-114-ventajas-y-desventajas-del-uso-de-invernaderos>
- Pedraza, A. (2014). *Arduino para principiantes*. E.E.U.U: It campus academy.
- Rojas, M. (Febrero de 2015). Sistema electrónico para el monitoreo y el control de cultivos utilizando tecnología inalámbrica en la comunidad La Union del cantón Quero mediante software libre (Tesis de Ingeniería). Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Serna, A., Ros, F., & Rico, J. (2010). *Guía práctica de sensores*. Obtenido de books.google.com.ve:
<https://books.google.co.ve/books?id=CuoXCd6ZZqWC&lpg=PA155&dq=Construcci%C3%B3n%20robots%20aficionados&hl=es&pg=PR6#v=onepage&q=Construcci%C3%B3n%20robots%20aficionados&f=false>
- Temarios formativos profesionales. (s.f). *Sensor humedad*. Obtenido de Temariosformativosprofesionales.wordpress.com:
<https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2015/04/sensor-de-humedad.pdf>
- Universidad de Sevilla. (s.f.). *Biblioteca de Ingeniería*. Obtenido de Introduccion al estandar GSM:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F4+Red+GSM.pdf>
- Universidad Interamericana de Puerto Rico. (s.f.). *Sistema Global para Comunicaciones Móviles GSM*. Obtenido de <http://facultad.bayamon.inter.edu/cgonzalezr/ELEN4618/GSM.pdf>
- Universidad Técnica del Norte. (noviembre de 2014). Comunicación Inalámbrica. *Diseño e Implementación de una Alarma domiciliar basada en la comunicación GSM*. Ibarra, Ecuador.
- Urgiles, E., & Colcha, D. (2014). Diseño e Implementación de un sistema de comunicación OMRON-celular para medir la presión arterial (Tesis de

Ingeniería). Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH.

