

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE COMPUTACIÓN Y ELECTRÓNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN PARA LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE UN MÓDULO DE INVERNADERO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A:

ALAN RODRÍGUEZ NÁJERA

DIRECTOR:

D R. ISRAEL AARÓN PALMA QUIROZ

MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO

AGOSTO 2017

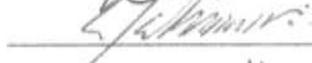
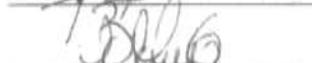




P.D.I.E.T. ALAN RODRÍGUEZ NÁJERA
PRESENTE.

Por este conducto le comunico que el Jurado asignado al trabajo de titulación “DISEÑO DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN PARA LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE UN MODULO DE INVERNADERO” y que después de revisarlo en reunión de sinodales, han decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

| | | |
|--------------------------|--|---|
| PRESIDENTE: | Ing. Emmanuel Gutiérrez Rojas |  |
| PRIMER VOCAL: | Dr. Israel Aarón Palma Quiroz |  |
| SEGUNDO VOCAL: | Dr. Heberto Gómez Pozos |  |
| TERCER VOCAL: | Dr. José Luis González Vidal |  |
| SECRETARIO: | Dr. Esteban Rueda Soriano |  |
| PRIMER SUPLENTE: | Ing. Benigno Martínez Gutiérrez |  |
| SEGUNDO SUPLENTE: | Ing. Claudio Iván Duran Marroquín |  |

UAEH

Sin otro particular, le reitero a usted la seguridad y mi atenta consideración.

ATENTAMENTE.
“AMOR, ORDEN Y PROGRESO”
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, a 1 de Agosto del 2017.


Ing. Emmanuel Gutiérrez Rojas
 Coordinador de la Licenciatura en Ciencias Básicas e Ingeniería en Telecomunicaciones
 Área Académica de Computación y Electrónica

EGR/pov

Ciudad del Conocimiento
 Carretera Pachuca - Tulancingo km. 4.5
 Colonia Carboneras
 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P.
 Tel. +52 771 7172000 ext. 6320

www.uaeh.edu.mx



Agradecimientos

A Dios, por permitirme llegar hasta este punto y darme salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Clara, por brindarme su apoyo en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Ramiro, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis hermanos Iván y Diana, por ser parte significativa en mi vida y a pesar de todo representar la unidad familiar.

A Estefaní, por ser una parte importante de mi vida, por darme su apoyo en las buenas y en las malas, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

A mi amigo Ángel, por ayudarme a realizar este trabajo y que ha sido un apoyo en mi formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos.

A mi asesor, Doc. Israel Aarón Palma Quiroz por su gran apoyo y motivación para la elaboración y culminación de esta tesis.

Dedicatorias

Dedico esta tesis a Dios, a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como espiritual, por su incondicional apoyo mantenido a través del tiempo.

Resumen

En el desarrollo de esta tesis, se realizó un estudio sobre la medición e instrumentación de parámetros físicos de un prototipo de invernadero tipo túnel, el más utilizado en el estado de Hidalgo. Para la medición se utilizó un sensor de la familia DHT y para la instrumentación se empleó un microcontrolador ATmega, que envía simultáneamente los datos de manera inalámbrica, usando radio Bluetooth a un teléfono inteligente con sistema operativo ANDROID® y, procesada en una aplicación que permite visualizar los datos en tiempo real, posteriormente de forma alámbrica a una PC, utilizando dos herramientas informáticas que permiten, por una parte; crear una base de datos y, por la otra, publicarlos en tiempo real a través de un sitio web. Finalmente se realiza la simulación de los parámetros físicos a través del método de elementos finitos, de tal manera que los resultados obtenidos y las conclusiones de este trabajo se presentan al final de esta investigación.

Índice:

| | |
|---|----|
| Agradecimientos | 1 |
| Dedicatorias | 4 |
| Resumen | 5 |
| Índice de figuras..... | 10 |
| Índice de tablas | 16 |
| CAPITULO I INTRODUCCION..... | 17 |
| 1.1 Objetivo General. | 17 |
| 1.2 Objetivos Específicos. | 17 |
| 1.3 Problemática y Justificación. | 18 |
| 1.4 Información General..... | 18 |
| 1.4.1 Metodología de este trabajo..... | 21 |
| 1.5 Hipótesis. | 21 |
| CAPITULO II MARCO TEORICO. | 22 |
| 2.1 ¿Qué son los Invernaderos? | 22 |
| 2.2 Sensores | 27 |
| 2.3 Microcontroladores..... | 29 |
| 2.3.1 Estructura de un microcontrolador | 29 |
| 2.4 Módulo HC-05 | 30 |
| 2.5 Bluetooth..... | 30 |
| 2.5.1 Nivel de Radiofrecuencia | 35 |
| 2.5.2 Nivel de base banda | 36 |
| 2.5.3 Canal físico..... | 36 |
| 2.5.4 Enlaces físicos..... | 37 |

| | |
|---|----|
| 2.5.5 Estados y modos de operación..... | 38 |
| 2.5.6 Estructura y tipos de los paquetes BB..... | 42 |
| 2.6 WPAN | 49 |
| 2.7 Estándares IEEE..... | 51 |
| 2.8 VisiWave® | 54 |
| 2.9 COMSOL Multiphysics ® | 54 |
| 2.10 Visual Studio®..... | 55 |
| 2.11 Lenguaje De Programación Open Source (Processing®) | 55 |
| 2.12 Dweet® | 56 |
| 2.12.1 ¿Qué es y para qué sirve JSON? | 57 |
| 2.13 MIT App Inventor 2® | 57 |
| CAPITULO III SIMULACIONES | 58 |
| 3.1 Introducción. | 58 |
| 3.2 Uso de VisiWave® | 58 |
| 3.3 Análisis de la dinámica de fluidos computacionales (CFD) en COMSOL Multiphysics®..... | 64 |
| 3.3.1 Declaración del problema..... | 64 |
| 3.3.2 Ecuaciones. | 65 |
| 3.3.3 Inserción de las constantes. | 69 |
| 3.3.4 Modelado de la geometría. | 72 |
| 3.3.5 Especificación de las condiciones de frontera para todos los límites. | 74 |
| 3.3.6 Creación de una malla o cuadrícula. | 77 |
| 3.3.7 Resolución de ecuaciones..... | 79 |
| 3.3.7.1 Post procesamiento y visualización..... | 79 |

| | |
|---|------------|
| 3.3.8 Gráficas de resultados (Exportación de datos a Excel)..... | 87 |
| 3.3.8.1 Exportar datos a Excel. | 89 |
| 3.4 Validación de los datos. | 92 |
| 3.4.1 Temperatura y humedad Relativa..... | 93 |
| 3.4.2 Densidad de Agua en Vapor Saturado. | 94 |
| 3.4.3 Medición de la temperatura y humedad relativa por un psicrómetro digital..... | 97 |
| 3.4.4 Saturación de la temperatura y humedad. | 98 |
| CAPITULO IV DESARROLLO DEL PROYECTO..... | 100 |
| 4.1 Introducción..... | 100 |
| 4.2 Descripción del sistema..... | 100 |
| 4.3 Programación de ATmega | 102 |
| 4.4 Programación en Processing..... | 106 |
| 4.5 Programación Visual Studio | 109 |
| 4.6 Programación MIT App inventor 2 | 117 |
| 4.6.1 Etapa de Diseño..... | 117 |
| 4.6.2 Etapa de Programación | 119 |
| 4.7 Programación Dweet | 124 |
| 4.8 Ensamble del Módulo de Invernadero Tipo Túnel | 127 |
| CAPITULO V CONCLUSIONES..... | 134 |
| Apéndice A:..... | 138 |
| Apéndice B: | 139 |
| Apéndice C:..... | 140 |
| Apéndice D: | 141 |
| Apéndice E: | 142 |

| | |
|--------------------|-----|
| Apéndice F: | 145 |
| Apéndice G: | 149 |
| Apéndice H: | 154 |
| Apéndice I: | 158 |
| Glosario | 171 |
| Bibliografía | 173 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura. 1 Control de temperatura e intercambio de CO ₂ por medio de ventanas. A) Apertura para conservación de energía B) Apertura para disparar energía. [7]..... | 22 |
| Figura. 2 Características de los Invernaderos (fuente propia del autor)..... | 26 |
| Figura. 3 Tipos de Sensores. [10] | 28 |
| Figura. 4 Arquitectura de protocolos Bluetooth. [17] | 33 |
| Figura. 5 Correspondencia entre las arquitecturas Bluetooth, IEEE 802 y modelo OSI. [20]..... | 34 |
| Figura. 6 Esquema de transmisión de paquetes multi-slot. [17] | 37 |
| Figura. 7 Diagrama de estados definido en Bluetooth (fuente adaptada de [17]). ... | 39 |
| Figura. 8 Diagrama de Flujo que muestra el comportamiento del proyecto en estados de Standby y Connection (fuente propia del autor). | 40 |
| Figura. 9 Formato del campo de datos (Data Field) (fuente adaptada de [25])..... | 44 |
| Figura. 10 Formato del campo de datos (Data Field) (fuente adaptada de [25]). | 45 |
| Figura. 11 Arquitectura de IEEE 802. (fuente [17]). | 53 |
| Figura. 12 Imagen satelital de ciudad del conocimiento, mostrando el área donde se realizó el análisis de Site Survey (fuente Google Maps®)..... | 59 |
| Figura. 13 Características de Survey Overview (fuente propia del autor). | 60 |
| Figura. 14 AP List (fuente propia del autor). | 61 |
| Figura. 15 Head Map (fuente propia del autor). | 62 |
| Figura. 16 Interference Head Map (fuente propia del autor). | 63 |
| Figura. 17 Modelo de fluido sobre el prototipo (fuente propia del autor). | 69 |
| Figura. 18 Selección de dimensiones y variables (fuente propia del autor). | 70 |
| Figura. 19 Modelo de fronteras del prototipo (fuente propia del autor)..... | 72 |
| Figura. 20 Selección de parámetros físicos (fuente propia del autor)..... | 73 |

| | |
|--|----|
| Figura. 21 Especificación de entorno para el limite 1(fuente adaptada de [36]). | 74 |
| Figura. 22 Especificación de entorno para el limite 2 (fuente adaptada de [36]). | 75 |
| Figura. 23 Especificación de entorno para el limite 3 (fuente adaptada de [36]). | 76 |
| Figura. 24 Medición de elemento finito (fuente propia del autor). | 77 |
| Figura. 25 Creación del flujo Laminar (fuente propia del autor). | 78 |
| Figura. 26 Creación de Velocidad (de acuerdo con COMSOL Multiphysics®, 5.1). | 79 |
| Figura. 27 Vector de velocidad (fuente propia del autor). | 81 |
| Figura. 28 Flotabilidad (fuente propia del autor). | 82 |
| Figura. 29 Solución adimensional para flujo de flotabilidad en una cavidad llena de aire al creciente número de Rayleigh: Temperatura (superficie parcela), el campo de velocidad (flechas), y x-velocidad (contornos). (fuente propia del autor). | 83 |
| Figura. 30 Creación de Presión (fuente propia del autor). | 84 |
| Figura. 31 Presión dentro del prototipo (fuente propia del autor). | 85 |
| Figura. 32 Opción de contornos isotérmicos (fuente propia del autor). | 85 |
| Figura. 33 Contornos isotérmicos dentro del prototipo (fuente propia del autor). | 86 |
| Figura. 34 Dominio de modelización. [42] | 87 |
| Figura. 35 Muestra de temperatura en función de la posición en los tiempos adimensional (fuente adaptada de [42]). | 88 |
| Figura. 36 Exportación de los parámetros a una hoja de cálculo en Excel (fuente propia del autor). | 90 |
| Figura. 37 Parámetros en COMSOL® del prototipo exportados a Excel (fuente propia del autor). | 91 |
| Figura. 38 Análisis de Temperatura y Humedad Relativa del prototipo (fuente propia del autor). | 94 |
| Figura. 39 Saturación de aire (fuente propia del autor). | 96 |

| | |
|--|-----|
| Figura. 40 Datos del psicrómetro digital (fuente propia del autor)..... | 97 |
| Figura. 41 Punto de saturación del aire (fuente propia del autor). | 99 |
| Figura. 42 Arquitectura del Proyecto (fuente propia del autor)..... | 101 |
| Figura. 43 Diagrama de flujo general de cada etapa de la programación del microcontrolador ATmega (fuente propia de los autores). | 105 |
| Figura. 44 Se muestra el diagrama de flujo general de cada etapa de la programación en processing (fuente propia del autor). | 108 |
| Figura. 45 Form1 ventana de diseño (fuente propia del autor). | 109 |
| Figura. 46 Label1 y ComPort (fuente propia del autor)..... | 111 |
| Figura. 47 Botón Connect (fuente propia del autor)..... | 112 |
| Figura. 48 Label Baud Rate y cmbBaud (fuente propia del autor). | 113 |
| Figura. 49 Botón Disconnect (fuente propia del autor). | 114 |
| Figura. 50 Matriz String (fuente propia del autor). | 115 |
| Figura. 51 Vista previa del programa de Visual Studio (fuente propia del autor). . | 115 |
| Figura. 52 Diagrama de flujo general de cada etapa de la programación en Visual Studio (fuente propia del autor). | 116 |
| Figura. 53 Interfaz de MIT App Inventor 2® (fuente propia del autor)..... | 118 |
| Figura. 54 Vista Previa de la app (fuente propia del autor)..... | 119 |
| Figura. 55 Primer módulo de bloques de ListPicker1 (fuente propia del autor). ... | 120 |
| Figura. 56 Segundo módulo de bloques de ListPicker1 (fuente propia del autor). | 120 |
| Figura. 57 Tercer módulo de bloques Clock1 (fuente propia del autor)..... | 122 |
| Figura. 58 Cuarto módulo de bloques Button1 (fuente propia del autor). | 122 |
| Figura. 59 Quinto módulo de bloques Button2 (fuente propia del autor). | 123 |
| Figura. 60 Muestreo de datos en página Dweet (fuente propia del autor). | 125 |

| | |
|---|-----|
| Figura. 61 Diagrama de flujo general de cada etapa de la programación en Dweet (fuente propia del autor). | 126 |
| Figura. 62 Modelo del prototipo de invernadero (fuente propia del autor). | 127 |
| Figura. 63 Base de madera de nicho para para colocar los productos (fuente propia del autor)..... | 128 |
| Figura. 64 Malla Sombra (fuente propia del autor). | 129 |
| Figura. 65 Ensamble de la malla sombra con la base para el módulo (fuente propia del autor)..... | 129 |
| Figura. 66 Diagrama esquemático del circuito (fuente adaptada de Fritzing)..... | 131 |
| Figura. 67 Armado electrónico para el funcionamiento del sensor (fuente propia del autor)..... | 132 |
| Figura. 68 Colocación idónea para el sensor dentro del invernadero (fuente propia del autor)..... | 133 |
| Figura. 69 Invernadero (fuente propia del autor) | 133 |
| Figura. 70 Programación en MIT inventor 2 (fuente propia del autor) | 138 |
| Figura. 71 Programación del software Arduino® (fuente propia del autor)..... | 139 |
| Figura. 72 Programación en Dweet® (fuente propia del autor). | 140 |
| Figura. 73 Programación del software Processing® (fuente propia del autor). | 141 |
| Figura. 74 Código en Visual Studio® parte 1 (fuente propia del autor)..... | 142 |
| Figura. 75 Código en Visual Studio® parte 2 (fuente propia del autor)..... | 142 |
| Figura. 76 Código en Visual Studio® parte 3 (fuente propia del autor)..... | 143 |
| Figura. 77 Código en Visual Studio® parte 4 (fuente propia del autor)..... | 143 |
| Figura. 78 Ventana del programa terminado en Visual Studio® (fuente propia del autor). | 144 |
| Figura. 79 Termómetro de bulbo seco..... | 145 |

| | |
|---|-----|
| Figura. 80 Psicrómetro de giro..... | 146 |
| Figura. 81 Psicrómetro de aspiración (tipo Assman)..... | 146 |
| Figura. 82 Datasheet de ATmega 168 de ATMEL®. [47] | 149 |
| Figura. 83 Datasheet de ATmega 168 de ATMEL®. [47] | 150 |
| Figura. 84 Datasheet de ATmega 168 de ATMEL®. [47] | 151 |
| Figura. 85 Datasheet de ATmega 168 de ATMEL®. [47] | 152 |
| Figura. 86 Datasheet de ATmega 168 de ATMEL®. [47] | 153 |
| Figura. 87 Datasheet de DHT22 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [48] | 154 |
| Figura. 88 Datasheet de DHT22 de Aosong (Guangzhou) Electronics® (referencia). [48] | 155 |
| Figura. 89 Datasheet de DHT22 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [48] | 156 |
| Figura. 90 Datasheet de DHT22 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [48] | 157 |
| Figura. 91 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49] | 158 |
| Figura. 92 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49] | 159 |
| Figura. 93 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49] | 160 |
| Figura. 94 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49] | 161 |
| Figura. 95 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49] | 162 |
| Figura. 96 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49] | 163 |
| Figura. 97 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49] | 164 |
| Figura. 98 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49] | 165 |
| Figura. 99 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49] | 166 |
| Figura. 100 Especificación del espectro y difusión de luz del material maya sombra. | 167 |
| Figura. 101 Influencia de diferentes redes para cultivos opuestos del material maya sombra. | 168 |
| Figura. 102 Especificación de la influencia del material maya sombra roja..... | 169 |

Figura. 103 Especificación de la influencia del material maya sombra gris. 170

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla. 1 Tipos de Invernaderos más usados en Hidalgo (fuente propia del autor). . | 23 |
| Tabla. 2 Descripción de estados de Bluetooth (fuente propia del autor). | 41 |
| Tabla. 3 Tipos de paquetes Bluetooth (fuente adaptada de [25]). | 42 |
| Tabla. 4 Tipos de paquetes ACL [23]. | 48 |
| Tabla. 5 Propiedades del IEEE 802.15.4. Fuente [28] | 50 |
| Tabla. 6 Estándares de Redes Inalámbricas. Fuente [28]. | 51 |
| Tabla. 7 Resumen de las condiciones de frontera comunes para el flujo de fluido. [36] | 67 |
| Tabla. 8 Constantes. [36] | 71 |
| Tabla. 9 Condiciones de los límites. [36] | 75 |
| Tabla. 10 Relación de datos (fuente propia del autor). | 93 |
| Tabla. 11 Densidad de vapor saturado (fuente propia del autor). | 94 |
| Tabla. 12 Densidad del vapor saturado (fuente propia del autor). | 98 |

CAPITULO I INTRODUCCION.

Esta tesis pretende crear un sistema de monitoreo e instrumentación, accesible para condiciones climáticas en el estado de Hidalgo y, cubrir la necesidad de los productores que no pueden adquirir estos sistemas por sus altos costos, usando un prototipo de invernadero de 40cm x 40cm, sometiéndolo a condiciones climáticas propias del estado y, haciendo uso de componentes electrónicos y software imperativo para el sistema.

1.1 Objetivo General.

Definir la instrumentación requerida para obtener los parámetros físicos escogidos en un prototipo de invernadero tipo túnel, mediante el uso de dispositivos electrónicos y herramientas informáticas generadas para este efecto.

1.2 Objetivos Específicos.

- Diseñar el prototipo del invernadero.
- Determinar la instrumentación adecuada para dicho prototipo.
- Desarrollar la programación.
- Realización de medición física de los parámetros seleccionados por medio de un sensor incorporado al instrumento y, su comparación con los obtenidos a través de un dispositivo digital independiente al sistema (Validación).
- Simulación de los parámetros físicos por medio de Comsol Multiphysics®
- Desarrollo de: la base de datos que permita almacenar la información para su análisis posterior, la interfaz en Processing® para publicar los datos en una página web y, de la aplicación en Android® que permita procesar y visualizar los datos recibidos del microcontrolador.
- Mostrar los resultados obtenidos.

1.3 Problemática y Justificación.

Existen diferentes sistemas de medición e instrumentación, que se han utilizado de manera parcial y, que estos no validan la información obtenida de los parámetros, por medio de algún instrumento ajeno al sistema.

Para este trabajo se realiza la instrumentación en el prototipo y se valida con un dispositivo digital, se realizan la modelación y la simulación utilizando la herramienta informática basada en métodos de elementos finitos.

1.4 Información General.

Mediante la siguiente investigación, se pretende comprender y resolver las problemáticas que se plantearon, siguiendo los métodos de diferentes investigadores que, hablan acerca de este tema en particular o que sean afines.

Señala el elevado costo de los invernaderos automatizados, ha hecho que el crecimiento dentro del campo de la agricultura en el país sea muy lento, por lo cual da una solución de un sistema de monitoreo de bajo costo, a través de un servidor web y con sensores de alto rendimiento, aprovechando más los recursos naturales, como la luz solar para el abastecimiento de la energía para los aparatos, así evitando el alto consumo de agua y monitoreando desde casa, evitando la mano de obra. [1]

Para resolver esta problemática se propuso la creación de un prototipo de un invernadero inteligente, capaz de monitorear y regular los principales parámetros de temperatura y humedad necesarios para el crecimiento, y así deslindar al personal de todo mantenimiento y riesgo que se genere; integrando una interfaz gráfica para la fácil operación y monitoreo de dichos parámetros.

Busca diseñar e implementar un sistema para desarrollar cultivos con una alta productividad, desde una escala doméstica a medio mayoreo, mediante el control de las variables más importantes involucradas en el crecimiento de la plantación; como el

manejo de los nutrientes hasta los parámetros ambientales intervenido por un controlador difuso. El sistema será de fácil uso y con visualización de los parámetros, lo que permitirá a toda aquella persona interesada en la agricultura, conocer y aplicar tecnología para el mejoramiento e incremento de la producción de alimentos. [2]

Utilizando un sistema a pequeña escala, conoceremos el funcionamiento del invernadero, formas modernas de cultivo, y el control de los diversos parámetros que permiten el buen desarrollo de las plantas.

Presenta la implementación práctica de un sistema de control de temperatura para un invernadero a escala, utilizando la plataforma Arduino® como una tarjeta de adquisición y tratamiento de datos. Para emular las condiciones del incremento de temperatura debido a un cultivo se hace uso de la técnica de suelo radiante, el cual tiene el flujo de agua caliente a través de una tubería distribuida en la parte inferior del invernadero, mientras que la disminución de la temperatura se aplica el sistema de ventilación por aire forzado. [3]

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de calidad y mayores rendimientos, en cualquier momento del año, a la vez que permiten alargar el ciclo vegetal, permitiendo producir en las temporadas más difíciles y obteniéndose mejores precios. [4]

El incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación, mejorando la estructura del invernadero que se refleja posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final. En la actualidad son numerosos los sistemas de automatización que existen en el mercado para controlar los parámetros climáticos de los invernaderos; la automatización de la apertura de las ventilaciones, radiómetros que indican el grado de luminosidad en el interior del invernadero, instalación de equipos de calefacción, etc. Los parámetros más relevantes en el control que intervienen en un invernadero son relaciones con el clima, riegos, CO₂, humedad, etc. [5]

Estos sistemas se basan en el empleo de una computadora central a la cual, se conectan un conjunto de sensores, que recogen las variaciones de los distintos parámetros respecto a unos valores programados inicialmente. Estos sistemas a su vez pueden estar conectados a los sistemas de fertirrigación que es una técnica que permite la aplicación simultánea de agua y fertilizantes, a través del sistema de riego y de regulación climática. Los sensores se distribuyen en diferentes sectores, pudiendo funcionar cada uno de forma autónoma; en el controlador central se recoge la información captada por los sensores, se coordinan las actuaciones, y se envían las órdenes a los diferentes sectores. [5]

1.4.1 Metodología de este trabajo.

- a). - Crear un sistema a partir de un pequeño módulo de invernadero de 40 x 40 que contendrá una planta, y hará el monitoreo del ambiente a partir de un sensor de temperatura y humedad.
- b). – Hacer un análisis de site survey (estudio de sitio) para identificar el rango de cobertura (en metros) que se tiene del radio Bluetooth al pc.
- c). - Enviar los datos recibidos por el sensor (DHT22) utilizando el radio Bluetooth (HC-05) a un pc.
- d). - Almacenar los datos recibidos en una base de datos desarrollada con la herramienta Visual Studio®.
- e). - Simular de los parámetros físicos por medio de la herramienta Comsol Multiphysics®.
- f). – Realizar la medición física de los parámetros físicos por medio del sensor incorporado al instrumento, y comparar los resultados obtenidos a través de un dispositivo digital independiente al sistema (psicrómetro).
- g). – Enviar los datos por radio a una aplicación hecha para la plataforma de un teléfono inteligente (Android®), donde el usuario podrá verificar los datos medidos del invernadero.
- h). – Publicar los datos en una página web, utilizando software que no requiere equipos de alto rendimiento.
- i). – Mostrar los resultados obtenidos de esta tesis.

1.5 Hipótesis.

¿Es posible obtener los parámetros físicos requeridos para el monitoreo del funcionamiento de un invernadero o su prototipo utilizando dispositivos electrónicos y herramientas informáticas?

CAPITULO II MARCO TEORICO.

En este capítulo se expone el estado del arte sobre la investigación realizada, que permitirá el estudio del conocimiento acumulado dentro de esta tesis.

2.1 ¿Qué son los Invernaderos?

Es un espacio con el microclima apropiado para el desarrollo de una plantación en específico, es decir; es un conjunto de las condiciones climáticas particulares de un lugar determinado, resultado de una modificación del clima de la zona en que se encuentra influido, por los diferentes factores ecológicos y, medioambientales. [6]

Así mismo el invernadero, es una construcción de vidrio o plástico en la que se cultivan plantas, a mayor temperatura que en el exterior, ver figura 1. Aprovecha el efecto producido por la radiación solar que, al atravesar un cristal u otro material traslúcido, calienta los objetos que hay dentro; estos a su vez emiten radiación infrarroja, con una longitud de onda mayor que la solar, por lo cual no pueden traspasar los vidrios a su regreso quedando atrapados y produciendo el calentamiento, algunos cuentan con un control de temperatura e intercambio de CO₂ por medio de ventanas. [7]

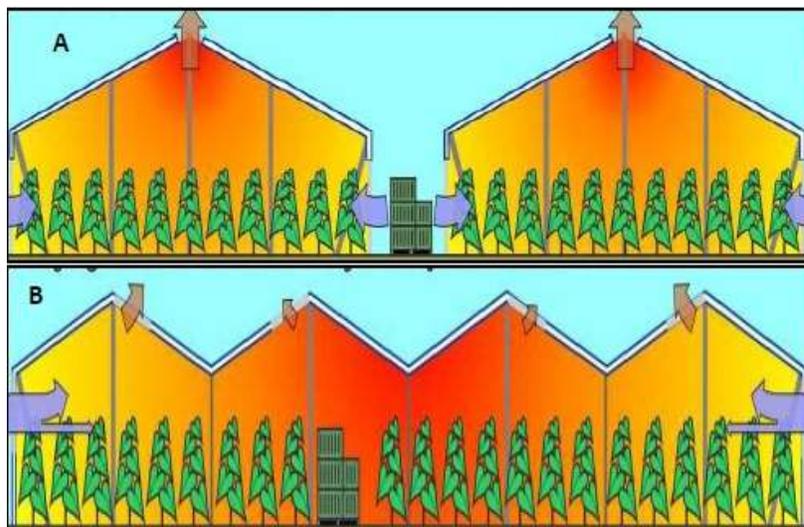
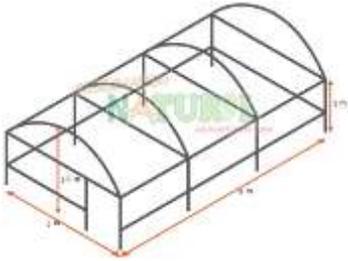
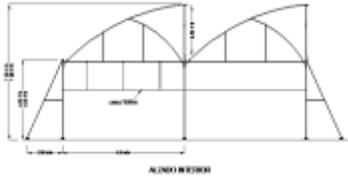


Figura. 1 Control de temperatura e intercambio de CO₂ por medio de ventanas. A) Apertura para conservación de energía B) Apertura para disipar energía. [7]

Tabla. 1 Tipos de Invernaderos más usados en Hidalgo (fuente propia del autor).

| Invernadero | Ventajas | Desventajas |
|--|---|--|
| <p>Tipo Túnel</p>  | <ul style="list-style-type: none"> Alta resistencia a los vientos, y fácil instalación (recomendable para productores que se inician en el cultivo protegido). Alta transmitancia de la luz solar. Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos. | <ul style="list-style-type: none"> Relativamente pequeño, volumen de aire retenido (escasa inercia térmica) pudiendo ocurrir el fenómeno de inversión térmica. Solamente recomendado en cultivos de bajo a mediano porte (lechuga, flores, frutilla, etc.) |
| <p>Tipo Capilla (a dos aguas)</p>  | <ul style="list-style-type: none"> Construcción de mediana a baja complejidad. Utilización de materiales con bajo costo, según la zona (postes y maderos de eucaliptus, pinos etc). Apto tanto para materiales de cobertura flexibles y rígidos. | <ul style="list-style-type: none"> Problemas de ventilación con invernaderos en baterías. A igual altura cenital, tiene menor volumen encerrado que los invernaderos curvos. Mayor número de elementos que disminuyen la transmitancia (mayor sombreo) Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivo |
| <p>Tipo Dientes de Sierra</p>  | <ul style="list-style-type: none"> Construcción de mediana complejidad. Excelente ventilación (lo que no plantea las limitantes del tipo capilla, en cuanto a la conformación de baterías) Empleo de materiales de bajo costo (según zonas). | <ul style="list-style-type: none"> Sombreo mucho mayor que el de capilla, debido a mayor número de elementos estructurales de sostén. Menor volumen de aire encerrado (para igual altura de cenit), que el tipo capilla. |

En México los invernaderos que comúnmente se utilizan son de escasa tecnología, carecen de climatización controlada, en algunos casos el manejo de temperatura y humedad se efectúa mediante la implementación de ventiladores móviles laterales, pero en el 71% se realiza controlando la altura de columnas, y el tamaño de apertura de las ventanas cenitales. Otro tipo de invernaderos cuentan con climatización controlada, en donde el manejo de la temperatura y la humedad se realizan por medio de un sistema de calefacción, control de la concentración de CO₂, aperturas móviles de las ventanas laterales y de la cobertura.

Cuatro estados concentran la mayor superficie de cultivo en invernadero; Sinaloa (30%), Baja California (16%), Estado de México (12%) y Jalisco (7%). Estas entidades aportan más del 50% de la producción total de cultivos protegidos. El tomate es el principal cultivo bajo agricultura protegida (70%) en México (roma, bola, cherry), seguido de pimiento (en todos sus colores), pepino (europeo y americano), berenjena y chile picoso. El 60% de la producción en invernadero se exporta, y el 70% de dicho volumen de exportación corresponde al tomate. Por otra parte, México no cuenta con suficiente personal técnico capacitado en la producción en invernaderos, y la mayoría de productores con espacio productivo inferior a 5 hectáreas. [8]

Uno de los problemas que enfrentan los invernaderos es moderar y controlar el incremento o descenso en la temperatura que ocurre en marcados períodos del año. La producción agrícola en México se encuentra estancada debido a una diversidad de factores naturales, económicos sociales y políticos. [8]

La temperatura es el parámetro más importante a controlar dentro del invernadero, ya que es el factor que presenta una mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Cada cultivo tiene su propia temperatura que está en un rango entre 10° y 25° C para su desarrollo. Para el manejo de la temperatura al interior de los invernaderos, es necesario conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. [7]

La ventilación afecta en primer lugar a la temperatura interna, todos los invernaderos necesitan evaluar el exceso de calor que se produce en los momentos de alta insolación. Con el control del clima en el invernadero se trata de dotar a la planta de ambientes

favorables o al menos, unas condiciones óptimas. Además de esto, es importante que el aire que rodea a las plantas sea renovado, ya que es el medio en donde las plantas respiran y realizan sus funciones fisiológicas. [7]

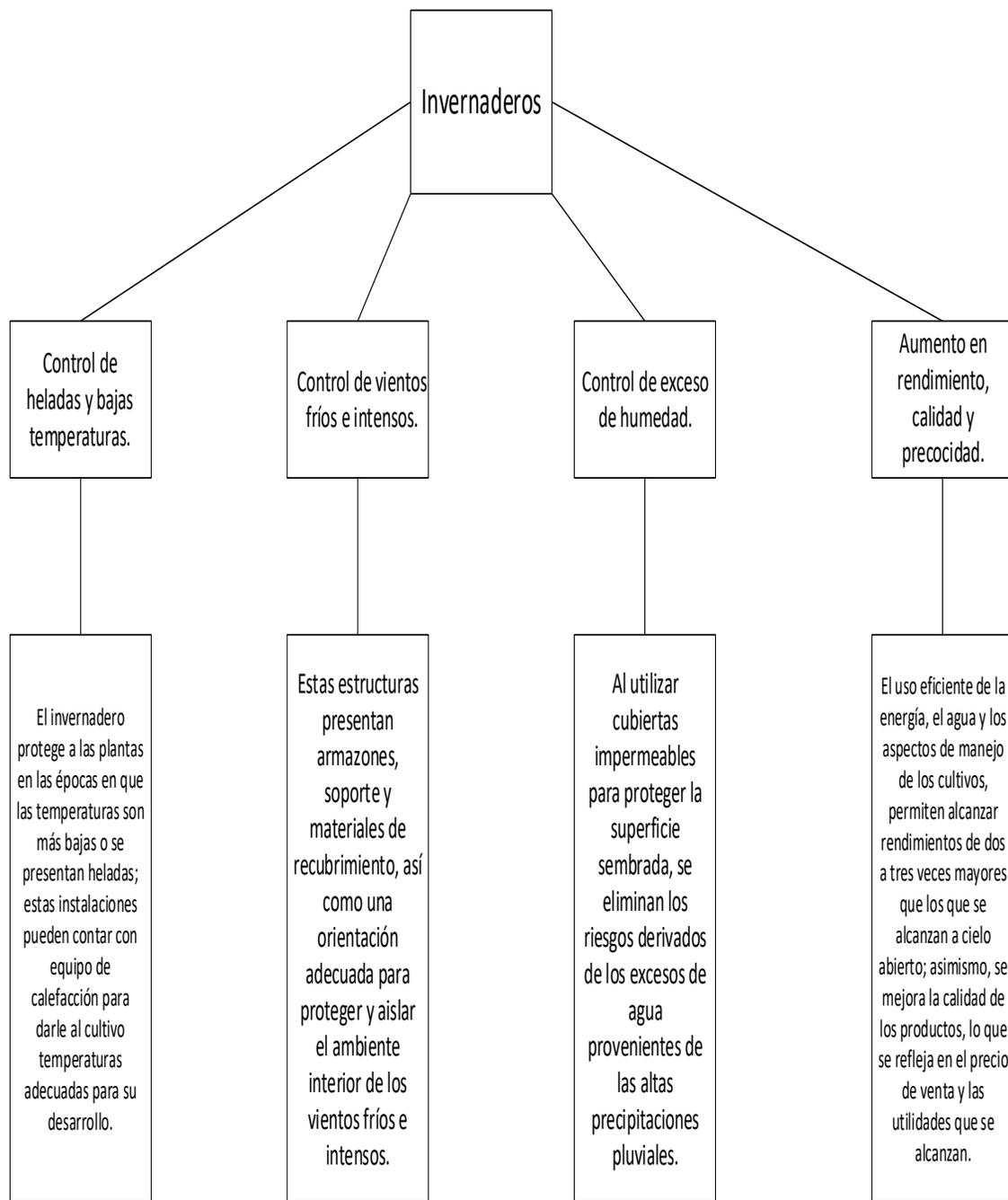


Figura. 2 Características de los Invernaderos (fuente propia del autor).

2.2 Sensores

Los sensores son detectores que tienen la capacidad de medir algún tipo de cualidad física que está sucediendo, como la presión o la luz. El sensor convertirá la medición en una señal que uno será capaz de leer. La mayoría de los sensores en uso hoy en día son en realidad capaces de comunicarse con un dispositivo electrónico, que hará la medición y registro. Hoy en día, se pueden encontrar sensores con una amplia gama de diferentes dispositivos, que se utilizan con regularidad. Los sensores son una parte muy común de la vida cotidiana. [9]

A continuación, en la figura 3 se muestran los diferentes tipos de sensores:

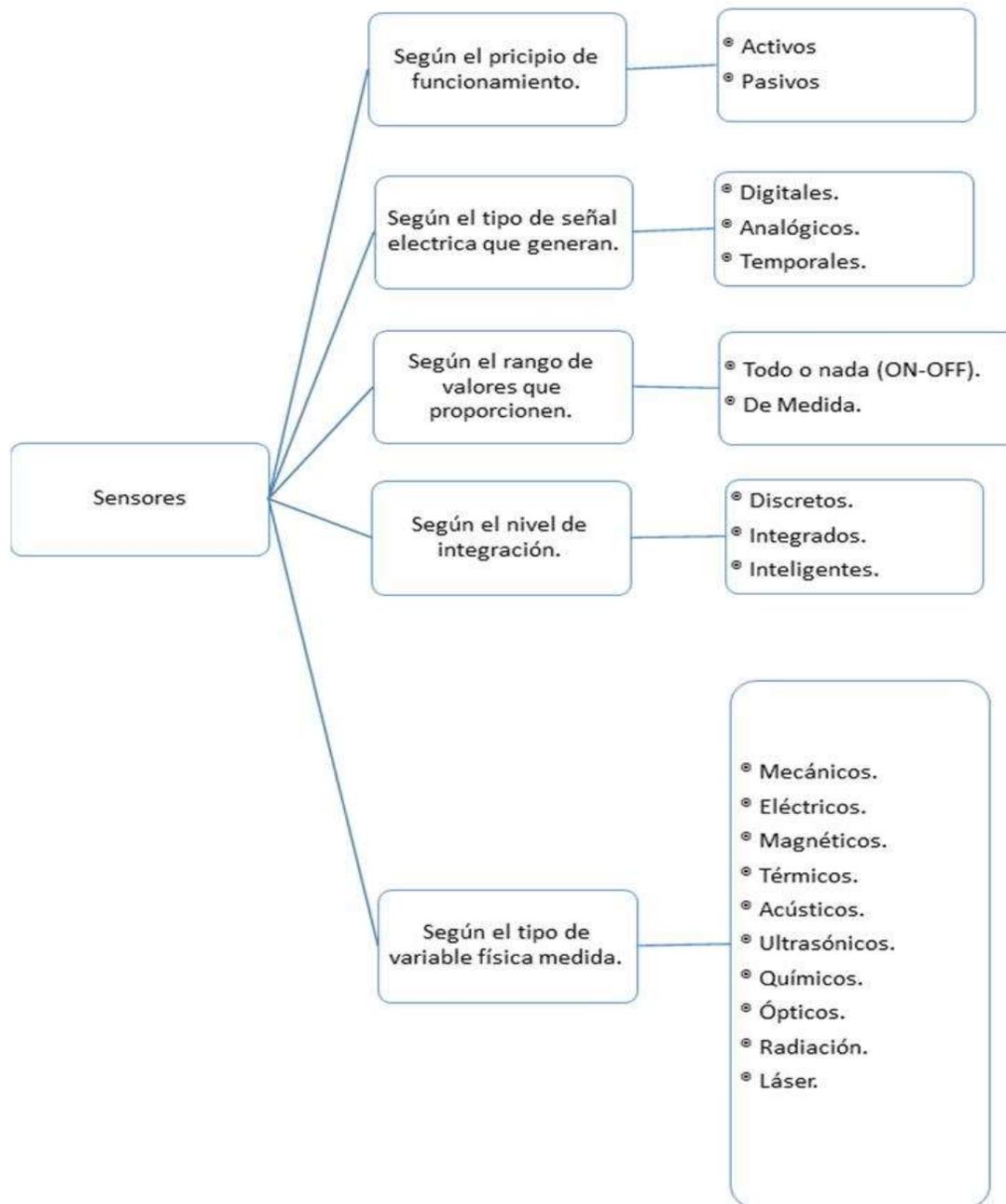


Figura. 3 Tipos de Sensores. [10]

2.3 Microcontroladores.

Los microcontroladores son pequeños dispositivos producto de la microelectrónica, generalmente de arquitectura cerrada, que fusionan en una misma pastilla de silicio las tres unidades funcionales de una computadora, aplicados a situaciones específicas de control y capaces de incorporar unidades adicionales, que amplían su capacidad de interacción con el medio incluso llegando a comportarse como sistemas abiertos. [11]

En síntesis, el microcontrolador es una pequeña computadora utilizada para aplicaciones puntuales, esto quiere decir que el microcontrolador debe incluir ciertas unidades fundamentales y comunes en cualquier computadora. Los microcontroladores representan la gran mayoría de chips de computadoras vendidos en el mundo, de estos más del 50% son microcontroladores básicos y el restante son DSP o Procesador Digital de Señales.

2.3.1 Estructura de un microcontrolador

La estructura de un microcontrolador se compone de unidades fundamentales, similares a las unidades en una microcomputadora, estas unidades son:

- CPU, Unidad Central de proceso, los microcontroladores generalmente se basan en el núcleo de un microprocesador, por ejemplo; el Intel 8080, Z80, Motorola 6800 entre otros. [12]
- Memoria ROM y RAM, dentro del microcontrolador se construyen bloques de memoria necesaria para almacenar el programa, los datos y demás registros necesarios para implementar el proceso de control. Coexisten dos tipos de memoria; memoria ROM, es el sitio donde se almacena el programa (memoria de programa), consta de unos cuantos KBytes de memoria, suficientes para almacenar el programa en código máquina, y la memoria RAM, en ella se almacenan datos temporales (memoria de datos), usualmente es de poca capacidad, porque las aplicaciones de control, instrumentación y automatización no requieren grandes espacios de almacenamiento temporal. [12]

- Puertos I/O, puertos de entrada / salida, son pines del microcontrolador destinados a comunicar el microcontrolador con el entorno, usualmente los pines pueden tener varias funciones las cuales se configuran por registros internos que varían entre familias de fabricantes y la gamma de la familia. [12]

Los microcontroladores tienen una clasificación similar a la de los microprocesadores, es decir, se clasifican de acuerdo a la longitud de palabra desde los 4bits, 8bits, 16bits. [13]

2.4 Módulo HC-05

El módulo Bluetooth HC-05 fabricado por Sigma electrónica®, cuenta con su puerto TxD (Transmisor de Datos) y RxD (Receptor de Datos), que nos permite realizar comunicaciones inalámbricamente a 10 metros de distancia máxima, resultando muy fáciles de manejar gracias a su SPP (Serial Port Protocol) de bajo consumo, ya que trabajan a 3.3 Volts. Dicho módulo resulta popular para aplicaciones con microcontroladores PIC. [14]

El módulo HC-05 opera como Maestro-Esclavo, esto quiere decir que además de recibir conexiones desde una PC o Smart Phone, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos.

El HC-05 tiene un modo de comandos AT que debe activarse mediante un estado alto en el PIN34 mientras se enciende (o se resetea) el módulo. En las versiones para protoboard este pin viene marcado como “Key”. Una vez que estamos en el modo de comandos AT, podemos configurar el módulo Bluetooth y cambiar parámetros como el nombre del dispositivo, password, modo maestro/esclavo, etc. [15]

2.5 Bluetooth

La finalidad con la que se concibe la tecnología Bluetooth es reemplazar el cable de conexión entre dispositivos electrónicos, fijos o móviles, por un enlace radio de corto alcance (10–100 m), robusto frente a desvanecimientos e interferencias y que permita la transmisión fiable de voz y datos. Para ello se utiliza una técnica de espectro ensanchado,

denominada frequency hopping, que consiste en ir seleccionando de forma pseudo-aleatoria la frecuencia a la que hay que sintonizar el transceptor radio. [16]

El sistema Bluetooth proporciona conexiones punto a punto (entre dos unidades Bluetooth) o punto-multipunto. Cuando dos o más unidades comparten el mismo canal se constituye una piconet, en la que un dispositivo actúa como maestro y los restantes como esclavos. [17]

En una piconet puede haber hasta siete esclavos activos, no obstante, el llamado modo PARK (parque) permite que haya muchos más esclavos participando en la piconet, que aunque no se encuentran activos, sí están sincronizados con la misma. [18]

Varias piconets con áreas de cobertura solapadas, dan lugar a lo que se denomina una scatternet, que es un grupo de piconets interconectadas. Se forma una scatternet cuando, un esclavo se conecta a más de una piconet, o bien, en el momento en que un maestro participa en otra piconet como esclavo. [19]

Las piconets que coexisten en una scatternet, no están sincronizadas en frecuencia. Esto significa que cada piconet tiene su propia secuencia de salto.

La arquitectura de protocolos consta de los siguientes componentes:

- El subsistema Bluetooth Controller o Controlador Bluetooth, conocido como módulo Bluetooth, del que forman parte los tres niveles inferiores: Radio Frequency (RF), Baseband (BB) y Link Manager (LM). [17]
- El subsistema Host, al que pertenecen el nivel L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) y las restantes capas superiores. [17]

No obstante, la arquitectura que se presenta en la figura 4 responde a una implementación muy habitual, en la que se incluye una interfaz opcional de comunicación física denominada HCI (Host Controller Interface), que está integrada por tres componentes: HCI Driver, HCTL (Host Controller Transport Layer) y HCI Firmware (Host Controller Interface Firmware). Aunque esta interfaz es opcional, su utilización permite garantizar la interoperabilidad entre subsistemas Bluetooth (Host y Bluetooth Controller). [17]

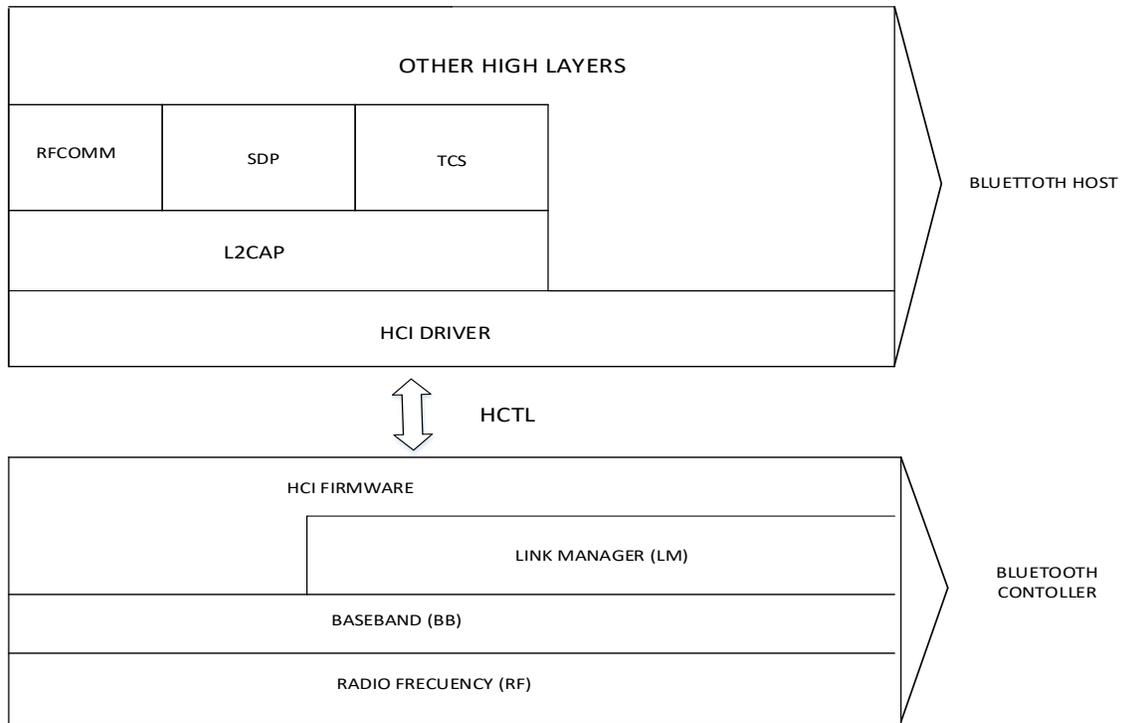


Figura. 4 Arquitectura de protocolos Bluetooth. [17]

En relación con el estándar IEEE 802 se incorporan como nivel LCC (Logical Link Control), MAC (Medium Access Control) y como nivel físico (PHY), para el 802.15.1, cabe destacar que en su definición las capas L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol), LM (Link Manager) y BB (Baseband), la capa RFCOMM (Radio Frequency Communication), quedando fuera del ámbito del estándar 802.15.1, los protocolos situados por encima del nivel L2CAP. La figura 5 ilustra la correspondencia definida en la primera sección del estándar 802.15.1, así como la equivalencia con el modelo Open Systems Interconnection (OSI). Las funciones de los niveles BB (Baseband), RF (Radio Frequency), LM (Link Manager), HCI (Host Controller Interface) y L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) se describen someramente en los sucesivos apartados de esta sección. [20]

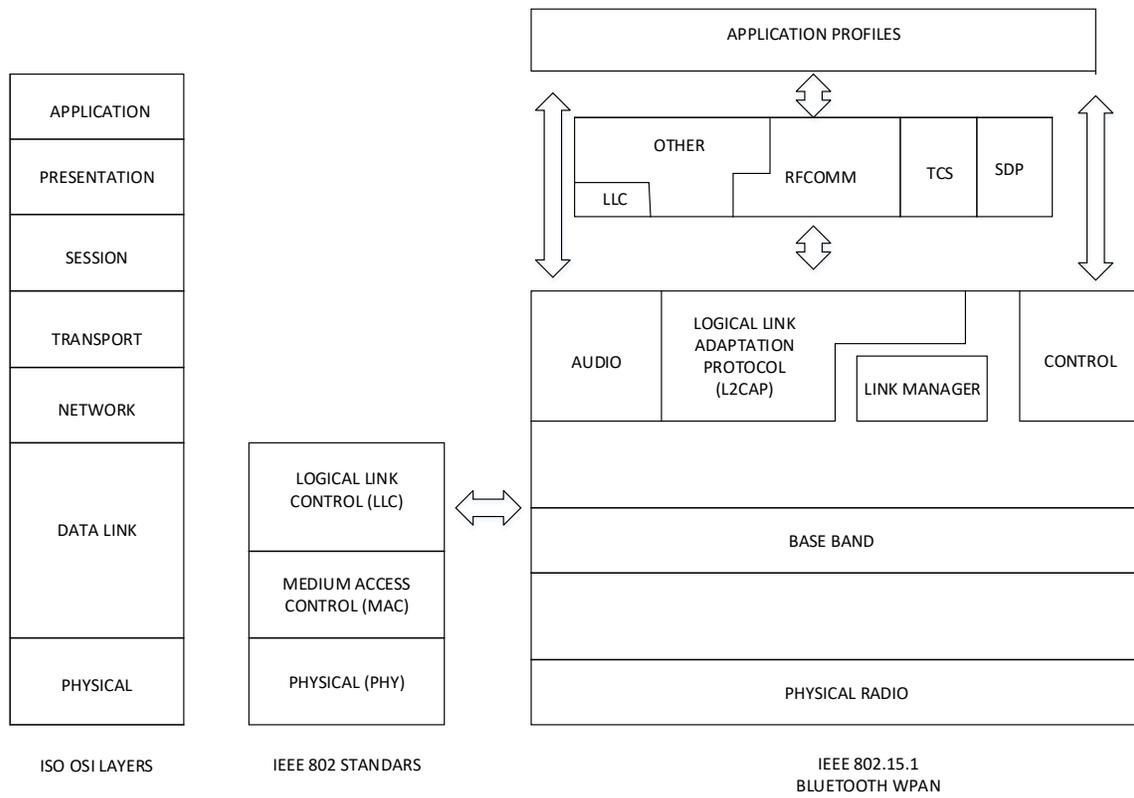


Figura. 5 Correspondencia entre las arquitecturas Bluetooth, IEEE 802 y modelo OSI. [20]

2.5.1 Nivel de Radiofrecuencia

Las características que definen al subsistema radio son las siguientes:

Opera en la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) a 2,4 GHz, concretamente en la banda 2,4000–2,4835 GHz, para la que se definen 79 canales espaciados, 1 MHz a las frecuencias $f = 2402 + k$ MHz con $k = 0, \dots, 78$. Y, en la banda 2,4465–2,4835 GHz en la que se sitúan 23 canales de RF en las frecuencias $f = 2454 + k$ MHz con $k = 0, \dots, 22$.

Mediante la utilización de una banda u otra, la especificación Bluetooth contempló el hecho de que la banda de operación elegida, ISM a 2,4 GHz, de libre uso a nivel mundial, inicialmente no dispusiera en todos los países del mismo rango de frecuencias. [17]

- Transmisión a 24Mbps (3MB/s).
- Empleo de modulación GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying), para minimizar la complejidad del transceptor.
- Cambio de la frecuencia de operación a una velocidad de 1600 saltos/s (frequency hopping).
- Consumo de potencia que, dependiendo de la clase del dispositivo Bluetooth.

2.5.2 Nivel de base banda

El nivel BB realiza el control de la temporización de transmisión y recepción, determina la secuencia de salto que define el canal de la piconet, genera todos los tipos de claves existentes, y efectúa el procesamiento de los datos de las capas superiores (L2CAP y LM) componiendo y descomponiendo, los paquetes en los que se transmiten y reciben estos datos. El nivel BB, además, proporciona, para determinados tipos de paquetes, mecanismos de control de errores y de flujo. [20]

En relación con este nivel, los conceptos de canal físico y de enlace físico se definen en los siguientes puntos, también se resume la máquina de estados y los modos de operación definidos en la especificación Bluetooth, por último, se presenta la estructura del paquete Bluetooth y los tipos de paquetes utilizados, para la transmisión de datos de los niveles superiores sobre los enlaces físicos proporcionados por el nivel BB. [21]

2.5.3 Canal físico.

El canal está representado por una secuencia de salto pseudo-aleatoria de 79 o 23 canales de RF, es decir, saltos consecutivos se corresponden a RF diferentes. Esta secuencia es única para cada piconet, ya que se determina a partir de la dirección Bluetooth y del reloj del maestro. [21]

El canal está dividido en «ranuras» temporales o time slots de 625 ms de duración. Los slots se numeran de acuerdo con el reloj del maestro de la piconet, comenzando en 0 y finalizando en 227. Por este motivo, se dice que los dispositivos integrantes de una piconet están sincronizados al canal en tiempo y frecuencia. [20]

Maestro y esclavos alternan sus transmisiones siguiendo un esquema TDD (Time Division Duplex), de forma que el maestro debe transmitir en los slots pares y los esclavos en los impares, siempre y cuando hayan sido direccionados por el maestro en el slot anterior.

A cada slot corresponde una RF de la secuencia de salto. Sin embargo, en el caso de que el paquete transmitido ocupe más de un slot, la frecuencia no cambiará mientras dure el paquete, y la frecuencia de transmisión del próximo paquete estará correspondiente al slot en el que se envía. Por ejemplo, en la figura 6 muestra un esquema de transmisión de paquetes multi-slot, en el cual se observa; que si un paquete de tres slots se transmite a la frecuencia $f(k)$, la siguiente frecuencia a emplear será $f(k+4)$ y no $f(k+2)$. [17]

Así mismo, si el paquete ocupa cinco slots, se muestra que el paquete que se envía en continuación comienza en la frecuencia $f(k+6)$.

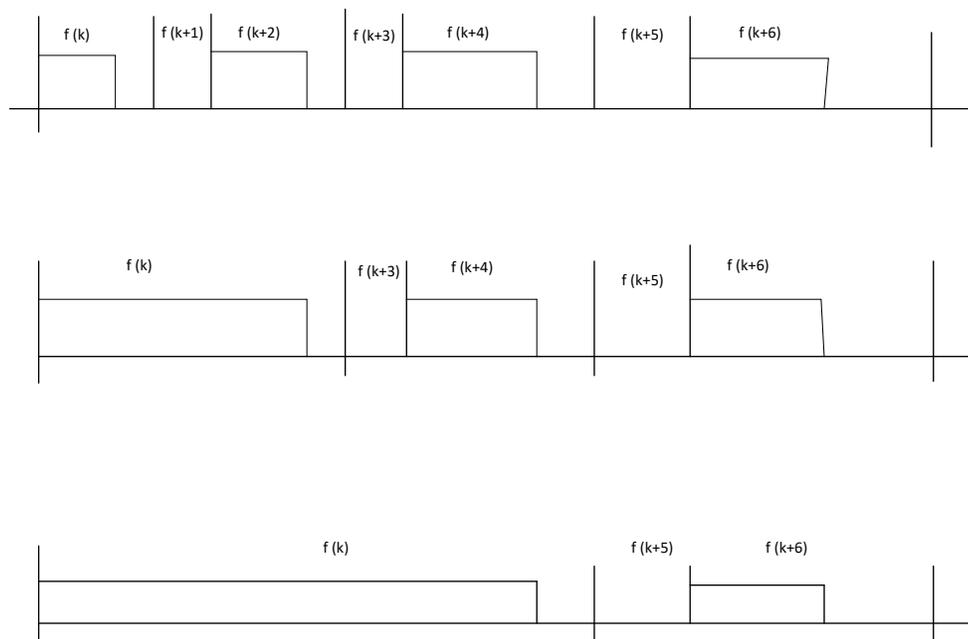


Figura. 6 Esquema de transmisión de paquetes multi-slot. [17]

2.5.4 Enlaces físicos

Entre dos dispositivos Bluetooth pueden establecerse dos tipos de enlaces físicos:

- **SCO (Synchronous Connection-Oriented):** Es un enlace punto a punto, simétrico y orientado a conexión cuyo objetivo es soportar la transmisión de información síncrona, normalmente voz a 64 kb/s. [22]

El enlace SCO reserva slots y, por tanto, puede considerarse como una conexión de conmutación de circuitos entre el maestro y el esclavo. [22]

- ACL (Asynchronous Connection-Less): Es un enlace punto a multipunto entre el maestro y todos los esclavos de la piconet. Este tipo de enlace, que se considera como una conexión de conmutación de paquetes, permite el envío de información asíncrona e isócrona, aprovechando la capacidad que queda libre en los slots no reservados para enlaces SCO. Puede soportarse una tasa de tráfico asimétrica máxima de 723,2 kb/s y hasta 57,6 kb/s en el sentido de comunicación opuesto, o de 433,9 kb/s por cada uno de los sentidos de comunicación. [22]

Una unidad que esté funcionando como maestro, sólo puede tener establecido un enlace ACL con cada uno de los esclavos y hasta tres enlaces SCO, independientemente de que éstos sean con un mismo esclavo o con distintos. [22]

Sin embargo, en el caso de un esclavo, el máximo número de enlaces SCO se ve reducido a dos cuando se establecen con maestros diferentes, ya que es necesario un tiempo de guarda para conmutar de una piconet a otra. [23]

2.5.5 Estados y modos de operación

El diagrama presentado en la figura 7 muestra los estados definidos para el nivel BB. En éste se observa que hay dos estados principales, STANDBY y CONNECTION, y que la transición de STANDBY a CONNECTION, se realiza pasando por los subestados intermedios: inquiry, inquiry scan, inquiry response, page, page scan, slave response y master response. [24]

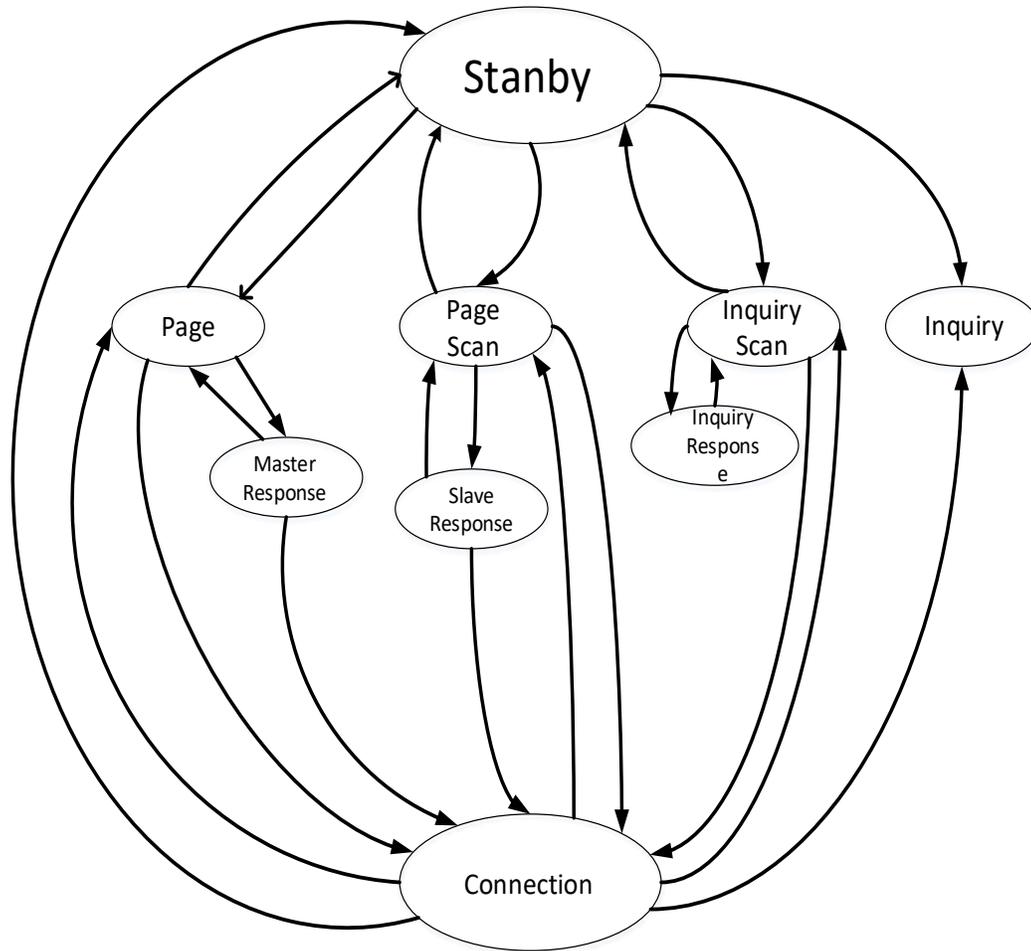


Figura. 7 Diagrama de estados definido en Bluetooth (fuente adaptada de [17]).

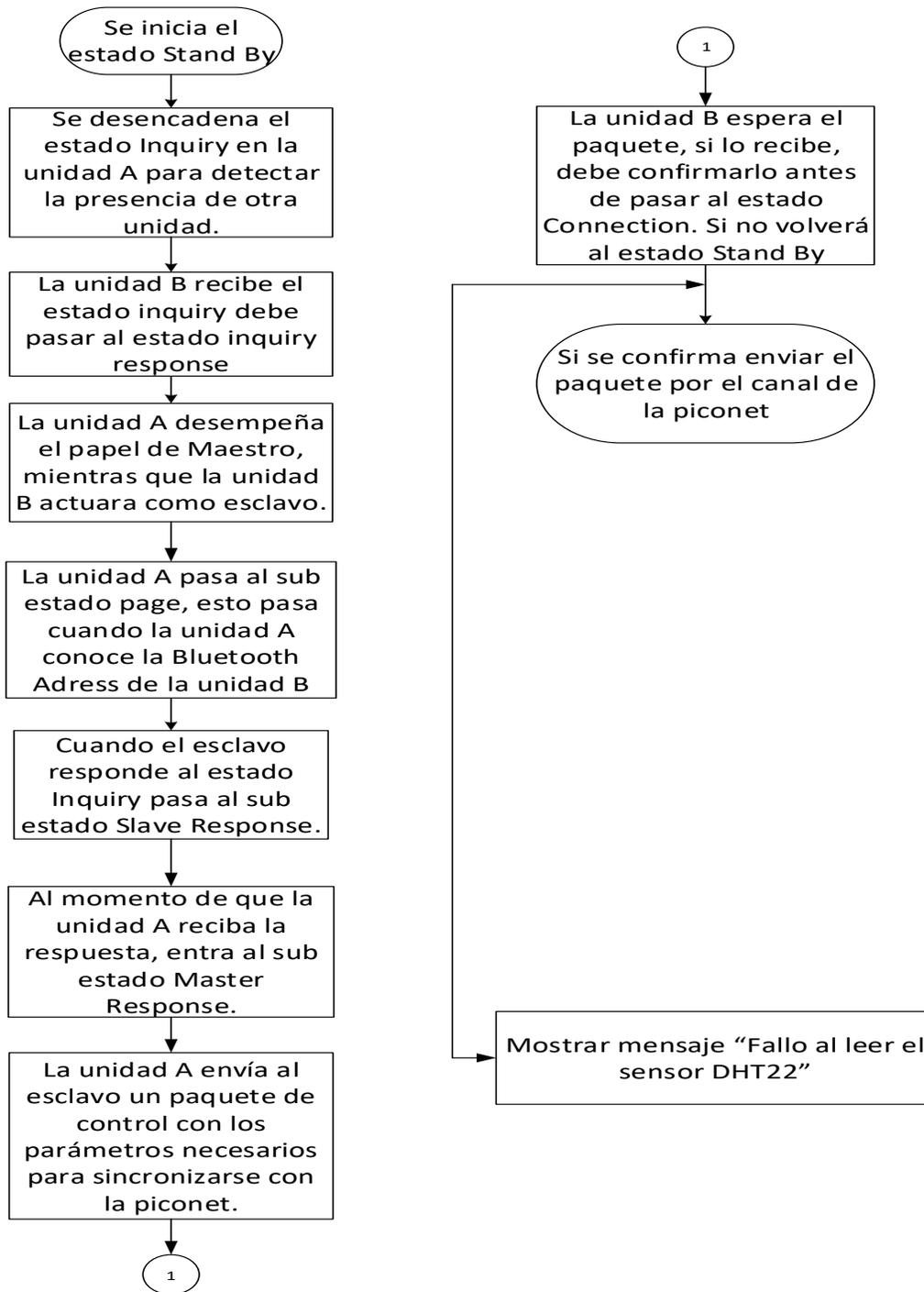


Figura. 8 Diagrama de Flujo que muestra el comportamiento del proyecto en estados de Standby y Connection (fuente propia del autor).

En la tabla 2 se muestran descripciones de los estados principales del Bluetooth.

Tabla. 2 Descripción de estados de Bluetooth (fuente propia del autor).

| Nombre del Estado | Descripción |
|--------------------------|---|
| Stanby | Se trata de un estado de bajo consumo en el que solamente funciona el reloj del sistema, y del que una unidad Bluetooth sale para llevar a cabo un procedimiento de INQUIRY o de PAGE. |
| Inquiry | El proceso consiste en difundir mensajes que contienen, en el primer caso, un código genérico, susceptible de ser reconocido por cualquier unidad Bluetooth, y en el segundo caso, el código definido para la clase de dispositivo que se desea que responda. |
| Page | En el subestado page, el maestro transmite el mensaje de PAGE en la primera y en la segunda mitad de cada slot de transmisión, hasta que el esclavo contesta o, incluso cuando se excede la temporización correspondiente. |
| Master Response | En este subestado, el maestro tiene que enviar al esclavo un paquete de control con todos los parámetros necesarios para que éste pueda sincronizarse con la piconet. |

2.5.6 Estructura y tipos de los paquetes BB

Los paquetes especificados en el nivel BB se clasifican en cuatro grupos.

El grupo 1 engloba los cuatro paquetes de control comunes a ambos tipos de enlaces (ACL y SCO): NULL, POLL, FHS y DM1, y los grupos 2, 3 y 4, los paquetes que ocupan 1, 3 y 5 slots, respectivamente [25]. La tabla 3 muestra la clasificación descrita especificando cada enlace de los paquetes.

Tabla. 3 Tipos de paquetes Bluetooth (fuente adaptada de [25]).

| Grupo | N.º de slots | Enlace SCO | Enlace ALC |
|-------|--------------|-------------|-------------|
| 1 | 1 | NULL | NULL |
| | 1 | POLL | POLL |
| | 1 | FHS | FHS |
| | 1 | DM1 | DM1 |
| 2 | 1 | No definido | DH1 |
| | 1 | HV1 | No definido |
| | 1 | HV2 | No definido |
| | 1 | HV3 | No definido |
| | 1 | DV | No definido |
| 3 | 3 | No definido | AUX1 |
| | 3 | No definido | DH3 |
| 4 | 5 | No definido | DH5 |
| | 5 | No definido | DH5 |

La norma define cuatro paquetes para el enlace SCO: HV1, HV2, HV3 y DV. Los paquetes HV1, HV2, HV3 transportan exclusivamente 10, 20 y 30 octetos de voz, respectivamente. En el caso de los paquetes de tipo HV1, la información se protege con codificación FEC 1/3 (Forward Error Correction), y con FEC 2/3, en el caso de HV2, mientras que en los paquetes de tipo HV3 no se utiliza codificación alguna. El paquete DV permite el envío simultáneo de 10 octetos de voz y de hasta 9 octetos datos, éstos últimos, codificados con FEC 2/3. [25]

Para el enlace ACL se especifican un total de siete tipos de paquetes ACL: DM1, DH1, DM3, DH3, DM5, DH5 y AUX1. Los paquetes ACL para los que se proporciona control de errores, son los de tipo DH (Data High-Rate) y DM (Data Medium-Rate), es decir, todos menos AUX1. [21] [25]

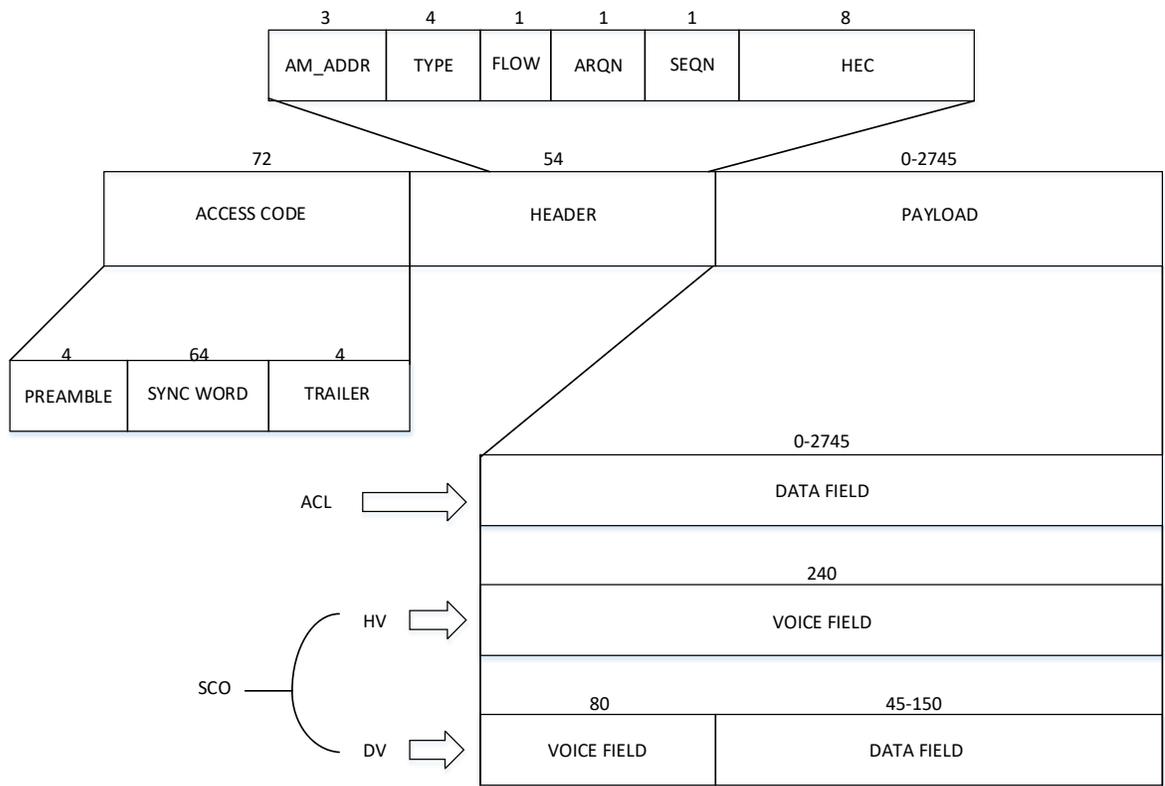


Figura. 9 Formato del campo de datos (Data Field) (fuente adaptada de [25]).

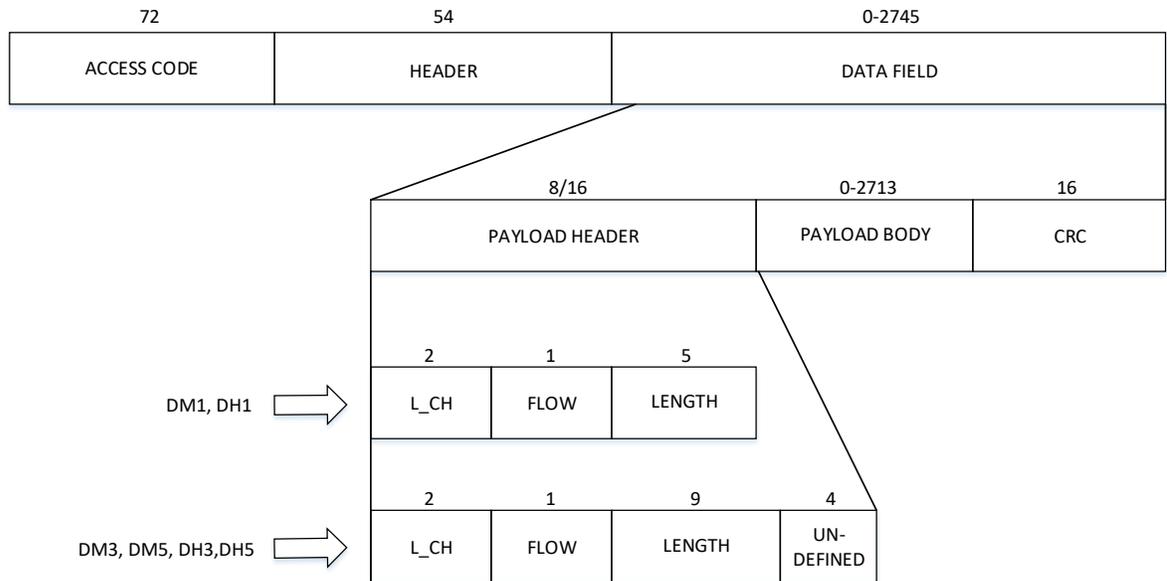


Figura. 10 Formato del campo de datos (Data Field) (fuente adaptada de [25]).

Las figuras 9 y 10 muestran la estructura de los paquetes Bluetooth y formato del campo de datos (el tamaño de los campos está indicado en bits).

Un paquete consta de tres campos, integrados por el número de bits que se indica en la figura 9:

- Código de Acceso (Access Code): Existen tres tipos de códigos: [17]
 - DAC (Device Access Code): Se utiliza en el procedimiento de establecimiento de conexión.
 - IAC (Inquiry Access Code): Se emplea en el procedimiento de búsqueda de dispositivos.
 - CAC (Channel Access Code): Permite identificar la piconet en la que se está intercambiando un paquete ACL o SCO.

- Cabecera (Header): Contiene información de control, estructurada en los siguientes campos, y protegida con codificación FEC 1/3. [17]

- AM_ADDR (3 bits): Dirección del esclavo al que va dirigido el paquete.
 - TYPE (4 bits): Código que identifica el tipo de paquete que se está transmitiendo.
 - FLOW (1 bit): Bit utilizado por el extremo de recepción para controlar el flujo de paquetes en el enlace ACL.
 - ARQN (Automatic Repeat reQuest Number) (1 bit): Bit empleado por el nivel BB, del extremo de recepción para notificar a su homólogo la integridad del paquete recibido o, en su defecto, para solicitar la retransmisión.
 - SEQN (1 bit): Mediante este bit, el nivel BB indica si el paquete que se transmite corresponde o no a una retransmisión.
 - HEC (Header Error Check) (8 bits): Código de verificación de errores de la cabecera.
- Contenido del paquete BB (payload), que transporta la información de las capas superiores. En el caso de los paquetes ACL recibe la denominación de campo de datos (Data Field) y su estructura [22]. Como se muestra en la figura 10, la cual consta de:
 - Una cabecera (payload header), que tendrá una extensión de 8 o de 16 bits, dependiendo de que el paquete ocupe uno o más slots. Este campo contiene la longitud del campo de datos (LENGTH), el canal lógico (L_CH, Logical Channel) y un bit de control de flujo (FLOW).
 - El campo de datos propiamente dicho (payload body), que transporta según indique el campo L_CH de la cabecera, información del nivel LM (L_CH=11), o un fragmento inicial (L_CH=10), o intermedio (L_CH=01), de un mensaje L2CAP.

- El código CRC (Cyclic Redundancy Check): Código de verificación de errores de los datos, que no se incluye en el paquete AUX1. En los paquetes HV el payload contiene únicamente el campo de voz (Voice Field), ya que no existe la cabecera (payload header), ni el código CRC. Sin embargo, en el paquete DV, el payload, consta de un campo de voz y de un campo de datos. [22]

○

En la tabla 4 se indica el tamaño del campo de datos (payload body), para cada tipo de paquete ACL, así también, muestra si la información se protege, o no, mediante codificación FEC 2/3, y si se incluye el código de comprobación CRC. Obsérvese que el paquete AUX1 consigue transportar 2 octetos más que el paquete DH1, por el hecho de que no incluye los dos octetos correspondientes al CRC. Nótese que, a partir de la máxima longitud de los paquetes, logra deducirse que estos no se extienden hasta el final del último (o único) slot. Por ejemplo, un paquete DH1 consta de 366 bits, ocupando tan solo un 58,66% del slot. [23]

Tabla. 4 Tipos de paquetes ACL [23].

| Tipo de Paquete ACL | Tamaño del campo de datos (octetos) | FEC | CRC |
|----------------------------|--|------------|------------|
| DM1 | 0-17 | 2/3 | SI |
| DH1 | 0-27 | NO | SI |
| DM3 | 0-121 | 2/3 | SI |
| DH3 | 0-183 | NO | SI |
| DM5 | 0-224 | 2/3 | SI |
| DH5 | 0-339 | NO | SI |
| AUX1 | 0-29 | NO | NO |

2.6 WPAN

Las redes inalámbricas de área personal WPAN por sus siglas en inglés Wirless Personal Area Network, son redes que comúnmente cubren distancias del orden de los 10 metros como máximo, normalmente utilizadas para conectar varios dispositivos portátiles personales sin la necesidad de utilizar cables. Esta comunicación de dispositivos peer-to-peer normalmente no requiere de altos índices de transmisión de datos.

La tecnología inalámbrica Bluetooth™, por ejemplo, tiene un índice nominal de 10 metros con índices de datos de hasta 1Mbps. El tipo de ámbito y los relativos bajos índices de datos, tienen como resultado un bajo consumo de energía haciendo a la tecnología WPAN, sea adecuada para el uso con dispositivos móviles pequeños, que funcionan con baterías, tales como teléfonos celulares, asistentes personales PDAs (Personal Digital Assistant o Ayudante personal digital) o cámaras digitales. [26]

La tecnología principal WPAN es Bluetooth, lanzado por Ericsson en 1994. Ofrece una velocidad máxima de 1 Mbps con un alcance máximo de unos treinta metros [18]. La tecnología Bluetooth, también conocida como IEEE 802.15.4, tiene la ventaja de tener un bajo consumo de energía, algo que resulta ideal para usarla en periféricos de pequeño tamaño. [27]

La tabla 5 muestra las propiedades de la tecnología principal WPAN en el estándar IEEE 802.15.4

Tabla. 5 Propiedades del IEEE 802.15.4. Fuente [28]

| Propiedad | Rango |
|-------------------------------|---|
| Rango de transmisión de datos | 868 MHz: 20kb/s; 915 MHz: 40kb/s; 2.4 GHz: 250 |
| Alcance | 10 – 20 m. |
| Latency | Abajo de los 15 ms. |
| Canales | 868/915 MHz: 11 canales. |
| Bandas de frecuencia | Dos PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz. |
| Direccionamiento | Cortos de 8 bits o 64 bits IEEE |
| Canal de acceso | CSMA-CA y rasurado CSMA-CA |
| Temperatura | El rango de temperatura industrial: -40° a +85° C |

2.7 Estándares IEEE

Dentro de la amplia gama de estándares que existen en la IEEE (Instituto de Ingenieros Electricos y Electronicos) el estandar 802, dicta los protocolos a seguir para las diferentes familias de redes de área local (LAN), y las redes de área metropolitana, actuando principalmente por medio de las 2 capas inferiores del modelo OSI [28]. Los estándares y su descripción se muestran en la tabla 6.

Tabla. 6 Estándares de Redes Inalámbricas. Fuente [28]

| Estándar | Descripción |
|----------|--|
| 802.1 | Establece los estándares de interconexión, relacionados con la gestión de redes. |
| 802.2 | Define el estándar general para el nivel de enlace de datos. El IEEE divide este nivel en dos subniveles: los niveles LLC y MAC. El nivel MAC varía en función de los diferentes tipos de red, y está definido por el estándar IEEE 802.3. |
| 802.3 | Define el nivel MAC para redes de bus que utilizan acceso múltiple, por localización de portadora con detección de colisiones (CSMA/CD, Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection). Éste es el estándar Ethernet. |
| 802.4 | Define el nivel MAC, para redes de bus que utilizan un mecanismo de paso de testigo (red de área local Token Bus). |
| 802.5 | Define el nivel MAC para redes Token Ring (red de área local Token Ring). |

| | |
|---------|--|
| 802.6 | Establece estándares para redes de área metropolitana (MAN, Metropolitan Area Networks), que son redes de datos diseñadas para poblaciones o ciudades. En términos de extensión geográfica, las redes de área metropolitana (MAN), son más grandes que las redes de área local (LAN), pero más pequeñas que las redes de área global (WAN). Las redes de área metropolitana (MAN) se caracterizan, normalmente, por conexiones de muy alta velocidad utilizando cables de fibra óptica u otro medio digital. |
| 802.7 | Utilizada por el grupo asesor técnico de banda ancha (Broadband Technical Advisory Group). |
| 802.8 | Utilizada por el grupo asesor técnico de fibra óptica (Fiber-Optic Technical Advisory Group). |
| 802.9 | Define las redes integradas de voz y datos. |
| 802.10 | Define la seguridad de las redes. |
| 802.11 | Define los estándares de redes sin cable. |
| 802.11b | Ratificado el 16 de Septiembre de 1.999, proporciona el espaldarazo definitivo a la normativa estándar inicial, ya que permite operar a velocidades de 11 Mbps y resuelve carencias técnicas relativas a la falta de itinerancia, seguridad, escalabilidad, y gestión existentes hasta ahora. |
| 802.12 | Define el acceso con prioridad por demanda (Demand Priority Access) a una LAN, 100BaseVG-AnyLAN. |

| | |
|--------|--|
| 802.13 | No utilizada. |
| 802.14 | Define los estándares de módem por cable. |
| 802.15 | Define las redes de área personal sin cable (WPAN, Wireless Personal Area Networks). |
| 802.16 | Define los estándares sin cable de banda ancha |

El estándar al cual se centra este trabajo es el 802.15.1, que es el estándar para las redes de área personal (WPAN), ver figura 11.

ARQUITECTURA DE LOS ESTADARES IEEE 802

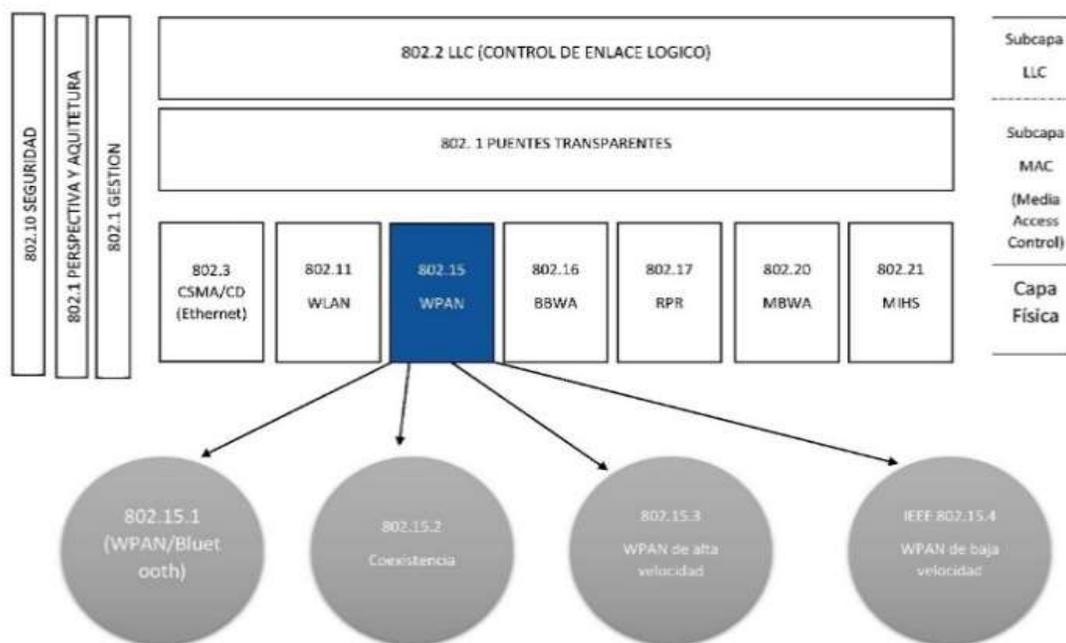


Figura. 11 Arquitectura de IEEE 802. (fuente [17]).

2.8 VisiWave®

VisiWave® es una división de AZO Technologies, Inc. AZO Technologies es una empresa de investigación y desarrollo especializada en redes inalámbricas y aplicaciones de Internet ubicada en Kalamazoo, Michigan, que utiliza una solución topográfica completa de sitios con las redes LAN, WAN, PAN, etc. Recopila datos de las encuestas que hace usando un adaptador inalámbrico, estándar mientras uno camina alrededor de la zona, empleando una imagen o un receptor GPS, para rastrear su ubicación Visiwave® asigna de forma rápida y automática las características de la radio en el área de encuesta, utilizando una aplicación integrada en google Earth®. [29]

2.9 COMSOL Multiphysics ®

COMSOL Multiphysics (antes conocido como FEMLAB), es un paquete de software de análisis y resolución por elementos finitos para varias aplicaciones físicas y de ingeniería, especialmente fenómenos acoplados, o multifísicos. COMSOL Multiphysics®, asimismo, ofrece una extensa y bien gestionada interfaz a MATLAB®, y sus toolboxes que proporcionan una amplia variedad de posibilidades de programación, preprocesado y postprocesado. También proporciona una interfaz similar a COMSOL Script. Los paquetes son multiplataforma (Windows, Mac, Linux, Unix.), además de las interfaces de usuario convencionales basadas en físicas, COMSOL Multiphysics® también permite entrar sistemas acoplados de ecuaciones en derivadas parciales (EDP). Las EDP se pueden ingresar directamente, o utilizando la llamada forma débil (ver el Método de los elementos finitos para una descripción de la formulación débil). [30]

COMSOL fue iniciado con base en los códigos desarrollados por varios estudiantes licenciados del (Germund Dahlquist), para un curso de la licenciatura en el Universidad Tecnológica Real (KTH) en Estocolmo, Suecia.

2.10 Visual Studio®

Visual Studio® es un lenguaje de programación dirigido por eventos, desarrollado por Alan Cooper para Microsoft®. Es un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones web ASP.NET, Servicios Web XML, aplicaciones de escritorio y aplicaciones móviles. Visual Basic®, Visual C#® y Visual C++® utilizan todos los mismos entornos de desarrollo integrado (IDE), que habilita el uso compartido de herramientas y hace más sencilla la creación de soluciones en varios lenguajes. Asimismo, dichos lenguajes utilizan las funciones de .NET Framework, las cuales ofrecen acceso a tecnologías clave para simplificar el avance de aplicaciones web ASP y Servicios Web XML. [31]

2.11 Lenguaje De Programación Open Source (Processing®)

Processing® es un lenguaje de programación open source (código abierto) y un ambiente de trabajo para personas que quieran programar imágenes, animaciones e interacciones. Es usado por estudiantes, artistas, diseñadores y aficionados del aprendizaje, creación de prototipos y producción. Está creado para enseñar los fundamentos de programación dentro de un contexto visual, para servir como un cuaderno de bocetos de software y una herramienta de elaboración profesional.

Processing® es un proyecto abierto iniciado por Ben Fry y Casey Reas, se desarrolló de las ideas exploradas en el Grupo de Estética y Computación del Media Lab del MIT. Al ser un lenguaje en código libre, es una herramienta alternativa al software propietario como Photoshop o Illustrator. Con este lenguaje de programación se pueden diseñar desde cosas sencillas como hacer dibujos, graficas, etc. Hasta diseñar programas tan complejos como juegos, interfaces y más. [32]

2.12 Dweet®

Dweet.io® es una simple publicación y suscripción de máquinas, sensores, dispositivos, robots y gadgets (dentro de la aplicación se llaman simplemente “cosas”), los mensajes publicados son llamados "dweets". Es beneficioso pensar en Dweet.io® como un Twitter® para las cosas, de hecho, se asigna a cada cosa un nombre único (o se puede asignar su propio nombre si está disponible).

Dweet.io® es un sistema que no requiere ningún programa de instalación o registro, si el producto, dispositivo, máquina, gadget o cosa consigue conectarse a internet, este puede utilizar el sistema para publicar los datos. Dweet.io emplea una comunicación de tipo máquina-a-máquina (machine-to-machine (M2M)), para el internet de las cosas (Internet Of Things (IOT)), de la manera en que estaba destinado a ser así solo es necesario publicar. [33]

2.12.1 ¿Qué es y para qué sirve JSON?

JSON (JavaScript Object Notation) es un formato para el intercambio de datos, básicamente JSON describe los datos con una sintaxis dedicada que se usa para identificar y gestionar los datos. JSON nació como una alternativa a XML, el fácil uso en JavaScript ha generado un gran número de seguidores de esta alternativa. Una de las mayores ventajas que tiene el uso de JSON, es que puede ser leído por cualquier lenguaje de programación. Por lo tanto, permite ser usado para la alteración de información entre distintas tecnologías. [34]

2.13 MIT App Inventor 2®

MIT App Inventor® es una innovadora introducción para principiantes a la programación y la creación de aplicaciones, que transforma el complejo lenguaje de la codificación fundamentada en texto de bloques con construcción visual, arrastrar y soltar. La sencilla interfaz gráfica le otorga incluso a un novato inexperto, la posibilidad de diseñar una aplicación básica y totalmente funcional dentro de una hora o menos. App Inventor® es una herramienta basada en la nube, lo que significa que consigue crear aplicaciones directamente en un navegador web, este sitio web ofrece todo el apoyo necesario para aprender a crear aplicaciones propias. El software App Inventor, o "servicio", está en ai2.appinventor.mit.edu donde, puede ser descargado de manera gratuita.

Mark Friedman, de Google®, y el profesor del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts), Hal Abelson, encabezaron el desarrollo de App Inventor de Google® en 2009. Otros colaboradores de ingeniería de Google® fueron Sharon Perl, Liz Looney y Ellen Spertus. App Inventor, funciona como un servicio web administrado por el personal del Centro para el Aprendizaje Móvil del MIT, una colaboración del laboratorio de informática e inteligencia artificial (Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory (CSAIL) del MIT, y el Laboratorio de Medios del MIT. [35]

CAPITULO III SIMULACIONES

3.1 Introducción.

En este capítulo se realizará la simulación del site survey (estudio de sitio), un análisis por medio de elementos finitos, y la validación de los datos utilizando un dispositivo digital (psicrómetro PCE-320), el orden se presenta de la siguiente manera:

1 Análisis de site survey (estudio de sitio) para estudios de las señales del radio de Bluetooth.

2 Simulación por medio de COMSOL®, para el análisis del compartimiento del fluido (aire), dentro del prototipo de invernadero, por medio de la resolución del método de elementos finitos (Navier-Stokes).

3 Validación de los datos con un dispositivo digital (psicrómetro de Texas Instruments®), para realizar una comparación de los datos recibidos por el microcontrolador ATmega168.

3.2 Uso de VisiWave®

Este proyecto requirió simular un site survey de Bluetooth, para conocer las diversas necesidades de infraestructura de nuestro prototipo de invernadero, para el funcionamiento del módulo HC-05, y el comportamiento de la temperatura y humedad dentro del prototipo de invernadero.

Un análisis de site-survey en radiofrecuencia (RF) es el primer paso de una red y el paso más importante, para asegurar el funcionamiento deseado. El site survey es un proceso de tarea por tarea mediante el cual se estudia la facilidad para entender RF, descubre áreas de cobertura de RF, comprueba la interferencia de RF y determina la colocación apropiada de dispositivos inalámbricos. Puesto en marcha el programa VisiWave® se carga una imagen utilizando Google Maps® del área académica de ingeniería y arquitectura, dentro de ciudad del conocimiento de la Universidad Autónoma del Estado

de Hidalgo (UAEH), donde se establecerá la ubicación del prototipo y se realizará el análisis con el modulo Bluetooth HC-05 figura 12.

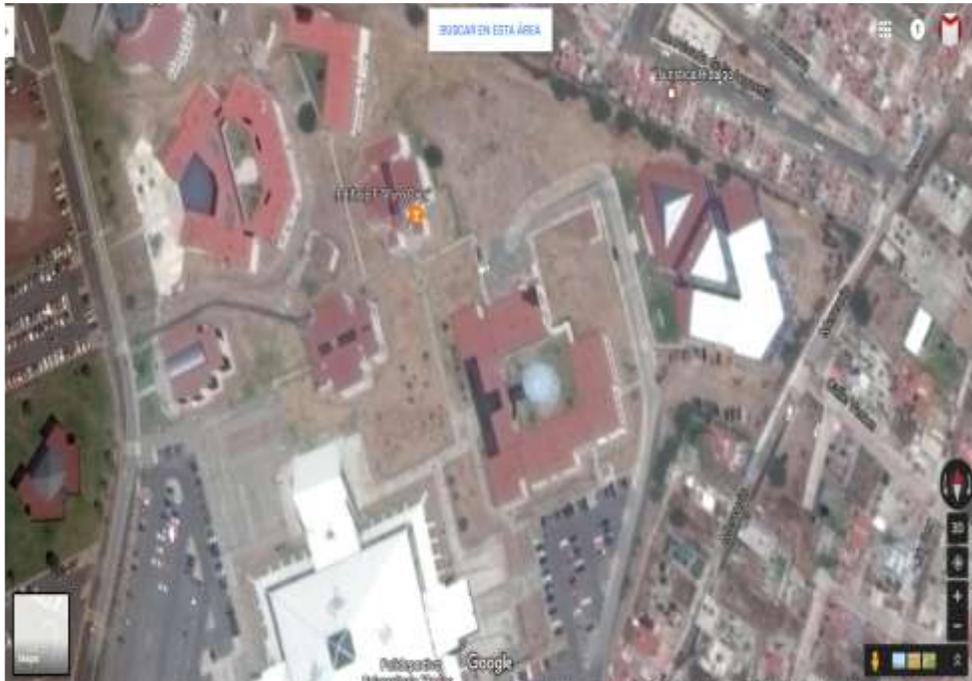


Figura. 12 Imagen satelital de ciudad del conocimiento, mostrando el área donde se realizó el análisis de Site Survey (fuente Google Maps®)

Una vez cargada la imagen dentro del software tendremos los primeros datos recabados. Posteriormente se clic en la barra de herramientas, y en el botón de estadísticas.

Algunos de los datos recabados se mostrarán en el apartado de Survey Overview (Resumen del análisis), el cual indica cuantos puntos de acceso se encuentran cerca del dispositivo. La sección siguiente muestra los puntos de datos asociados; las velocidades de datos en cuanto a la conexión, y en que canales transmiten los datos. La figura 13 muestra cada uno de los aspectos que recaba VisiWave en survey overview.

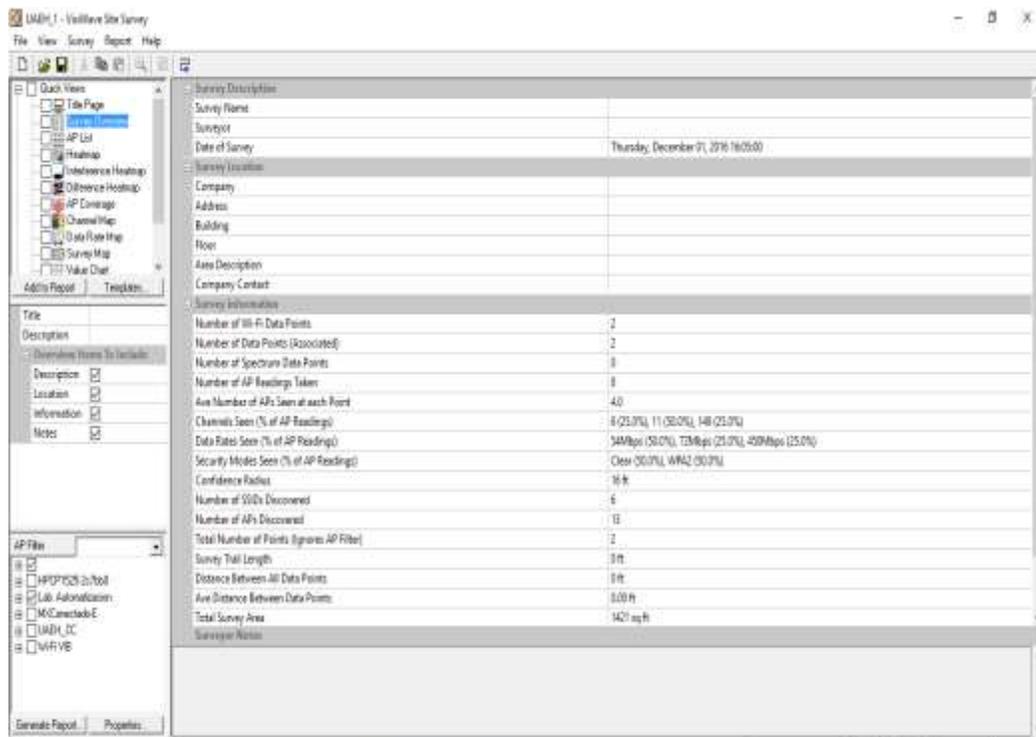


Figura. 13 Características de Survey Overview (fuente adaptada por el autor).

Para el siguiente análisis se encuentra la AP List (lista del punto de acceso), en este apartado se visualizan los puntos de acceso con ciertas características, como su dirección MAC, canal en el que transmite, la seguridad que tiene, y la tasa de transferencia. El análisis se muestra en la figura 14.

| SSID | AP# | Name | MAC | Ch | Rate | Sec | Mode | Ave SNR | Max TXRX | Min SNR | # Assoc. | # Non-Assoc. |
|---------------------|-----|------------------|-------------------|----|------|-------|------|---------|----------|---------|----------|--------------|
| | #1 | AP_CCE_Arquitect | 00:1c:50:57:a6:71 | 11 | 54 | Class | g | 11 | 13 | 9 | 0 | 1 |
| | #2 | AP_CCE_CIA01 | 00:1c:50:57:0b:c1 | 11 | 54 | Class | g | 25 | 26 | 23 | 0 | 1 |
| | #11 | AP_CCE_CIA03 | 00:1c:50:57:05:81 | 1 | 54 | Class | g | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lab. Administracion | #0 | | 00:1c:50:57:03:45 | 6 | 72 | WPA2 | n | 37 | 41 | 32 | 1 | 0 |
| Lab. Administracion | #4 | | 00:1c:50:57:03:46 | 14 | 48 | WPA2 | n | 21 | 23 | 21 | 0 | 1 |

Figura. 14 AP List (fuente adaptada por el autor).

Dentro de este análisis procedemos con el Head Map (Mapa de cabeza o principal), que nos brinda el alcance que tiene el dispositivo para poder conectarse a los diferentes AP, que se encuentran en su rango contando con una barra de colores, el cual seleccionando una de las redes de cobertura, nos mostrara si la conexión es fiable o deficiente. En la barra de colores, el rojo indica la mejor conexión, ya que es el más cercano y se podría conectar sin problemas, mientras que el azul muestra una conexión poco estable, por lo que nuestro análisis señala que el alcance y la conexión de nuestro dispositivo Bluetooth, son óptimas para conectarse a otros AP como se muestra en la figura 15.

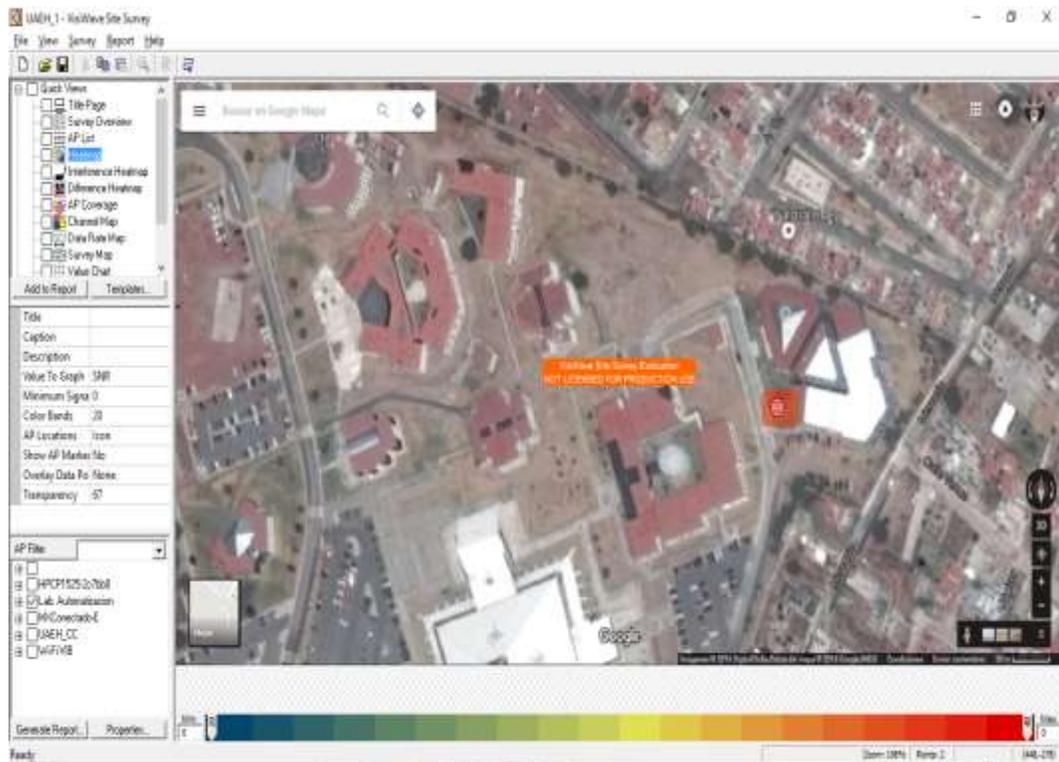


Figura. 15 Head Map (fuente adaptada por el autor).

Posteriormente se expone la interference Head Map, que representa la interferencia que existe entre el dispositivo y las diferentes AP a nuestro alcance, al igual que en el head map la interferencia que muestra cada AP, es representada por una barra de colores que muestran lo siguiente: el color azul indica que no existe ninguna interferencia y el color rojo señala que hay mucha interferencia, por lo tanto, dentro de la simulación se demuestra que existe interferencia moderada en diferentes las redes o AP, que se encuentran cerca de nuestro dispositivo Bluetooth, figura 16.

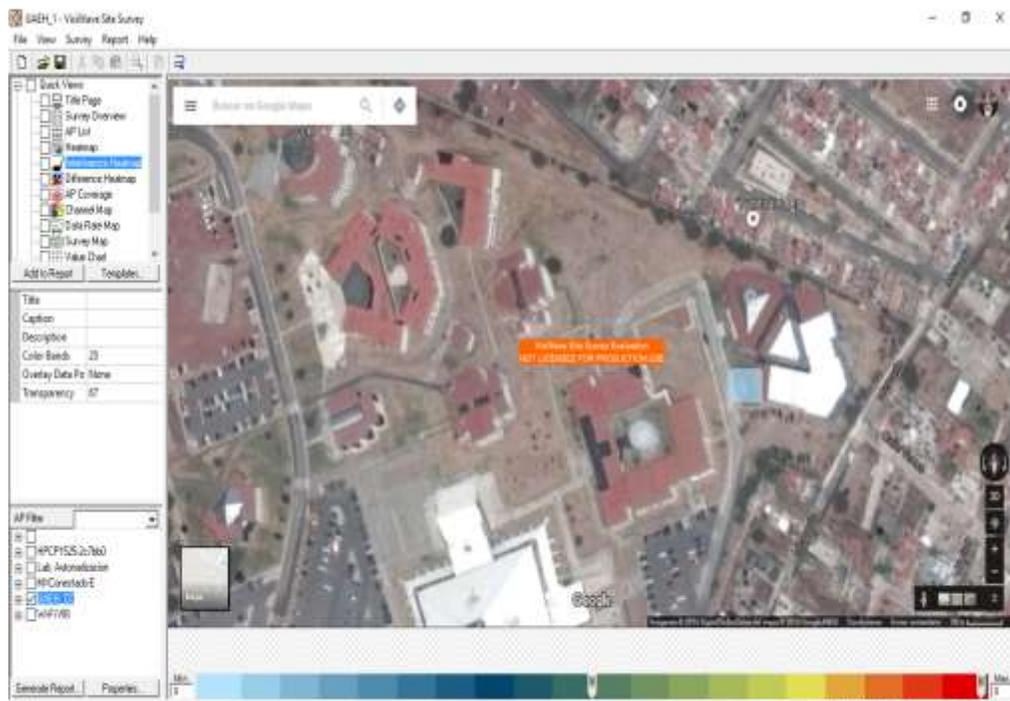


Figura. 16 Interference Head Map (fuente adaptada por el autor).

3.3 Análisis de la dinámica de fluidos computacionales (CFD) en COMSOL Multiphysics®.

En esta parte del capítulo se analiza la distribución de temperatura, y patrones de flujo de variaciones en las propiedades del fluido del aire, y su comportamiento dentro de la cavidad, así también se describe una breve guía del procedimiento general, para realizar el análisis de los datos obtenidos por el sensor en el software COMSOL Multiphysics®, solucionando el problema y luego analizando la información en el siguiente orden:

1. Se le la declaración del problema.
2. Se selecciona la ecuación(es) y el sistema de coordenadas que se utilizara. (Por ejemplo; impulso, equilibrio, balance energético, etc.).
3. Se introducen las constantes.
4. Se dibuja la geometría.
5. Se especifican las condiciones de frontera para todos los límites.
6. Se crea una malla o cuadrícula dividiendo la geometría en elementos más pequeños.
7. Se resuelven las ecuaciones (Post procesamiento y visualización).
8. Se grafican los resultados numéricos (Exportar datos a Excel).

3.3.1 Declaración del problema.

Inicialmente se declaran las variables que se pretenden analizar dentro del prototipo, para este caso el análisis será de fluidos , por lo cual, se determina que las ecuaciones de Navier-Stokes son las adecuadas para el estudio del prototipo, ya que tienen una densidad constante, el flujo es en todo laminar, el fluido es newtoniano, las tensiones son tridimensionales en un fluido newtoniano de flujo constante, las de densidad constante tienen la misma forma que el estrés tridimensional, en un cuerpo sólido que obedece la ley de Hooke (perfectamente elástico, sólido isotrópico).

Para el modo de aplicación de Navier-Stokes incompresible en COMSOL®, es algo más general y es capaz de dar variaciones arbitrarias en la viscosidad, y pequeñas variaciones en la densidad a través de la aproximación de Boussinesq. [36]

La siguiente sección proporciona un resumen de las ecuaciones participantes, y las condiciones de contorno, de una de las descripciones físicas más utilizadas en el modelado matemático.

3.3.2 Ecuaciones.

Las ecuaciones en el modo de aplicación Navier-Stokes, están definidas por una viscosidad variable y una densidad constante. Las balanzas de un impulso (momentum) y, la ecuación de continuidad forman un sistema no lineal de ecuaciones con tres y, cuatro ecuaciones acopladas en 2D y 3D, respectivamente. [36]

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} - \nabla \cdot \eta (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} + \nabla p &= \mathbf{F} \\ \nabla \cdot \mathbf{u} &= 0 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned} & \left(\begin{array}{l} \text{Acumulacion de impulso} \\ \text{por unidad de volumen} \end{array} \right) - \text{Esfuerzo de corte} + \text{Velocidad de impulso} \\ & + \text{Fuerza de presion} = \text{Fuerza de gravedad} \end{aligned}$$

Donde π denota la viscosidad dinámica ($\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$) de, (e.g, viscosidad newtoniana con unidades $\text{kg}/(\text{ms})$), \mathbf{u} el vector de velocidad (L T^{-1}), ρ la densidad del fluido (M L^{-3}), p la presión ($\text{M L}^{-1}\text{T}^{-2}$) y \mathbf{F} es un término de fuerza corporal ($\text{M L}^{-2}\text{T}^{-2}$) como la gravedad. La primera ecuación es el balance de impulso, y la segunda es la ecuación de continuidad para fluidos incompresibles. [36]

Donde el símbolo, ∇ (llamado nabla), es un operador diferencial vectorial. El gradiente o “graduado (grad)” de un campo escalar tal como la presión se define como: [36]

$$\nabla_p = \mathbf{i} \frac{\partial p}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial p}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3.2)$$

Además, el producto punto del símbolo, ∇ , con otro vector se denomina divergencia o “div” de un vector \mathbf{v} . [36]

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \quad (3.3)$$

Para fluidos de densidad constante en estado estacionario la ecuación de continuidad que es un balance de masa sobre un fluido continuo da: [36]

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (3.4)$$

La Ecuación de Navier-Stokes (densidad constante y viscosidad), para coordenadas rectangulares del libro de Nevers se presenta como: [36]

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \rho(\mathbf{v} \cdot \nabla_{\mathbf{v}}) = -\nabla_p + \rho \mathbf{g} + \mu \nabla^2 \mathbf{v} \quad (3.5)$$

El derivado de tiempo sustancial se define de la siguiente manera: [36]

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \rho(\mathbf{v} \cdot \nabla_{\mathbf{v}}) \quad (3.6)$$

Las condiciones de frontera o contorno, pueden ser cualquiera de un número descrito a continuación presentado en el siguiente cuadro resumido. [36]

Tabla. 7 Resumen de las condiciones de frontera comunes para el flujo de fluido. [36]

| Límite | Condición del Límite | Ecuación | Utilizar |
|-------------------|--|---|--|
| Pared | | | |
| | Sin deslizamiento (predeterminado) | $\mathbf{u} = 0$ | Para especificar que la velocidad de una pared es cero. |
| | Pared deslizante | $\mathbf{u} = \mathbf{u}_w$ | Para una pared móvil. Debe especificar la velocidad de la pared. |
| Entrada de fluido | | | |
| | Flujo interno/Flujo externo Condición límite de la velocidad | $\mathbf{u} = -\mathbf{n}u_0$ or $\mathbf{u} = \mathbf{u}_0$ | Para una velocidad constante con $u =$ constante o una velocidad especificada por una ecuación tal como: $u = a \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right)$ El vector unitario \mathbf{n} es normal a la |
| | Presión, sin estrés viscoso | $p = p_0$ y $5(\mathbf{A}\mathbf{u} + (\mathbf{A}\mathbf{u})^T)\mathbf{n}$ | Para esta condición, la entrada de fluido debe ser perpendicular al límite. |
| Salida de fluido | | | |
| | Velocidad | $\mathbf{u} = -\mathbf{n}u_0$ ó $\mathbf{u} = \mathbf{u}_0$ | Se debe tener cuidado de no sobre especificar. |
| | Presión, sin estrés viscoso | $p = p_0$ y $5(\mathbf{A}\mathbf{u} + (\mathbf{A}\mathbf{u})^T)\mathbf{n}$ | Para esta condición el flujo de salida del fluido debe ser perpendicular al límite. |

| Eje de simetría | | | |
|-----------------|---|--|--|
| | Deslizamiento/Condición de simetría | $\mathbf{u} \cdot \mathbf{n} = 0$ | Esta condición de contorno indica que no hay velocidad perpendicular a un área o superficie. Esto se utiliza principalmente en los casos donde hay simetría. Por ejemplo, en el flujo de tubería, ésta es la condición límite en $r=0$. |
| | Salida/ Condición de límite de presión | $p = p_0$ | Se utiliza cuando se conoce la presión. |
| | Flujo Normal/ Presión o condición de contorno "recto" | $\mathbf{u} \cdot \mathbf{t} = \mathbf{0}$ y $p = p_0$ | Esto se utiliza para el flujo completamente desarrollado en el que el flujo es sólo perpendicular a la zona. |

3.3.3 Inserción de las constantes.

Se presenta el problema que modelará el flujo en estado estacionario de un fluido, que se bombea a través de un módulo de 40cm de largo por 40cm de ancho, y un espaciamiento de 2cm como se muestra en la figura 17. La coordenada de dirección vertical es y y la coordenada de dirección horizontal es x . El fluido es aire y tiene una velocidad de entrada uniforme de $2 \times 10^{-2} m/s$, una viscosidad de $0,01 \text{ kg}/(m \cdot s)$ y una densidad de $1000 \text{ kg}/m^3$. El efecto de la gravedad será considerado constante para este problema, será contabilizado y, combinado en el término de presión.

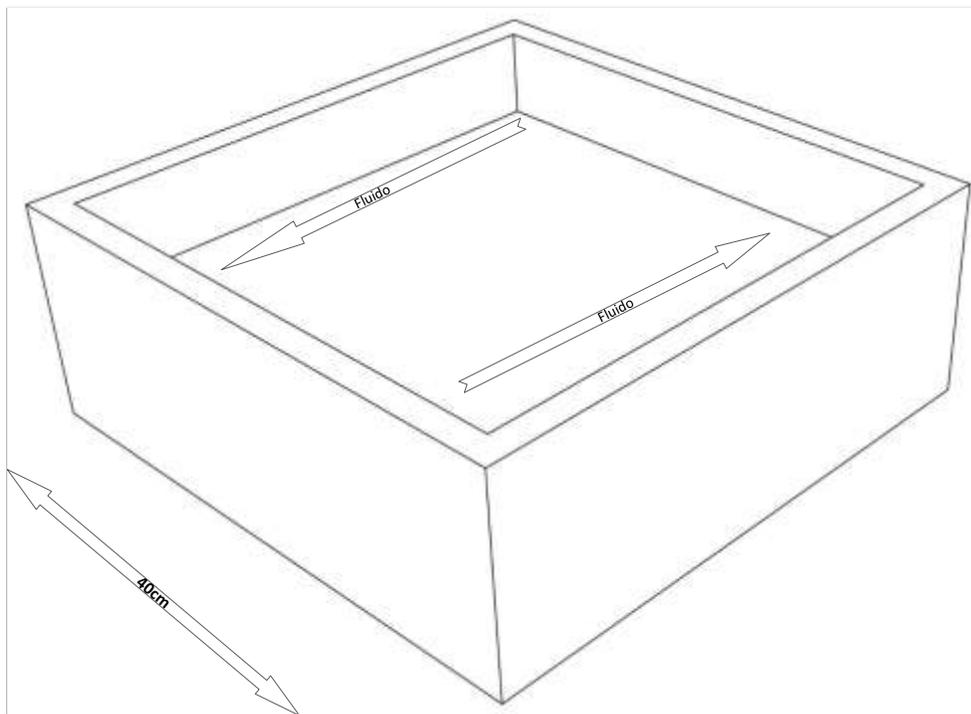


Figura. 17 Modelo de fluido sobre el prototipo (fuente propia del autor).

En esta parte se crea un modelado utilizando la interfaz gráfica de usuario. Se inicia COMSOL Multiphysics®, en el navegador de modelos se da clic en la página nueva, se selecciona el conjunto de problemas de 2 dimensiones (2D) de las ecuaciones, posteriormente se selecciona el módulo de Ingeniería Química, transporte de impulso

(Momentum), Navier-Stokes incompresible, análisis de estado estacionario, después se toma nota de las variables; u , v y p . La variable u está en la dirección x y, la variable v está en la dirección y para este problema bidimensional, por último, se da clic en aceptar.

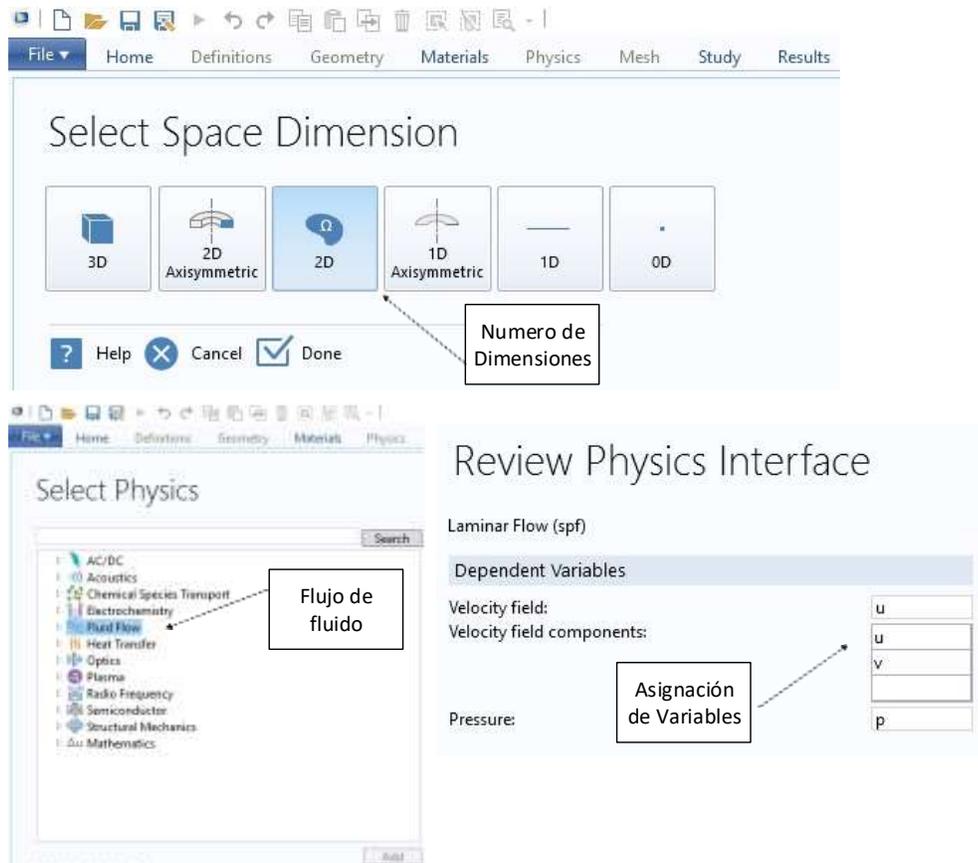


Figura. 18 Selección de dimensiones y variables (fuente adaptada por el autor).

En la sección de las opciones y configuración, el primer paso en el proceso de modelado es crear una base de datos temporal para los datos de entrada. El módulo sugiere unidades en SI, y espera que utilice un conjunto coherente de unidades.

En este caso, todas las unidades son unidades SI. Se definen las constantes siguientes en el cuadro de diálogo “Constantes”, en el menú opción. Se tendrá en cuenta que el fluido a modelar es aire y tiene una velocidad de entrada uniforme de $2 \times 10^{-2} \text{m/s}$, viscosidad de $0,01 \text{ kg/(m s)}$ y densidad de 1000kg/m^3 . [36]

Tabla. 8 Constantes. [36]

| NOMBRE | EXPRECION |
|--------|-----------|
| Rho | 1e3 |
| Eta | 1e-2 |
| v0 | 2e-2 |

3.3.4 Modelado de la geometría.

Para comenzar, se presiona la tecla Mayus y se da clic en el botón Rectangle/Square (Rectángulo / Cuadrado) para abrir el menú. Después, se escriben los valores mostrados de las dimensiones del cuadrado, posteriormente se da clic en el botón Zoom Extents en la barra de herramientas principal creando un dominio que tiene 4 límites. Comsol® marca como subdominios los 4 límites y el interior del cuadrado.

Posteriormente se especifican las condiciones de frontera para todos los límites. Esto se refiere al interior del cuadrado que debería tener una designación de C1. Después se especifican las propiedades del fluido dentro de los cuatro límites o del subdominio. A continuación, se selecciona la configuración de subdominio en el menú física (Physics), por último, se definen las propiedades físicas del fluido, mostradas en la figura 19. Se debe escribir los mismos nombres de variable que en la tabla 8.

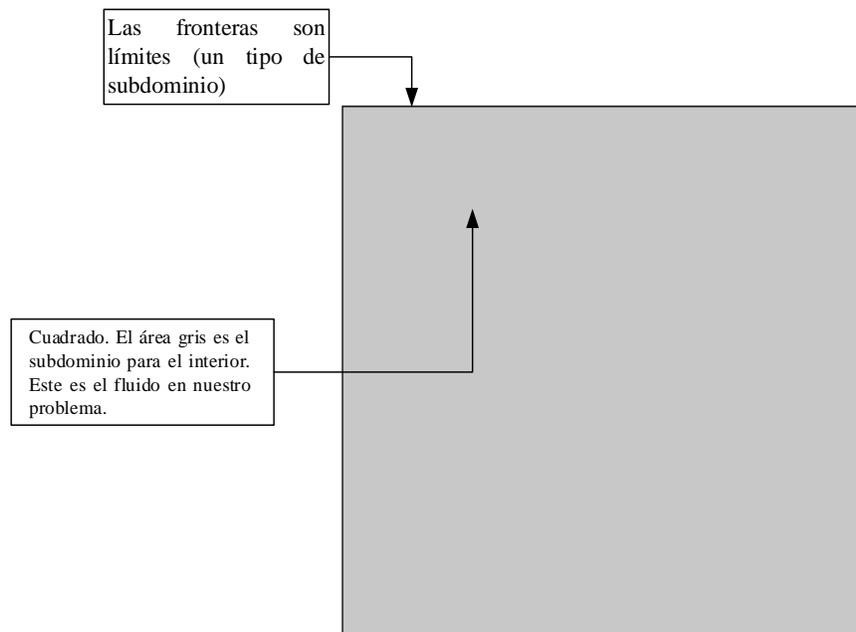


Figura. 19 Modelo de fronteras del prototipo (fuente propia del autor).

The image shows the ANSYS Workbench software interface for a 'Laminar Flow' simulation. The left sidebar shows a project tree with 'buoyancy_free.mph (root)' expanded to 'Component 1 (comp 1)' and 'Laminar Flow (spf)'. The right sidebar shows the 'Settings' panel for 'Laminar Flow', with 'Domain Selection' set to 'All domains' and 'Equation' set to 'Study controlled'. The 'Physical Model' is set to 'Incompressible flow'. The main area displays the following equations:

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mu(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T)] + \mathbf{F}$$

$$\rho \nabla \cdot (\mathbf{u}) = 0$$

Annotations in Spanish explain the terms:

- 'Éste es el equilibrio momentáneo del estado estacionario' points to the first equation.
- 'Presión' points to the $-p\mathbf{I}$ term.
- 'Término de gravedad' points to the \mathbf{F} term.
- 'Tensión de corte' points to the $\mu(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T)$ term.
- 'Este es el balance de masa de densidad constante en estado estacionario' points to the second equation.
- 'Velocidad de flujo momentáneo' points to the $\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u}$ term.

Figura. 20 Selección de parámetros físicos (fuente adaptada por el autor).

3.3.5 Especificación de las condiciones de frontera para todos los límites.

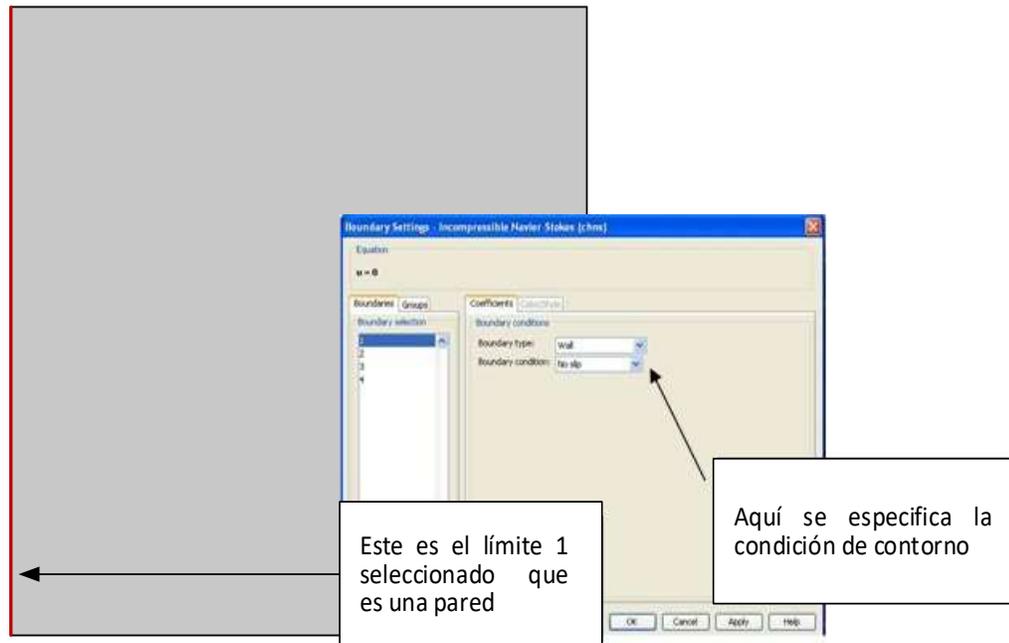


Figura. 21 Especificación de entorno para el límite 1(fuente adaptada de [36]).

Para especificar las condiciones de frontera de los límites, se utiliza el menú “Physics”, introduciendo las condiciones de contorno de acuerdo con la tabla 9:

Tabla. 9 Condiciones de los limites. [36]

| LÍMITE | 1,4 | 2 | 3 |
|--------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------------------|
| Condición de los límites | Pared sin deslizamiento (No-Slip) | Velocidad de flujo de entrada / salida | Presión de salida, sin estrés viscoso |
| U_0 | | v_0 | |
| P_0 | | | 0 |

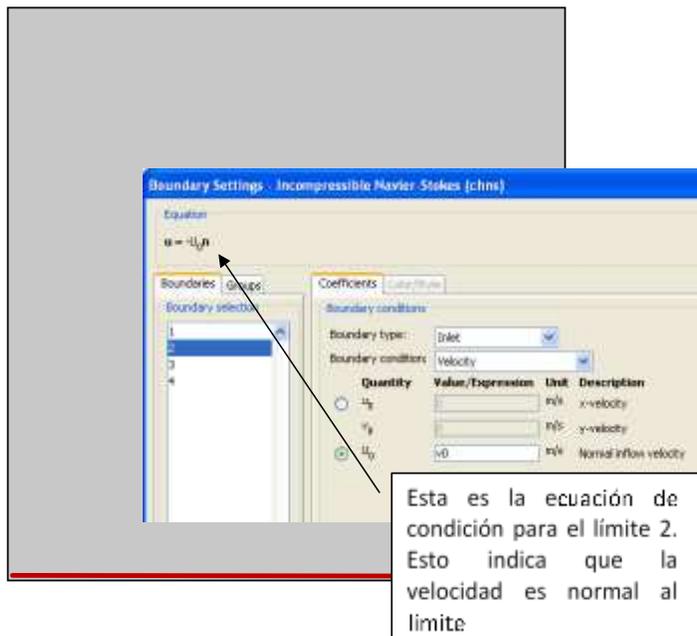


Figura. 22 Especificación de entorno para el limite 2 (fuente adaptada de [36]).

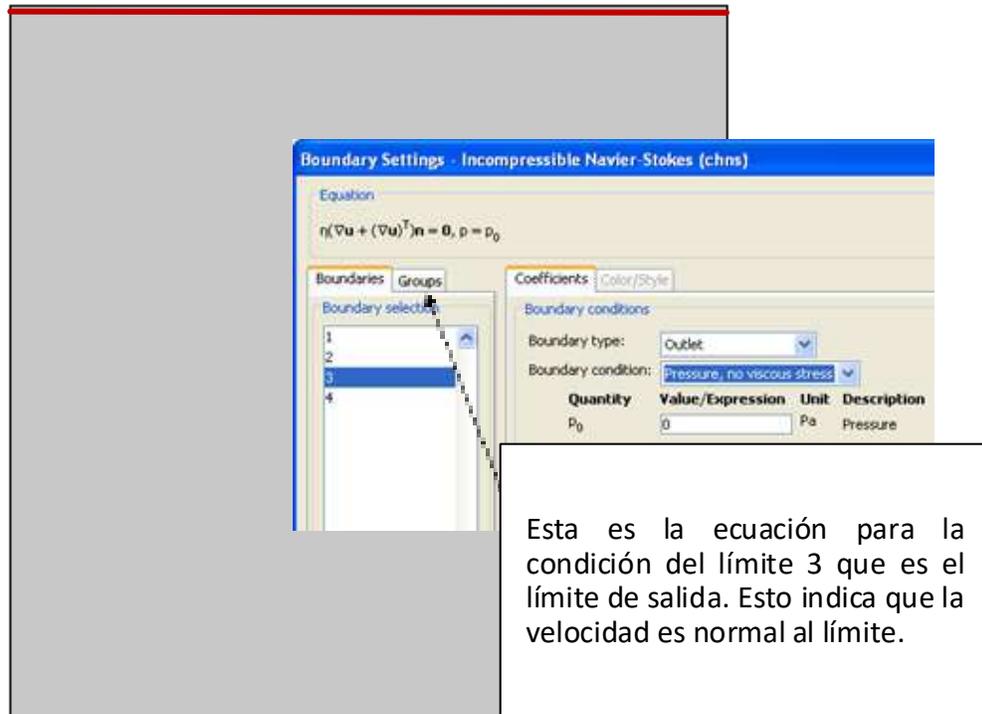


Figura. 23 Especificación de entorno para el límite 3 (fuente adaptada de [36]).

Se debe especificar una condición de contorno para el tomacorriente, porque COMSOL utiliza un método de elementos finitos obteniendo resultados numéricos. Esto significa que la solución es un conjunto de números. Cuando integramos la ecuación nos encontramos con otra ecuación. A este respecto, la derivada de presión es una ecuación adicional y requiere una especificación adicional. [36]

3.3.6 Creación de una malla o cuadrícula.

La creación de una malla en Comsol® se realiza en el menú malla (Mesh), después se da clic sobre la opción de generar malla, al inicializar la malla se puede optar por la opción refinar Malla y hacer que el tamaño de malla menor, ver figura 24, para un análisis más preciso de todo el subdominio (cuadrado), o seleccionar una pequeña porción del subdominio donde la velocidad del fluido está cambiando rápidamente. Se debe tomar en cuenta que entre mayor sean los elementos analizados, más tardará el pc en realizar los procesos.

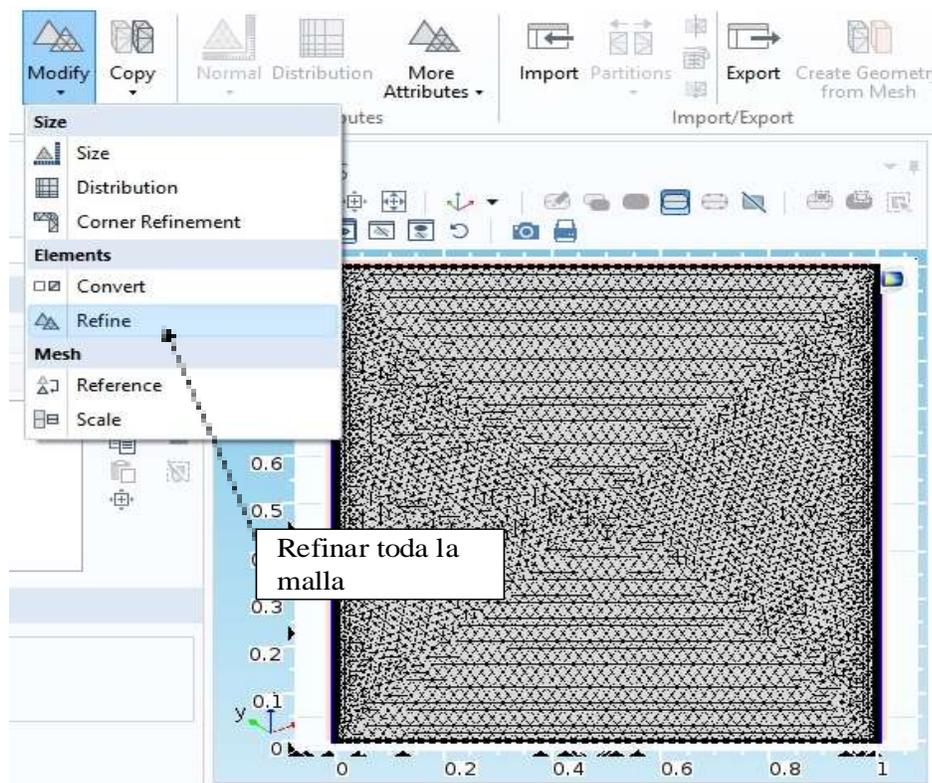


Figura. 24 Medición de elemento finito (fuente propia del autor).

Para generar el flujo laminar y las interfaces de transferencia de calor en este prototipo se establecen 5 valores; propiedades del fluido, valores iniciales, pared, fuerza de volumen ($x = 0, y = (Ra/Pr) * (T - T_c)N/m^3$, donde el número de Rayleigh “Ra” da la relación de dinamismo a fuerzas viscosas, y restricción de punto de presión. El término define una

fuerza Boussinesq dependiente de la temperatura y la velocidad del fluido que transporta el calor. [36]

Con las definiciones dadas por la variable adimensional, se dedujo que, como Ra incrementa también lo hace la temperatura. Los resultados en las figuras 27, 29 indican cómo el dinamismo de la convección aumenta a mayores valores de Ra.

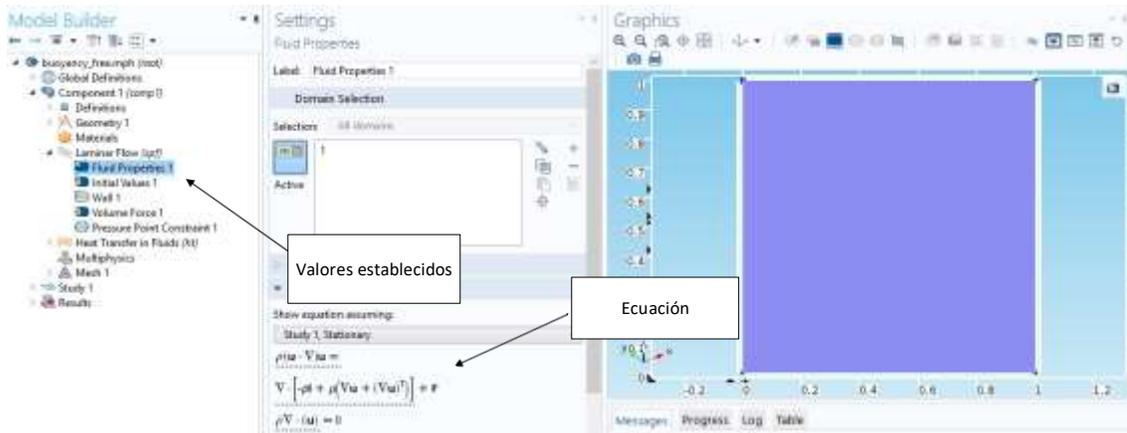


Figura. 25 Creación del flujo Laminar (fuente adaptada por el autor).

3.3.7 Resolución de ecuaciones.

3.3.7.1 Post procesamiento y visualización.

Al iniciar el post proceso en Comsol® se selecciona el menú “Results”, posteriormente se eligen los parámetros de trazado, por último, dentro del menú se selecciona la opción “Velocity (spf)” y se da clic sobre él, figura 26.

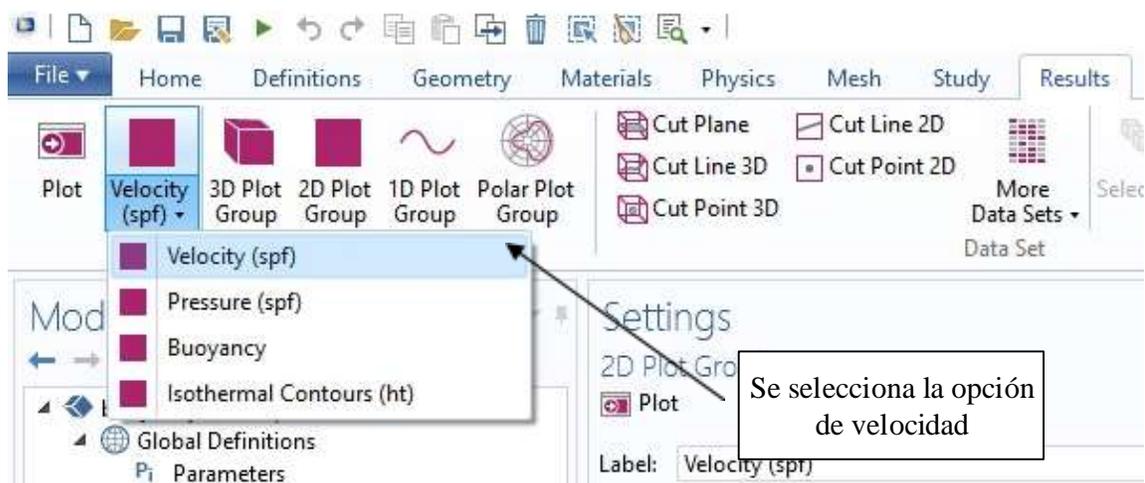


Figura. 26 Creación de Velocidad (de acuerdo con COMSOL Multiphysics®, 5.1).

A continuación, se muestra los resultados del valor absoluto del vector de velocidad $\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u}$, que genera un efecto térmico, esto se debe a la forma de transferencia térmica llamada convección.

La convección es una de las tres formas de transferencia de calor, se caracteriza porque se genera por medio de un fluido (líquido o gas), que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales, la evaporación del agua o fluidos. La convección en sí es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido. Por ejemplo, al trasegar (pasar un líquido de un recipiente a otro.) mediante bombas o al calentar agua en una cacerola, el agua en contacto con la base de la cacerola asciende, mientras que el agua de la superficie, desciende y ocupa el lugar que dejó la caliente. [37]

Este efecto de transferencia térmica es generado dentro del prototipo, a consecuencia de la fricción creada por la velocidad del fluido (aire), que entra al prototipo, siendo el valor térmico proporcional a la velocidad del fluido (aire). En la figura 27 se observa que el flujo transita de una velocidad uniforme en y , por lo que se puede observar, el efecto térmico generado dentro del prototipo se concentra en los costados, de tal forma que si el sensor es colocado en dichos costados, generara lecturas de la temperatura diferente que en el centro, por lo tanto se establece que el lugar idóneo para el sensor sea de al menos 8cm separado del costado dentro del prototipo, ya que como se mencionó anteriormente el valor térmico es sometido a condiciones de la velocidad.

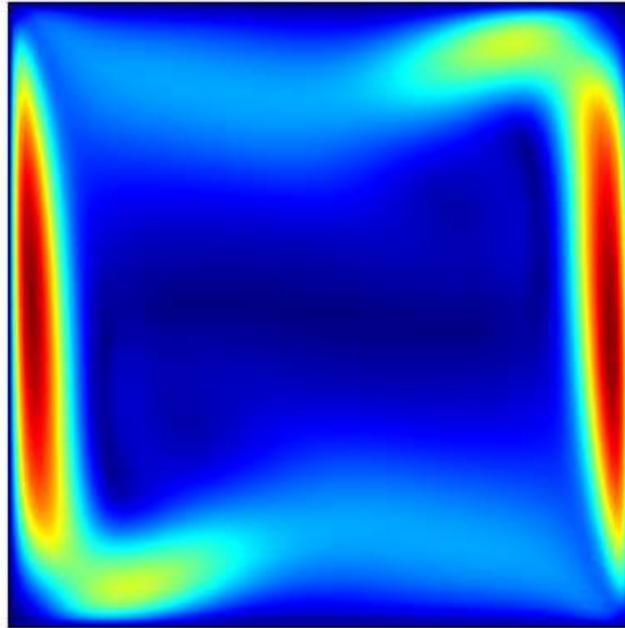


Figura. 27 Vector de velocidad (fuente propia del autor).

La aproximación de Boussinesq suele utilizarse en flujos inducidos por convección natural para tratar las variaciones de densidad debidas a variaciones de temperatura de una forma simplificada. Los efectos de compresibilidad no se deben, en este caso, a que existan altas velocidades en el flujo, sino a gradientes de temperatura generalmente causados por calentamiento del fluido a través de superficies sólidas con las que está en contacto. [38]

Como alternativa se utilizó la interfaz de flujo no isotérmico provisto con la interfaz de flujo laminar de COMSOL®, figura 28 utilizando el enfoque de Boussinesq, a esto, se muestra un método bien establecido para la reducción de esfuerzo computacional mientras sigue representando el dinamismo del flujo.

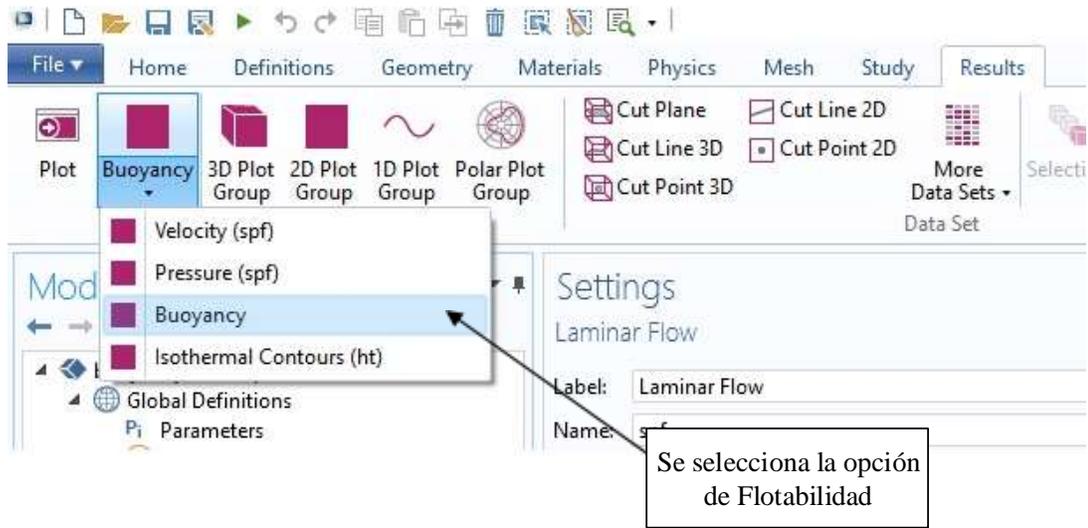


Figura. 28 Flotabilidad (fuente adaptada por el autor).

En la figura 29 se muestra el comportamiento de la flotabilidad, que es el balance de fuerzas (peso, gravedad y presión) ejercida por los fluidos que rodean a un cuerpo en este caso el prototipo, siendo un valor relacionado al vector de velocidad. Como se puede observar el flujo en el que transita también es uniforme en y . En COMSOL® el modelo descrito aquí representa el dinamismo de la unidad con un plazo de Boussinesq.

La distribución de Rayleigh es la función de distribución continua que es presentada cuando un vector bidimensional (ejemplo, la velocidad del viento), tiene sus dos componentes ortogonales, independientes y siguen una distribución normal. Su valor absoluto seguirá entonces una distribución de Rayleigh. Esta distribución también se puede presentar en el caso de números complejos con componentes reales, imaginarios independientes y siguiendo una distribución normal. [39]

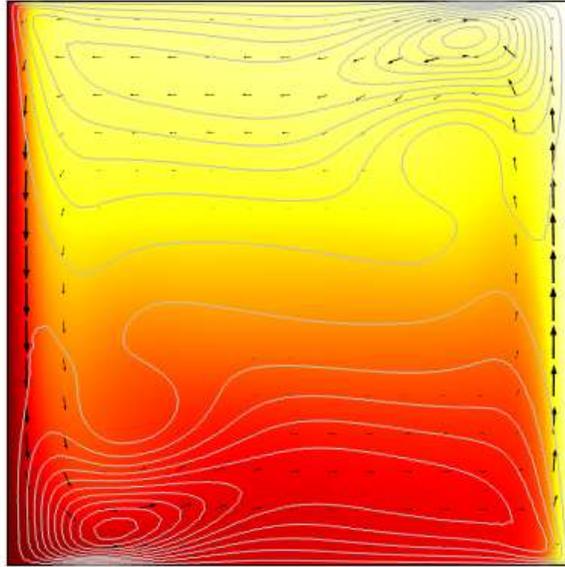


Figura. 29 Solución adimensional para flujo de flotabilidad en una cavidad llena de aire al creciente número de Rayleigh: Temperatura (superficie parcela), el campo de velocidad (flechas), y x-velocidad (contornos). (fuente propia del autor)

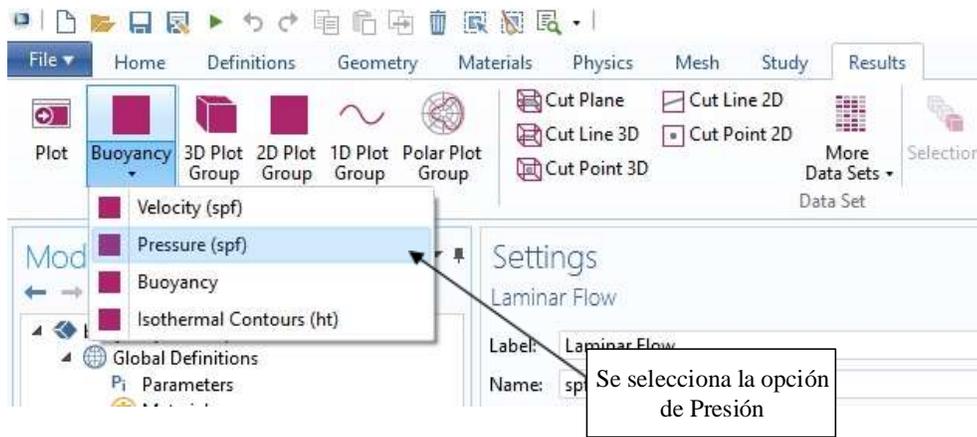


Figura. 30 Creación de Presión (fuente adaptada por el autor).

La figura 31 muestra el comportamiento de la presión hidrodinámica que se genera dentro del prototipo, que es la presión termodinámica dependiente de la dirección que se considera alrededor de un punto, y que depende de dos factores los cuales son; el peso del fluido y el estado de movimiento del mismo.

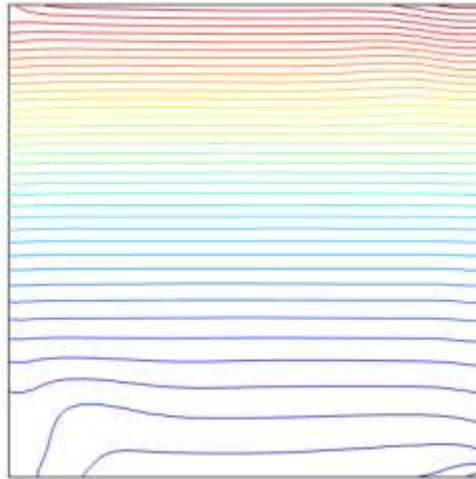


Figura. 31 Presión dentro del prototipo (fuente propia del autor).

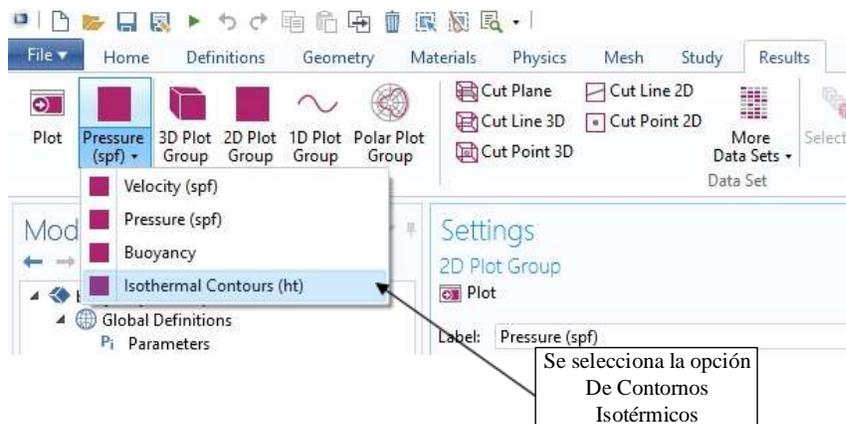


Figura. 32 Opción de contornos isotérmicos (fuente propia del autor).

La figura 33 muestra los contornos isotérmicos al cambio reversible en el sistema, siendo dicho cambio la temperatura constante dentro del prototipo. Las curvas representan los valores sucesivos de las diversas variables del sistema en un proceso isoterma.

Un cambio reversible es aquel proceso que, después de ser llevado de un estado inicial a uno final, puede retomar sus propiedades originales (sólido, líquido y gas). [40]

Se denomina proceso isotérmico o proceso isoterma al cambio reversible en un sistema termodinámico, siendo dicho cambio a temperatura constante en todo el sistema. La compresión o expansión de un gas ideal, puede llevarse a cabo colocando el gas en contacto térmico con otro sistema de capacidad calorífica muy grande. y a la misma temperatura que el gas. Este otro sistema se conoce como foco calórico, de esta manera, el calor se transfiere muy lentamente, permitiendo que el gas se expanda realizando trabajo. Como la energía interna de un gas ideal sólo depende de la temperatura y ésta permanece constante en la expansión isoterma, el calor tomado del foco es igual al trabajo realizado por el gas: $Q = W$. [41]

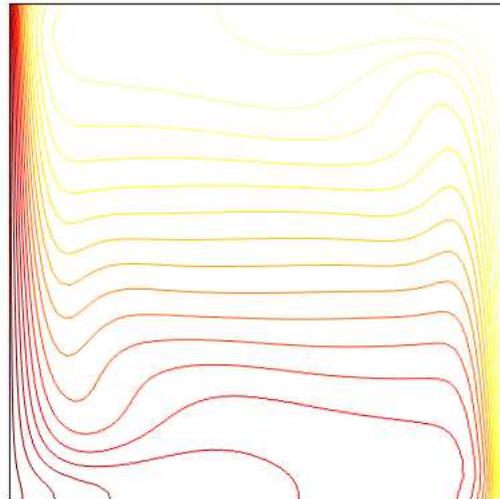


Figura. 33 Contornos isotérmicos dentro del prototipo (fuente propia del autor).

3.3.8 Gráficas de resultados (Exportación de datos a Excel).

Se expone en este capítulo como se gráfica la temperatura en el eje y , y el ancho del prototipo en el eje x , para exportar los parámetros a Excel. La figura 34 muestra la conducción de calor, modelando la forma en que la temperatura varía con el tiempo. El modelo de dominio se define entre $x = -b$ y $x = b$. La temperatura inicial es constante, igual a T_0 , sobre todo el dominio. En el momento $t = 0$, la temperatura en ambas fronteras es bajado a T_1 . [42]

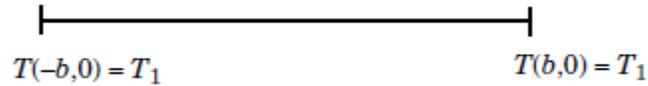


Figura. 34 Dominio de modelización. [42]

Al comparar los resultados de los modelos, se introdujo nuevas dimensiones variables según las siguientes definiciones: [42]

$$\theta = \frac{T_1 - T}{T_1 - T_0} \quad \eta = \frac{x}{b} \quad \tau = \frac{\alpha t}{b^2} \quad (3.7)$$

La ecuación del modelo se convierte en: [42]

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \eta^2} \quad (3.8)$$

Asociado con la condición inicial $\tau = 0$, $\theta = 1$: [42]

El modelo de temperatura decrece en los límites utilizando una función escalón suavizada en función del tiempo $f(\tau)$, esto es: $\eta = \pm 1$, $\theta = f(\tau)$. [42]

Este método es generalmente más realista desde un punto de vista físico al repentino cambio en la temperatura, y también es mejor desde una perspectiva numérico.

Para realizar esta muestra se comienza en el menú archivo y se selecciona “Nuevo” (New), en la nueva ventana se da clic en asistente para modelos. Después, en la ventana “asistente de modelo” se da clic en 1D. Posteriormente se selecciona en el árbol de la física, dentro de esta se selecciona la opción transferencia de Calor > transferencia de calor en sólidos (HT), posteriormente se da clic en agregar, por último se selecciona el árbol, se escoge programar > estudios dependientes del tiempo y se da clic en Aceptar. [42]

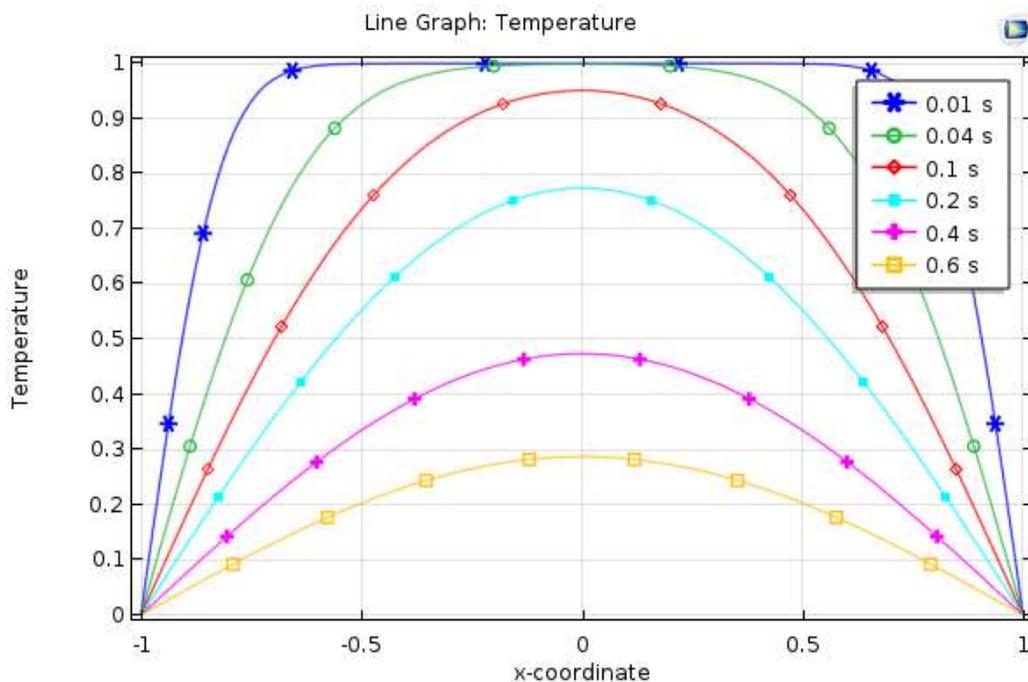


Figura. 35 Muestra de temperatura en función de la posición en los tiempos adimensional (fuente adaptada de [42]).

En la figura 35 se muestra la temperatura en función de la posición en los tiempos adimensional en $\tau = 0.01, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4$ y 0.6 . En esta trama, la losa del centro está situado en $x = 0$ con sus caras situado a $x = -1$ y $x = 1$. Los perfiles de temperatura mostrado en el gráfico son idénticos a los de la solución dada en analítica y Jaeger Carslaw. [42]

Cada curva que comienza con la línea azul corresponde a una distancia dada en la dirección del flujo (dirección y). Se observa también la aparición de la línea roja horizontal en la trama de solución del contorno de post-proceso, esta línea representa las secciones transversales que se solicitaron.

Por lo que la gráfica resultante, ve figura 35, muestra el desarrollo del perfil para velocidad a lo largo de la dirección principal del flujo. En la salida, se observa que el flujo parece estar casi desarrollado en un perfil de velocidad parabólico.

3.3.8.1 Exportar datos a Excel.

Los datos mostrados en COMSOL Multiphysics® pueden ser exportados para sus distintos usos por ejemplo: Text File (*.txt), CSV(*.cvs), Data File (*.dat), All File (*.*) y Excel Workbook (*.xlsx). Este proyecto exportara los datos en el formato para (*.xlsx). Se comienza desde la interfaz de usuario seleccionando los parámetros, posteriormente se da clic en guardar y por último se elige el tipo de formato (*.xlsx) para Excel, ver figura 36.

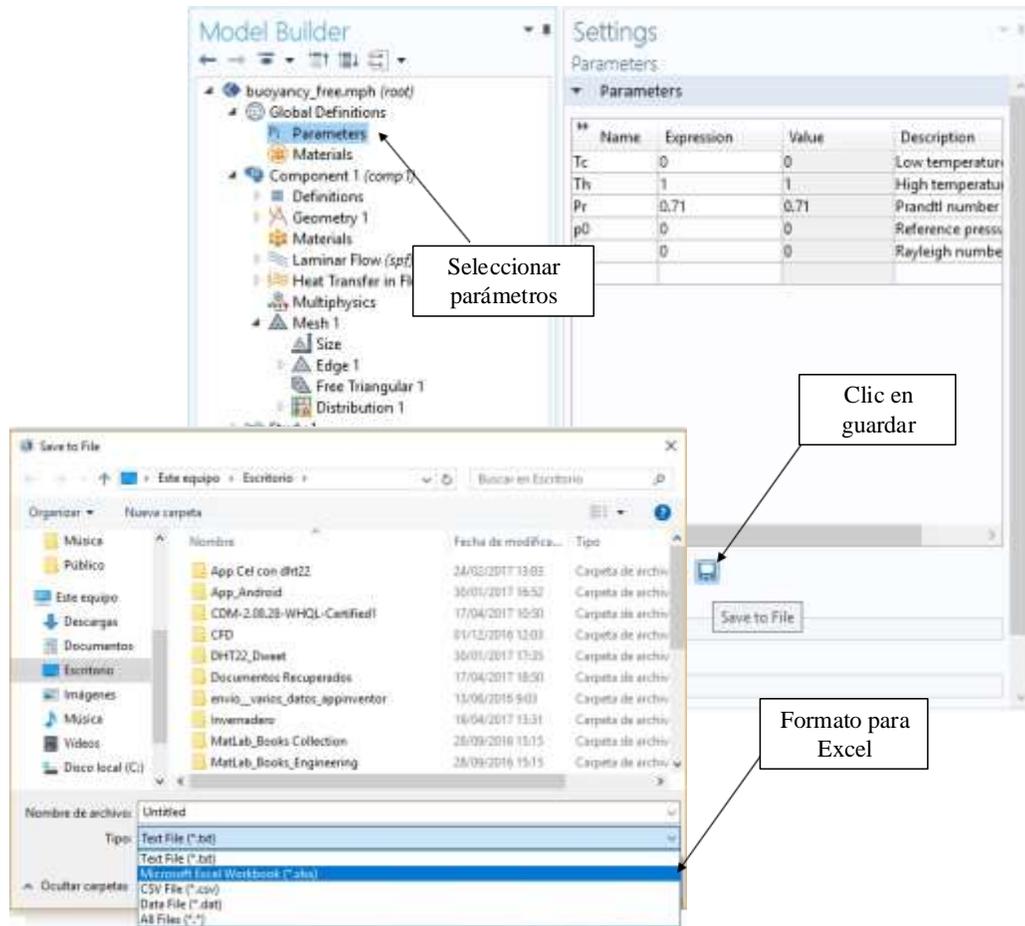


Figura. 36 Exportación de los parámetros a una hoja de cálculo en Excel.
(Fuente adaptada por autor).

El siguiente paso es abrir el archivo creado, y se comprueba que los datos se están importando en dos columnas desplazándose hacia abajo con la barra de desplazamiento, por último, se presiona en finalizar, ver figura 37.

| | A | B | C | D | E |
|---|----|------|--------------------|---|---|
| 1 | Tc | 0 | Low temperature | | |
| 2 | Th | 1 | High temperature | | |
| 3 | Pr | 0.71 | Prandtl number | | |
| 4 | p0 | 0 | Reference pressure | | |
| 5 | Ra | 0 | Rayleigh number | | |
| 6 | | | | | |

Figura. 37 Parámetros en COMSOL® del prototipo exportados a Excel (fuente propia del autor).

3.4 Validación de los datos.

Se presenta en este capítulo como se desarrolla una comparación de la medición de temperatura y humedad relativa realizada por el sensor, comparando los datos del sensor con los datos del psicrómetro digital PCE-320, mostrando así los resultados obtenidos dentro de una hoja de cálculo de Excel.

El psicrómetro está conformado por dos termómetros; que determina la humedad relativa midiendo la temperatura ambiente y la temperatura de una fuente de agua en evaporación. El bulbo de uno de ellos está envuelto en un tejido que se mantiene siempre humedecido. [43]

El principio de funcionamiento consiste en la evaporación desde la superficie del bulbo húmedo dentro de la corriente de aire enfría el bulbo húmedo, hasta una temperatura estacionaria tal que haya un equilibrio entre el calor perdido por la evaporación, y el ganado por la convección y radiación. Esta temperatura depende de la presión, temperatura y humedad de la atmósfera. Así pues, cuando se dispone de un valor aproximado de presión, la humedad puede obtenerse a partir de las temperaturas observadas de los bulbos húmedo y seco. Existen dos tipos de psicrómetros: ventilación natural y ventilación forzada. [44]

Para este trabajo se usó un psicrómetro digital de Texas Instruments®, por medio de este se detectaron las condiciones ambientales de la temperatura y humedad relativa dentro del prototipo, obteniendo los resultados mostrados en las tablas 10, 11 y 12. Posteriormente se realizó un análisis para validar los datos obtenidos por el sensor.

3.4.1 Temperatura y humedad Relativa

La tabla 10 muestra la relación de temperatura y humedad que se realizó el 27-28 de febrero del 2017 en un lapso de 24 horas.

Tabla. 10 Relación de datos (fuente propia del autor).

| Time | Temp °C | %RH |
|-------------|----------------|------------|
| 01:00 p. m. | 31 | 54 |
| 02:00 p. m. | 32 | 52 |
| 03:00 p. m. | 32 | 49 |
| 04:00 p. m. | 33 | 44 |
| 05:00 p. m. | 32 | 48 |
| 06:00 p. m. | 32 | 52 |
| 07:00 p. m. | 31 | 56 |
| 08:00 p. m. | 29 | 62 |
| 09:00 p. m. | 29 | 66 |
| 10:00 p. m. | 28 | 71 |
| 11:00 p. m. | 27 | 73 |
| 12:00 a. m. | 27 | 73 |
| 01:00 a. m. | 26 | 76 |
| 02:00 a. m. | 26 | 78 |
| 03:00 a. m. | 26 | 75 |
| 04:00 a. m. | 26 | 73 |
| 05:00 a. m. | 25 | 78 |
| 06:00 a. m. | 24 | 84 |
| 07:00 a. m. | 24 | 81 |
| 08:00 a. m. | 25 | 81 |
| 09:00 a. m. | 26 | 78 |
| 10:00 a. m. | 26 | 75 |
| 11:00 a. m. | 26 | 73 |
| 12:00 p. m. | 27 | 66 |

La figura 38 muestra el análisis de temperatura y humedad de los datos de la tabla 10.

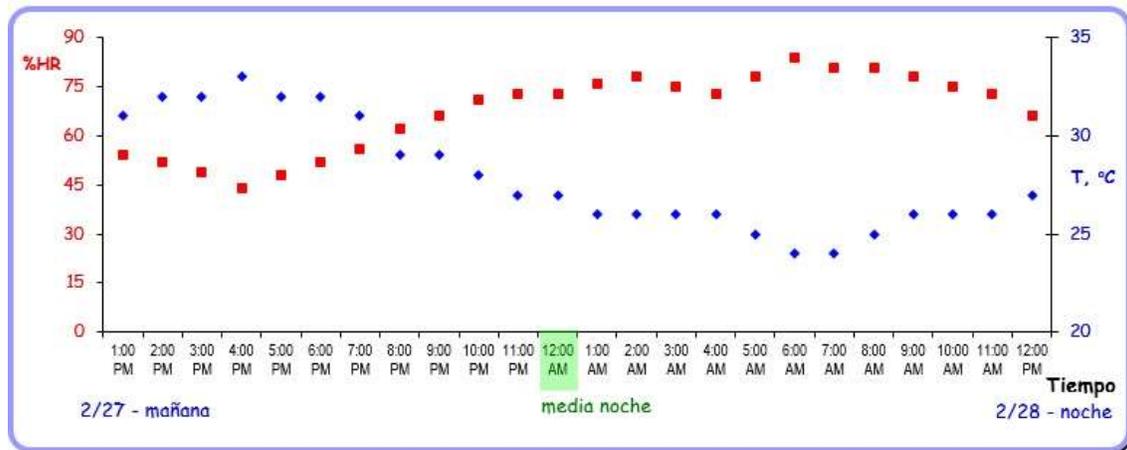


Figura. 38 Análisis de Temperatura y Humedad Relativa del prototipo.
(Fuente propia del autor).

3.4.2 Densidad de Agua en Vapor Saturado.

La tabla 11 muestra la densidad del vapor saturado en g/m^3 dentro del prototipo teniendo de promedio 15 grados de incertidumbre.

Tabla. 11 Densidad de vapor saturado (fuente propia del autor).

| Densidad de Vapor Saturado, g/m^3 | | | |
|-------------------------------------|--------|-----------|-------|
| T, °C | Medido | Calculado | Error |
| 0 | 4,85 | 4,82 | 0,03 |
| 5 | 6,80 | 6,85 | -0,05 |
| 10 | 9,40 | 9,43 | -0,03 |
| 11 | 10,00 | 10,03 | -0,03 |
| 12 | 10,66 | 10,67 | -0,01 |
| 13 | 11,35 | 11,35 | 0,00 |
| 14 | 12,07 | 12,06 | 0,01 |
| 15 | 12,83 | 12,82 | 0,01 |
| 20 | 17,30 | 17,28 | 0,02 |

| | | | |
|----|-------|-------|-------|
| 25 | 23,00 | 23,10 | -0,10 |
| 30 | 30,40 | 30,55 | -0,15 |
| 37 | 44,00 | 44,20 | -0,20 |
| 40 | 51,10 | 51,37 | -0,27 |

En la figura 39 indica la saturación de aire concentrado dentro del prototipo, usando un modelo matemático de la densidad de agua en vapor saturado (DVS). Esto representa la máxima cantidad de vapor de agua que puede haber en el aire a una temperatura específica.

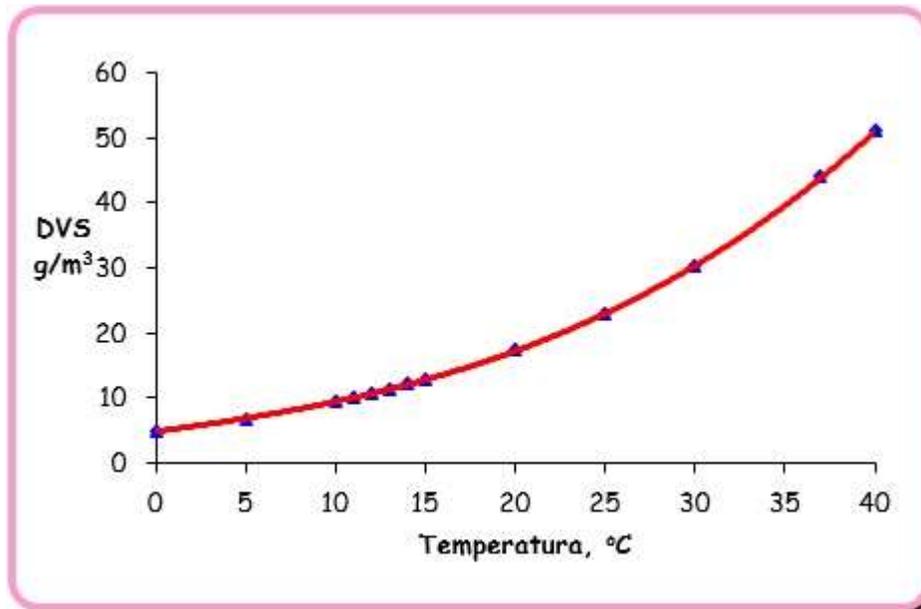


Figura. 39 Saturación de aire (fuente propia del autor).

La densidad de vapor es la masa de vapor de agua en gramos en un metro cúbico de aire, similar a la curva de presión de vapor. Esto es representado por la siguiente ecuación de regresión lineal:

$$DVS = 0.00036T^3 + 0.00543T^2 + 0.37067T + 4.81865$$

$$R^2 = 1.00$$

3.4.3 Medición de la temperatura y humedad relativa por un psicrómetro digital.

En esta parte del capítulo, se corroborar los datos obtenidos, realizando la medición de la temperatura y humedad relativa en el psicrómetro digital, haciendo la relación de la cantidad de vapor de agua en el aire y la máxima cantidad de vapor de agua en el aire, midiendo la presión de vapor y la densidad de vapor en el momento actual figura 40.

Humedad Relativa por medio de un Psicrómetro Digital [%]

Temperatura (bulbo seco) = 25 °C Presión Atmosférica = 1013 mb 760 torr
Temperatura (bulbo humedo) = 20 °C Diferencia en la Temperatura = 5,0 °C Presión a nivel del mar

| <u>Cantidades Calculadas:</u> | | <u>Cantidad de Vapor de Agua</u> | <u>Máxima cantidad de Vapor de Agua</u> |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------|---|
| | | <u>en el Aire</u> | <u>en el Aire</u> |
| Presión de Vapor Actual = | 19,9 mb 15,0 torr | Presión de Vapor Saturado = | 31,7 mb 23,8 torr |
| Densidad de Vapor Actual = | 14,6 g/m ³ | Densidad de Vapor Saturado = | 23,1 g/m ³ |
| Humedad Relativa = | | 63,0 % | |
| Temperatura de rocío= | | 17,5 °C | |

Figura. 40 Datos del psicrómetro digital (fuente propia del autor).

3.4.4 Saturación de la temperatura y humedad.

Por último, se realizó una relación para observar el cambio de la temperatura por la influencia de la humedad relativa, calculando la densidad del vapor saturado mostrado en la tabla 12.

Tabla. 12 Densidad del vapor saturado (fuente propia del autor).

| Densidad de Vapor Saturado (g/m ³) | | |
|--|---------|------------------|
| T, oC | Cálculo | Humedad Relativa |
| 0 | 4,82 | 300,9 |
| 5 | 6,85 | 211,6 |
| 10 | 9,43 | 153,8 |
| 11 | 10,03 | 144,5 |
| 12 | 10,67 | 135,9 |
| 13 | 11,35 | 127,8 |
| 14 | 12,06 | 120,2 |
| 15 | 12,82 | 113,1 |
| 20 | 17,28 | 83,9 |
| 25 | 23,10 | 62,8 |

La gráfica en la figura 41 muestra el punto de saturación de acuerdo a las condiciones propias del sensor.

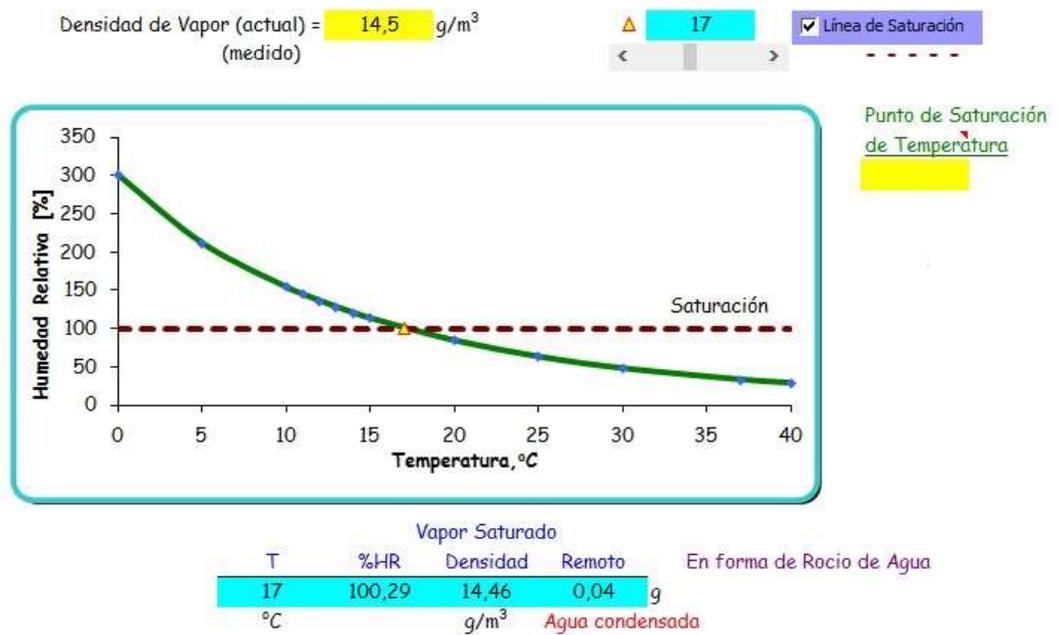


Figura. 41 Punto de saturación del aire (fuente propia del autor).

CAPITULO IV DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Introducción

En este capítulo se describen: la simplificación de los componentes del sistema implementado, el proceso de programación y los criterios que se tomaron en cuenta para su diseño basados en la teoría planteada en el capítulo anterior. Esto con la finalidad de que el lector tenga una referencia para definir proyectos a futuro, en los cuales le facilite la implementación del proyecto.

De igual manera se definen las etapas utilizadas a lo largo de la investigación, describiendo su funcionamiento, así como sus características principales.

4.2 Descripción del sistema

Dentro de las consideraciones del diseño que ejecuta el sistema implementado, se tomó en consideración los requerimientos funcionales del mismo, así como financieros ya que un sistema que no define los alcances de funcionamiento y limitaciones, tiene una probabilidad ínfima de éxito.

En este proyecto se requirió diseñar e implementar un sistema que permita realizar el monitoreo de temperatura y humedad dentro de un módulo de invernadero.

El diagrama de bloques del sistema se presenta en la figura 42. El sensor adquirirá los datos del medio del prototipo de invernadero, que serán leídos por el microcontrolador que contara con los elementos necesarios para poder proporcionar las mediciones de temperatura y humedad relativa, estos mismos datos podrán ser enviados a un pc donde se podrán almacenar en una base de datos, así mismo los datos serán publicados en una página web, por último los datos serán enviados vía Bluetooth a un teléfono inteligente que contiene una aplicación para la visualización de los datos.

Las lecturas de temperatura y humedad se pueden dirigir al pc o al teléfono inteligente, ya que se requiere de un puerto serial libre para el sistema.

En la figura 42 se muestra un esquema general de las etapas del proyecto dentro del capítulo.

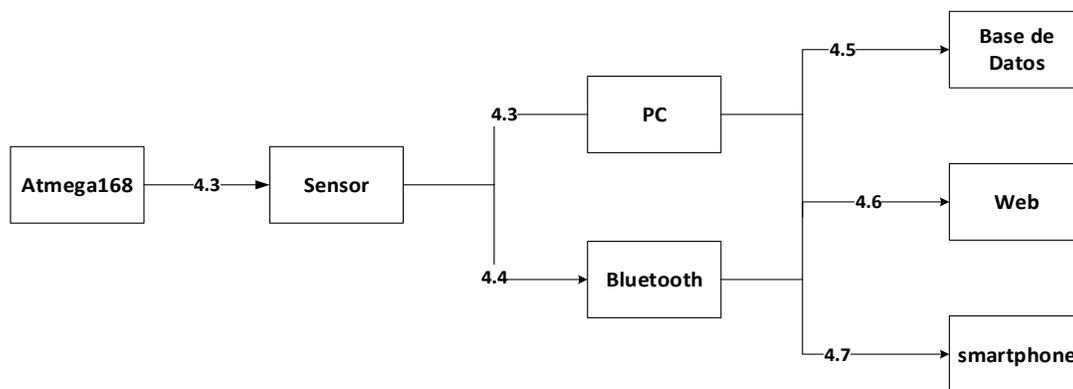


Figura. 42 Arquitectura del Proyecto (fuente propia del autor)

4.3 Programación de ATmega

A continuación, este capítulo se referirá a la programación para el microcontrolador y el sensor DHT22. La programación del microcontrolador utiliza una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source), basada en el lenguaje de programación Processing. Para comenzar el programa se carga la librería del sensor DHT, después se selecciona el pin en el que se conectara el sensor a la placa, enseguida se define qué tipo de sensor DHT se usara ya que existen diferentes tipos de la familia DHT, posteriormente se inicia la librería <SoftwareSerial.h> que permite al chip ATmega recibir la comunicación en serie incluso mientras se trabaja en otras tareas en los pines 0-Rx y 1-Tx, que también pueden ir a la computadora a través de la conexión USB, por último se inicia una variable que será usada por el programa para comunicarse con el sensor y en la siguiente línea se declaran los pines de transmisión y recepción para el módulo HC05.

```
#include "DHT.h"  
#define DHTPIN 2  
#define DHTTYPE DHT22  
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);  
#include <SoftwareSerial.h>  
  
SoftwareSerial mySerial(10, 11);
```

- Void setup:

El setup será la primera función en ejecutarse dentro del programa. Es aquel que establece la configuración del programa o componente físico para que funcione correctamente y donde establecemos algunos criterios que requieren una ejecución única. A las funciones que llevara a cabo el microcontrolador se les dice comúnmente que las funciones se “setean”.

Lo primero es iniciar el sensor y declarar la velocidad del puerto o la velocidad de adquisición de datos, después se declara la comunicación serial a 9600 baudios y por último se establece que el sensor se inicie.

```
mySerial.begin(9600);  
dht.begin();
```

- Void loop:

Loop significa lazo o bucle esta función loop dentro del programa es la que se ejecuta un número infinito de veces. Al encenderse el microcontrolador se ejecuta el código del setup y luego se entra al loop, el cual se repite de forma indefinida hasta que se apague o se reinicie el microcontrolador. Aquí se declaran las variables que se van a utilizar al igual que en que ámbito se quieren mostrar los datos obtenidos.

Iniciando se establece un tiempo de 1000 milisegundos para la siguiente lectura de datos, después se crea una variable de tipo flotante y se lee la humedad en sucesión se crea otra variable de tipo flotante y se lee la temperatura, es importante que las variables sean de tipo flotante ya que el sensor manda lecturas en forma de cadenas y al momento de ser leídas por la interfaz en processing crea conflictos al leer los datos.

Posteriormente se crea una función que comprueba si son números las variables recibidas, y en caso de no serlo se mostrara un texto con la leyenda “fallo al leer el sensor DHT22” y nos devolverá el resultado, por último, se indica que se impriman dos leyendas con el texto “Temperatura” y “Humedad” una debajo de la otra y los resultados del sensor frente a estos textos.

```
Delay(1000);  
float h = dht.readHumidity();  
float t = dht.readTemperature();
```

```
if (isnan(h) || isnan(t)) {  
    mySerial.print("Fallo al leer el sensor DHT22");  
    return;  
}  
  
mySerial.print((String)h + "," + (String)t);  
  
Serial.print("Temperatura=");  
Serial.println(t);  
  
Serial.print("Humedad=");  
Serial.println(h);
```

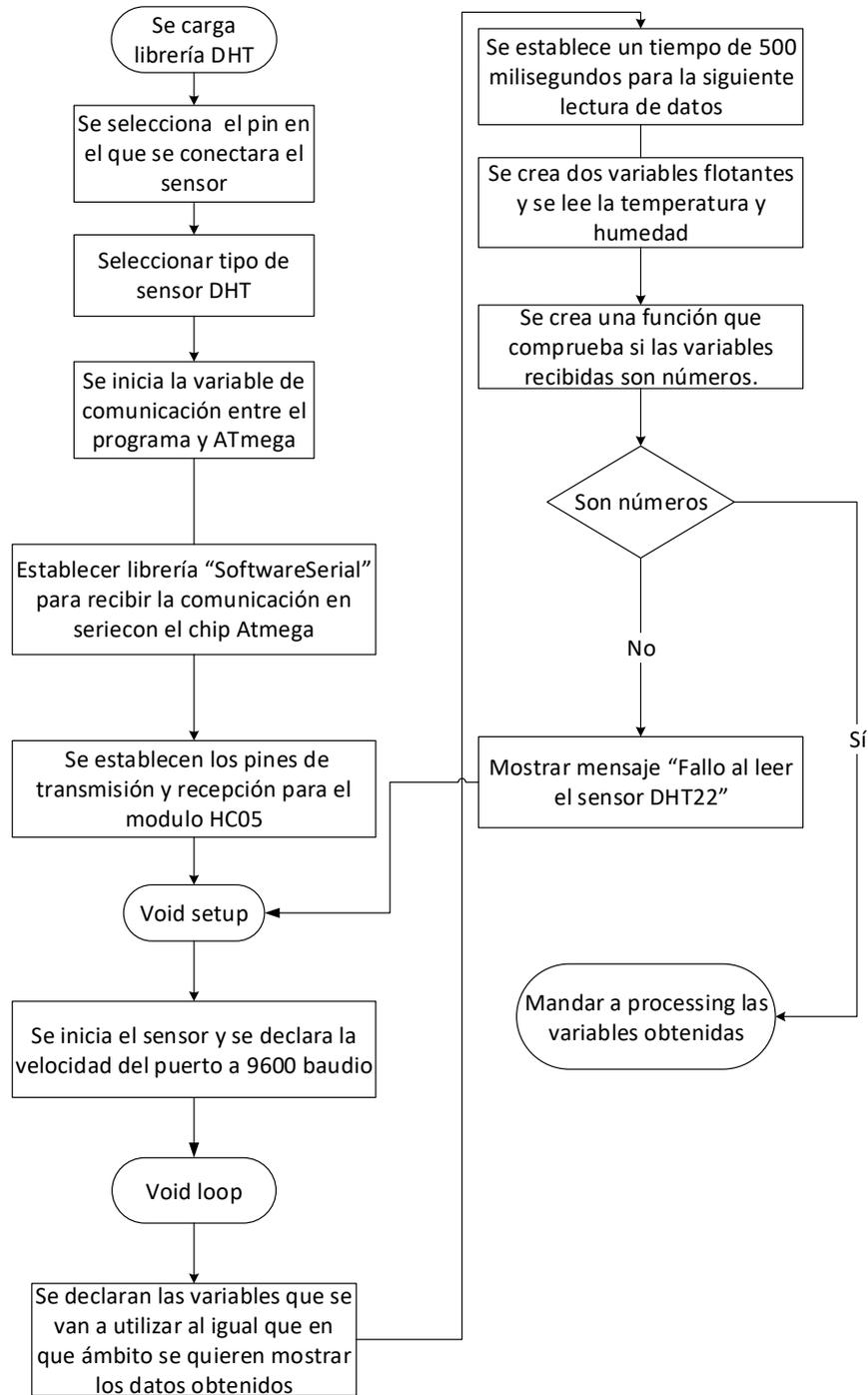


Figura. 43 Diagrama de flujo general de cada etapa de la programación del microcontrolador ATmega (fuente propia de los autores).

4.4 Programación en Processing

La programación para crear la interfaz de comunicación entre la placa con el microcontrolador y la página web usando el software processing se describirá en este capítulo. Una vez en el programa se importando la librería “serial” para la comunicación del puerto, después se crea una variable de tipo entero que será el carácter de retorno de carro, que en código ASCII es 10, por último, se establece el nombre del puerto serial que será la que se comunicara con nuestro microcontrolador.

```
import processing.serial.*;
int lf = 10;
Serial myPort;
```

- Void setup:

Como se ha mencionado anteriormente, el setup es la primera función en ejecutarse dentro de un programa basado en processing es, básicamente, donde se “setean” las funciones que llevará a cabo el microcontrolador. Aquí se establecen algunos criterios que requieren una ejecución única.

Primero se inicia listando todos los puertos serie que se encuentren disponibles, en la siguiente línea se indica que se abra un puerto serial, el cual comunica el programa con el microcontrolador para recibir los datos que capta el sensor, donde la velocidad del puerto tiene que ser la misma que la de nuestro microcontrolador en este caso 9600.

```
Print(Serial.list());
myPort = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600);
```

- Void draw:

En Draw el programa ejecutara continuamente las líneas de código contenidas dentro de su bloque hasta que el programa se detenga, todos los programas de procesamiento actualizan la pantalla al final del dibujo.

Primero se declara lo que se quiere recibir, en este caso se aceptaran los datos de temperatura y humedad del microcontrolador ATmega, después se hace una declaración en la siguiente línea estableciendo que; mientras el puerto serial esté disponible y sea mayor a cero guarde lo leído en string lectura = myPort.readStringUntil(lf); y si la lectura no es igual a null, entonces imprima la lectura de datos de temperatura y humedad, por último, se carga la cadena en el enlace de la página web indicando que muestre las lecturas.

```
while (myPort.available() > 0) {  
  
    String lectura = myPort.readStringUntil(lf);  
  
    if (lectura != null){  
        print(lectura);  
        loadStrings("http://dweet.io/dweet/for/alan?" +lectura);  
    }  
}
```

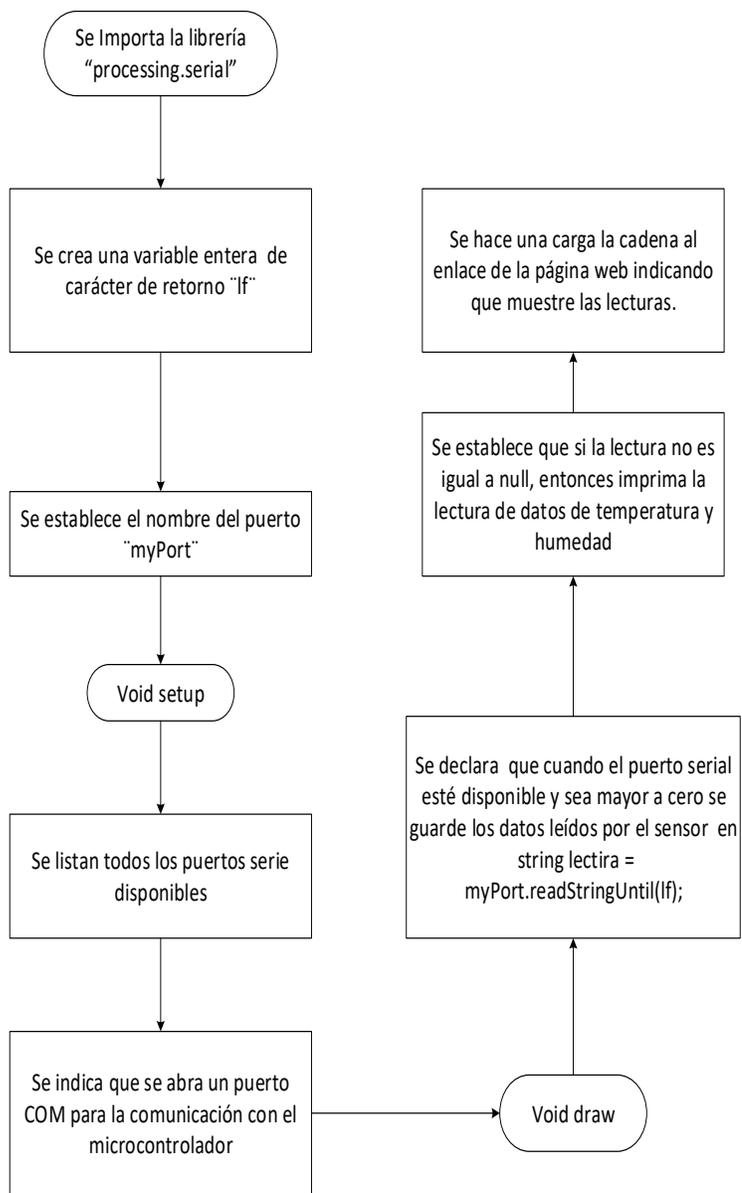


Figura. 44 Se muestra el diagrama de flujo general de cada etapa de la programación en processing (fuente propia del autor).

4.5 Programación Visual Studio

A continuación, se establecen los pasos para crear la base de datos en el software Visual Studio® 2010. Una vez en el programa se inicia creando un **Nuevo proyecto**, se selecciona **Windows Forms Application** y se nombra el proyecto como **SerialPortInterface**, ya en la ventana **Form1.vd[Diseño]** se crea una ventana **frmMain** se aplica clic sobre ella y se dirige a la ventana **Propiedades** ubicada en la parte inferior derecha del programa, y se busca el cuadro **Text** para nombrar la ventana **form1** a **Base de Datos**.

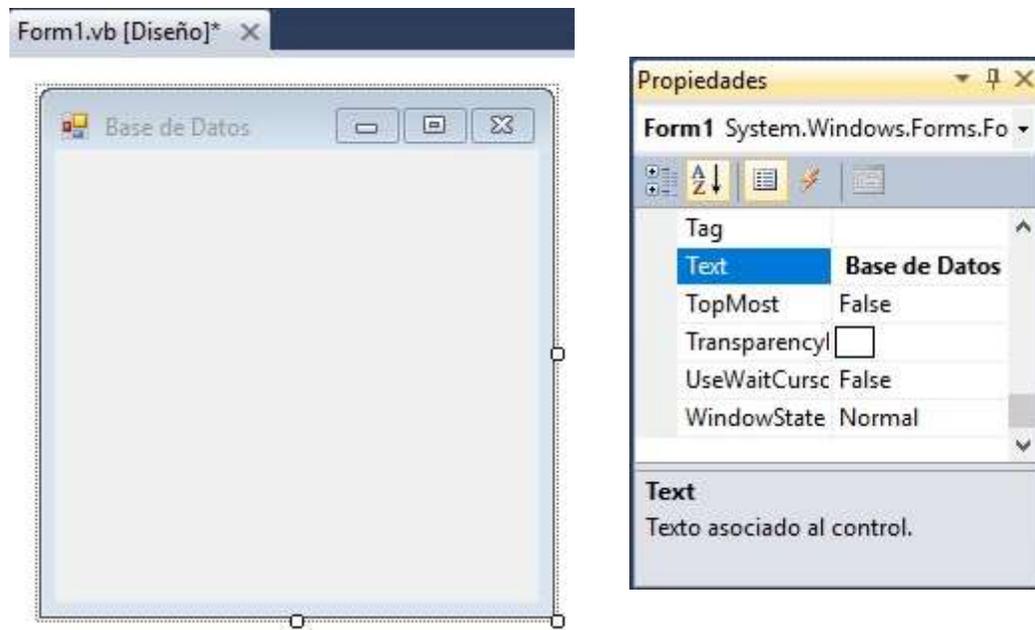


Figura. 45 Form1 ventana de diseño (fuente propia del autor).

Después se da doble clic en la ventana para entrar a su línea de código y se escribe en ella:

```
Me.LecturasTableAdapter.Fill(Me.ProyectoDataSet.Lecturas)
myPort = IO.Ports.SerialPort.GetPortNames()
cmbBaud.Items.Add(9600)
cmbBaud.Items.Add(19200)
cmbBaud.Items.Add(38400)
cmbBaud.Items.Add(57600)
cmbBaud.Items.Add(115200)

For i = 0 To UBound(myPort)
    cmbPort.Items.Add(myPort(i))
Next
cmbPort.Text = cmbPort.Items.Item(0)
cmbBaud.Text = cmbBaud.Items.Item(0)
btnDisconnect.Enabled = False
```

La primera línea de código carga datos en la tabla 'ProyectoDataSet.Lecturas', después cuando cargue el formulario, se auto detectan todos los puertos serie en el sistema y se rellena el cuadro combinado cmbPort para obtener los puertos COM disponibles, posteriormente se rellena el cuadro combinado cmbBaud a las velocidades de transmisión comunes utilizadas.

Una vez nombrado la ventana **form1**, se abre el cuadro de herramientas, una vez ahí se busca y coloca dentro del **form1** una etiqueta "Label", y en la ventana **Propiedades** se cambia el nombre de la parte de "Text" a "Com Port", por último frente al Label se coloca un cuadro "cmbPort".

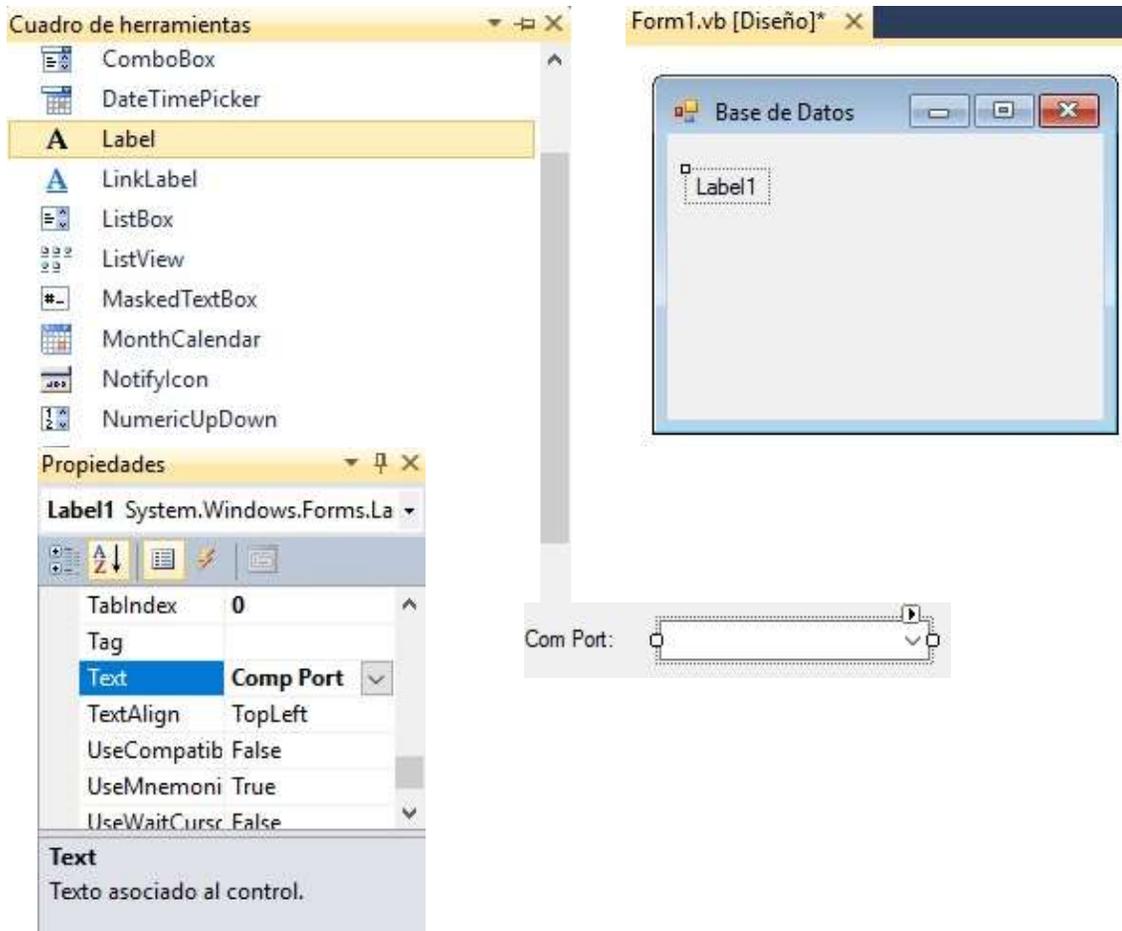


Figura. 46 Label1 y ComPort (fuente propia del autor).

Se presiona doble clic sobre el para abrir la pestaña **Form1.vd** donde se encuentran las líneas de código de cada uno de los componentes que se vayan agregando, y en su línea de código se escribe:

```

If
  SerialPort1.IsOpen = False Then
  SerialPort1.PortName = cmbPort.Text
Else
  MsgBox("Valid only if port is Closed", vbCritical)
End If

```

Esto abre un cuadro de mensaje para el usuario si está cambiando los puertos, es decir que se muestran los puertos COM disponibles a los cuales el microcontrolador se puede conectar.

Nuevamente en la ventana **Form1.vd[Diseño]** se coloca un botón **"btnConnect"** frente al cuadro **"cmbPort"** en sus propiedades cambiamos su nombre a "Connect".



Figura. 47 Botón Connect (fuente propia del autor).

Seguidamente se da doble clic para dirigirse a la línea de código y se escribe el siguiente código:

```
SerialPort1.PortName = cmbPort.Text
SerialPort1.BaudRate = cmbBaud.Text

SerialPort1.Parity = IO.Ports.Parity.None
SerialPort1.StopBits = IO.Ports.StopBits.One
SerialPort1.DataBits = 8
SerialPort1.Open() //Abre el Puerto serie

btnConnect.Enabled = False
btnDisconnect.Enabled = True
```

Este segmento establecerá el SerialPort1 al puerto COM seleccionado, y ajustará la velocidad de transmisión al valor seleccionado en las propiedades de otros puertos serie.

De nuevo al **Form1.vd**, se coloca en la parte de abajo del Label **"Com Port"** otro label y se nombra **"Baud Rate"**, finalmente, frente al cuadro colocamos un **"cmbBaud"**.



Figura. 48 Label Baud Rate y cmbBaud (fuente propia del autor).

Se presiona doble clic para entrar a su línea de código y se escribe lo siguiente:

```
If SerialPort1.IsOpen = False Then
    SerialPort1.BaudRate = cmbBaud.Text
Else
    MsgBox("Valid only if port is Closed", vbCritical)
End If
```

A continuación, se abrirá un cuadro de mensaje para el usuario si está cambiando la velocidad de transmisión sin que primero lo desconecte.

Después regresamos al **Form1.vd** colocamos frente al cuadro **"cmbBaud"** colocamos un botón **"btnDisconnect"**



Figura. 49 Botón Disconnect (fuente propia del autor).

Se abre con doble clic la línea de código y se escribe:

```
SerialPort1.Close()
```

```
btnConnect.Enabled = True  
btnDisconnect.Enabled = False
```

Este segmento cierra el puerto serie

Posteriormente se coloca un botón normal **"Button1"** debajo del **"btnDisconnect"** se abre la línea de código y se escribe lo siguiente:

```
Me.rtbReceived.SaveFile("C:\Users\panki\Documents\muestras.txt")
```

Esta parte permite guardar en la ruta que designemos un archivo con extensión .txt con los datos mostrados en el cuadro **"rtbReceived"**.

Para finalizar, se coloca un cuadro tipo matriz **"rtbReceived"** en la parte de abajo del form en la parte de propiedades del cuadro, se busca al opción **"Lines"** y se pone la opción **"Matriz String[]"**.

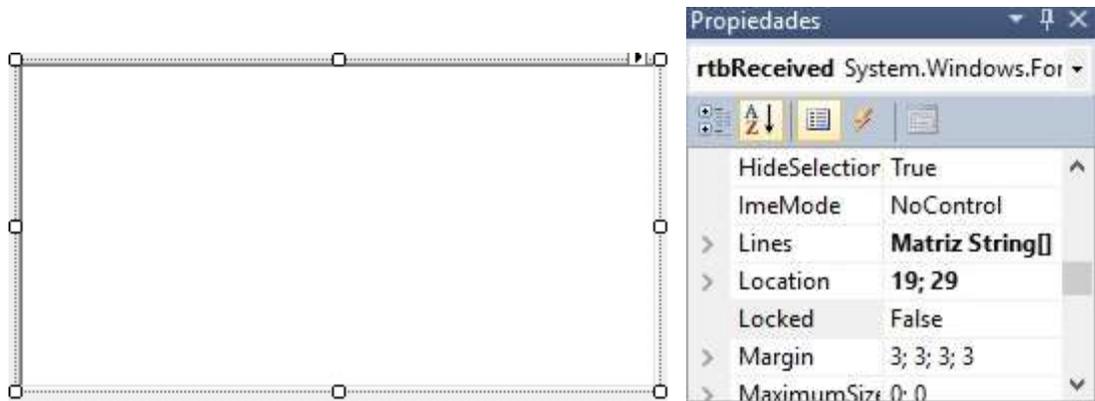


Figura. 50 Matriz String (fuente propia del autor).

Esto permitirá visualizar los datos obtenidos del sensor en forma de texto.

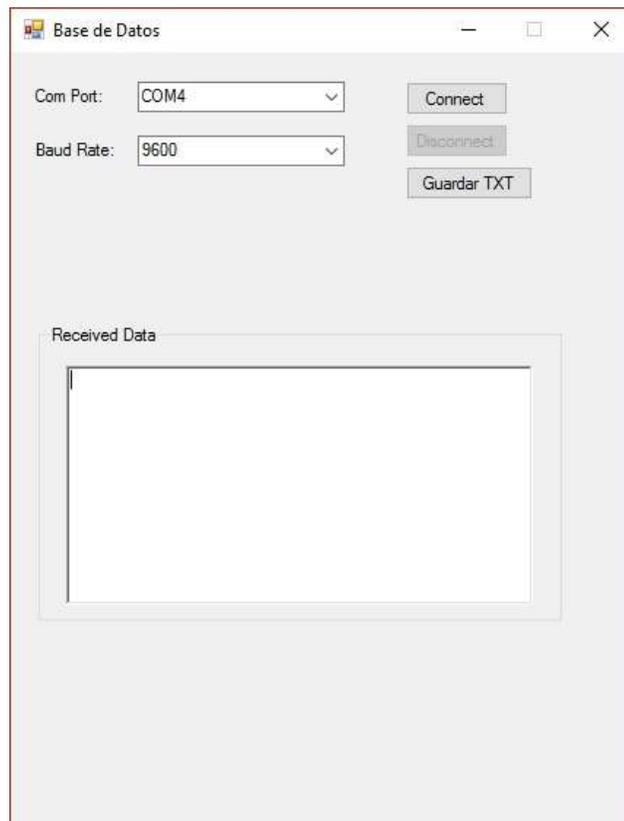


Figura. 51 Vista previa del programa de Visual Studio (fuente propia del autor).

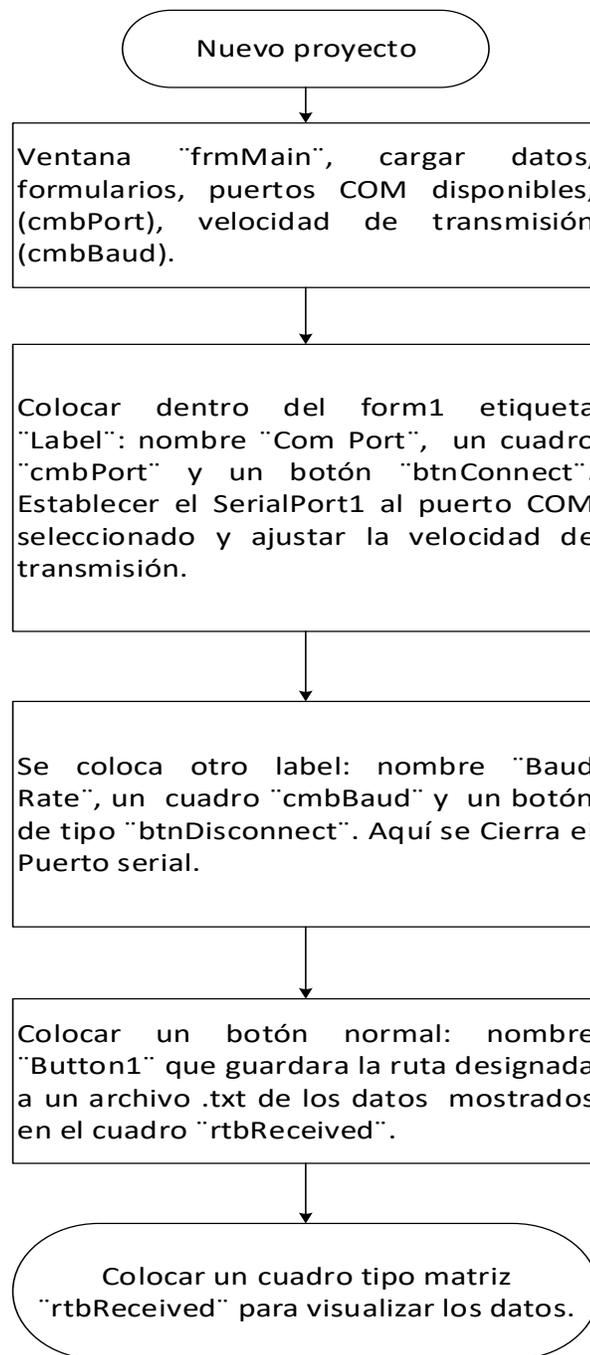


Figura. 52 Diagrama de flujo general de cada etapa de la programación en Visual Studio (fuente propia del autor).

4.6 Programación MIT App inventor 2

4.6.1 Etapa de Diseño

En el desarrollo de la aplicación se utiliza el navegador con la cuenta iniciada en la página de *MIT App Inventor 2*, inicialmente se crea un nuevo proyecto en donde se abre la parte del diseño de la app, se coloca el nombre del proyecto, en la misma pantalla de diseño se coloca un Bluetooth cliente que se encuentra en las opciones de conectividad, acto seguido, en las opciones de interfaz de usuario se selecciona un listPicker1 y se arrastra a la pantalla de 100 pixeles de alto y la pantalla completa de ancho y se le agrega una imagen para el Bluetooth, después en las opciones de sensores se toma un clock y se arrastra a la pantalla, de este mismo modo en las opciones de media se selecciona un TextToSpeech y se arrastra a la pantalla.

Se selecciona un Label1 se deja el nombre en blanco y se coloca debajo del listPicker1. Posteriormente se arrastra un Label2 de las opciones de interfaz de usuario y se cambia el nombre a "Seleccionar Bluetooth" y se coloca arriba del listPicker1.

En las opciones de layout, se selecciona una disposición de desplazamiento horizontal 1 con medidas automáticas de altura y pantalla completa de ancho y, se coloca debajo del Label1, en las opciones de la interfaz de usuario seleccionamos dos botones y los colocamos dentro de la disposición de desplazamiento horizontal, se renombra el Boton1 como "Sensor", con medidas de pantalla completa de altura y 100 pixeles de ancho y, Boton2 "Salir" con las mismas medidas.

Se selecciona una disposición de desplazamiento horizontal 2 y se coloca en medio de los dos botones con pantalla completa de altura y 100 pixeles de ancho.

Por último, se toma una imagen de las opciones de interfaz de usuario con 200 pixeles de altura y pantalla completa de ancho y se carga una imagen pre diseñada.

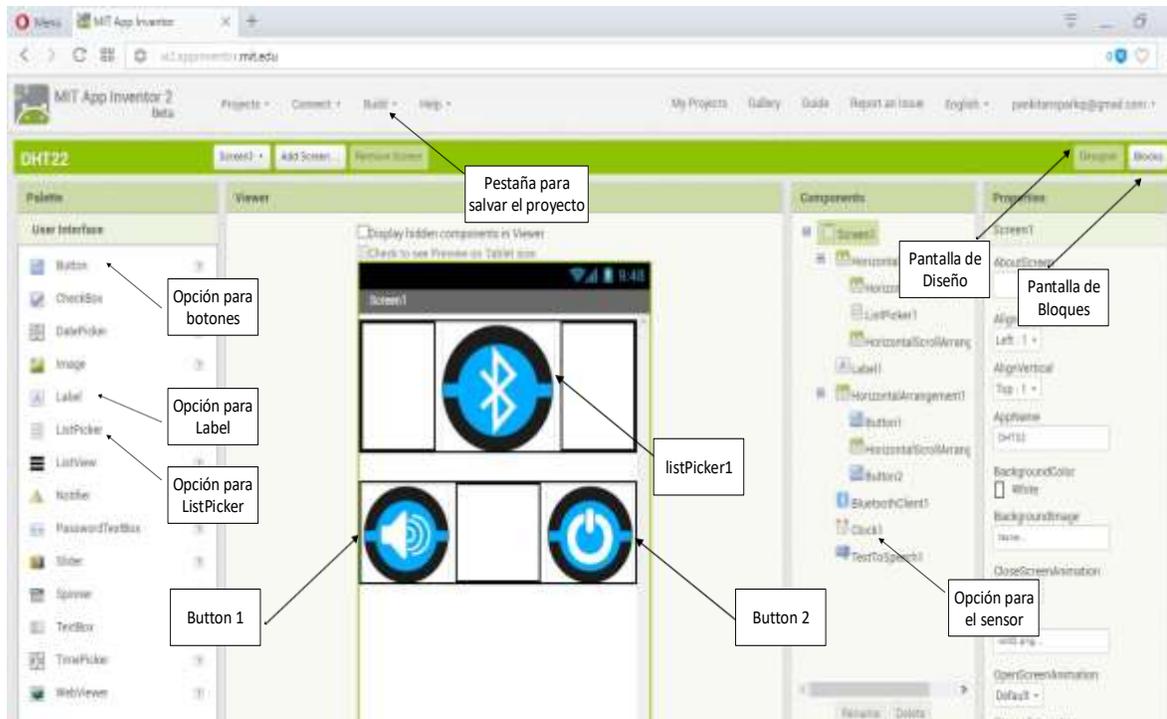


Figura. 53 Interfaz de MIT App Inventor 2® (fuente adaptada por el autor).

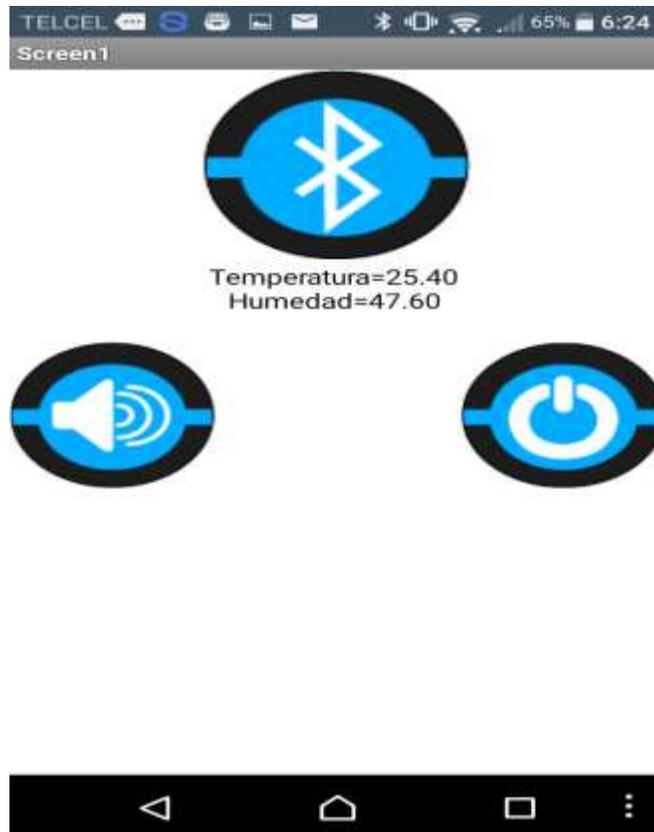


Figura. 54 Vista Previa de la app (fuente propia del autor).

4.6.2 Etapa de Programación

En la etapa de programación se cambia de pantalla a la de bloques que está en la parte superior derecha, ver figura 53; en esta pantalla de bloques se programa todo lo que se colocó en la pantalla de diseño, la programación que se usa en app inventor es por bloques.

En la lista de opciones de la izquierda se da clic en **listPicker1**, se toma el bloque **When listPicker1.BeforePicking do** y se arrastra a la pantalla del mismo **listPicker1**, posteriormente se toma otro bloque de nombre **set listPicker1.Elements to** y se une al **listPicker1.Before**. Por último, se da clic en **BluetoothClient1**, se toma el bloque de nombre **BluetoothClient1.AddressesAndNames** y se une al **listPicker1.Elements**.

En este primer módulo de bloques, se declara que antes de ser oprimido el listPicker se coloque un elemento llamado Bluetooth, para que muestre los nombres y direcciones de los elementos Bluetooth que encuentre, ver figura 55.



Figura. 55 Primer módulo de bloques de ListPicker1 (fuente propia del autor).

Para el siguiente módulo de bloques se inicia tomando otro bloque del **listPicker** de nombre **When listPicker1.AfterPicking do**, posteriormente se arrastra a la pantalla, después se da clic sobre la opción de control y se toma el bloque **If then** uniéndolo al **listPiker1.After**, de igual forma se toma un bloque de la opción de **BluetoothClient1** de nombre **Call BluetoothClient1.Connect address**, se coloca en la ranura del bloque de control **If then** en la parte de **if**, después en **listPicker** se coloca el bloque **ListPicker1.Seleccion** uniéndolo con **Bluetooth. Connect**, del mismo **ListPicker1** se toma el bloque **set ListPicker1.Elements to** y se une al bloque de control **If then** en el espacio **then**, posteriormente se toma el bloque **BluetoothClient1.AddressesAndNames** de la opción **BluetoothClient1** y se une a **ListPicker.Elements**.

Este segundo módulo indica, que al ser oprimido el **ListPicker1** llame al módulo Bluetooth cliente que se haya seleccionado, de ser así, entonces se adhiera al dispositivo Bluetooth, ver figura 56.

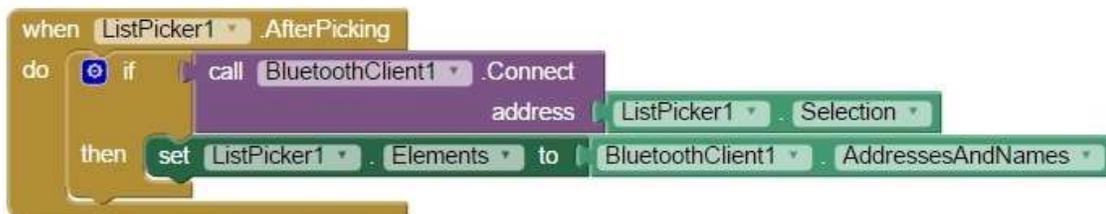


Figura. 56 Segundo módulo de bloques de ListPicker1 (fuente propia del autor).

El siguiente módulo a programar será el sensor para esto se usan las opciones del **Clock1**. Se inicia tomando un bloque de nombre **When Clock1.Timer do** y se arrastra a la pantalla, después se seleccionan dos bloques de la opción de control de tipo **“If then”**; el primero se une dentro de **Clock.Timer**, y el segundo al primer **“If then”** en el espacio **“then”**, posteriormente se elige un bloque **BluetoothClient.ISConnected** de la opción **BluetoothClient1** y se coloca en el primer bloque de control **“If then”**, ubicándolo en el espacio de **“If”**, de igual forma se escoge un bloque de comparación **igual a =** de las opciones de **“Math”** y se cambia a **mayor que >**, de la misma opción **“Math”** se toma un bloque numérico de número **“0”** uniéndolo al segundo espacio de bloque de comparación **“>”**, después de la opción **BluetoothClient1** se toma el bloque **Call BluetoothClient1.BytesAvailableToRecive** y es colocado en el primer espacio del bloque de comparación **“>”**, de igual manera se toma un bloque **set Label1.Text to** de la opción de **Label1**, para colocarlo en el segundo bloque de control **“If then”** en el espacio **“then”**, posteriormente se selecciona un bloque de **BluetoothClient1** llamado **Call BluetoothClient1.ReceiveTextnumberOfBytes** y es unido con el bloque **Label1.Text**.

Por último, se toma un bloque **Call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive** para colocarlo al **BluetoothClient1.ReceiveTextnumberOfBytes**.

Este tercer módulo de bloques da inicio a la comunicación del sensor y el microcontrolador en la app, indicando que cuando el cliente Bluetooth está conectado, haga una comparación donde; todo lo recibido del sistema Bluetooth que sea mayor a cero aparezca en el **Label1.Text**, es decir, que todo lo que este enviando el microcontrolador lo imprima en forma de texto en el **Label1**, ver figura 57.



Figura. 57 Tercer módulo de bloques Clock1 (fuente propia del autor).

En siguiente modulo se programa el **Button1**, tomando de la misma opción un bloque **When Button1.Click do** y se arrastra a la pantalla, posteriormente en las opciones de **TextToSpeech1** se selecciona un bloque con el nombre **Call TextToSpeech1.Speak message** para unirlo al bloque **Button1**, por último, se toma un bloque **Label1.Text** de las opciones del **Label1** y se une al bloque **TextToSpeech1**.

En este cuarto módulo se programa el botón 1, para que al ser oprimido el **TextToSpeech1** mencione lo que está dentro del texto del **Label1**, ver figura 58.



Figura. 58 Cuarto módulo de bloques Button1 (fuente propia del autor).

Por último, se programa el **Button2** tomando de las mismas opciones del botón un **Button2 When Button2.Click do** y se arrastra a la pantalla después en las opciones de control, posteriormente se toma el bloque **Close application** y se une al **When Button2**.

En este quinto módulo se programa el botón dos para cuando sea presionado cierre la aplicación, ver figura 59.



Figura. 59 Quinto módulo de bloques Button2 (fuente propia del autor).

4.7 Programación Dweet

A continuación, se mostrará como publicar los datos del sensor en la página Dweet.io, para esto; no se requiere ningún programa de instalación o registro, solo se publica y se continúa. Para la programación de la página se inicia seleccionando la opción de la página “play” después se da clic en a la opción “dweets: Create or read dweets in short term cache” y se llenan los parámetros en las opciones.

Se coloca el nombre de la página en “thing”, ya que es un nombre único de una cosa y se recomienda que se utilice un GUID de la página como para evitar conflictos de nombres. Se opta por dejar en blanco el recuadro de “key” ya que es una clave válida para una cosa bloqueada, pero si la cosa no está bloqueada, esto puede ser ignorado.

En la parte de “content” se coloca el contenido real de la cadena. Puede ser cualquier cadena JSON válida de la página en este caso se usa la siguiente.

La primera sección de código indica que la comunicación tuvo éxito con la página y, publique lo que se está recibiendo de nuestra “cosa”.

```
{  
  "this": "succeeded",  
  "by": "dweeting",  
  "the": "dweet",
```

En esta segunda sección se declara nombre de nuestra cosa “thing” “temphumed”, se indica la fecha y hora de creación “created”: “2017-01-15T17:28:42.556Z” y el contenido de nuestra cosa que será la temperatura y humedad de nuestro sensor “content”:
{“temperatura”: “20”, “humedad”: “8”, ver figura 60.

```
"whith": {  
  "thing": "temphumed",  
  "created": "2016-11-15T17:28:42.556Z",  
  "content": {  
    "temperatura": "20",  
    "humedad": "8"  
  }  
}
```

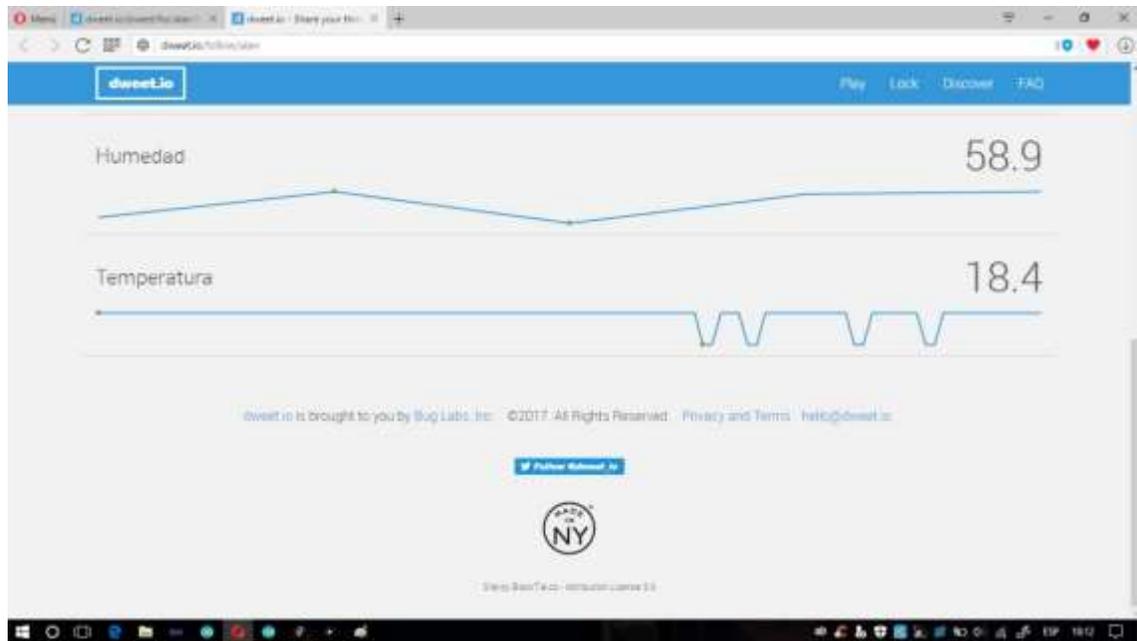


Figura. 60 Muestreo de datos en página Dweet (fuente propia del autor).

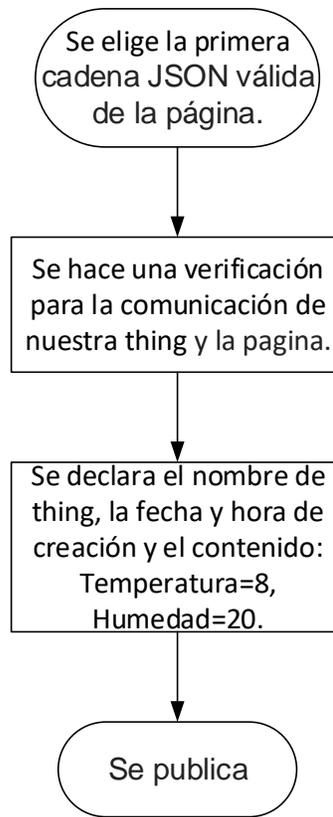


Figura. 61 Diagrama de flujo general de cada etapa de la programación en Dweet (fuente propia del autor).

4.8 Ensamble del Módulo de Invernadero Tipo Túnel

En esta parte del capítulo se explica cómo se realizó el armado del prototipo. Para este trabajo se seleccionó el invernadero tipo túnel, tomando como referencia la investigación realizada y la información proporcionada para el área por lo que el primer paso fue hacer un modelado, ver figura 62.

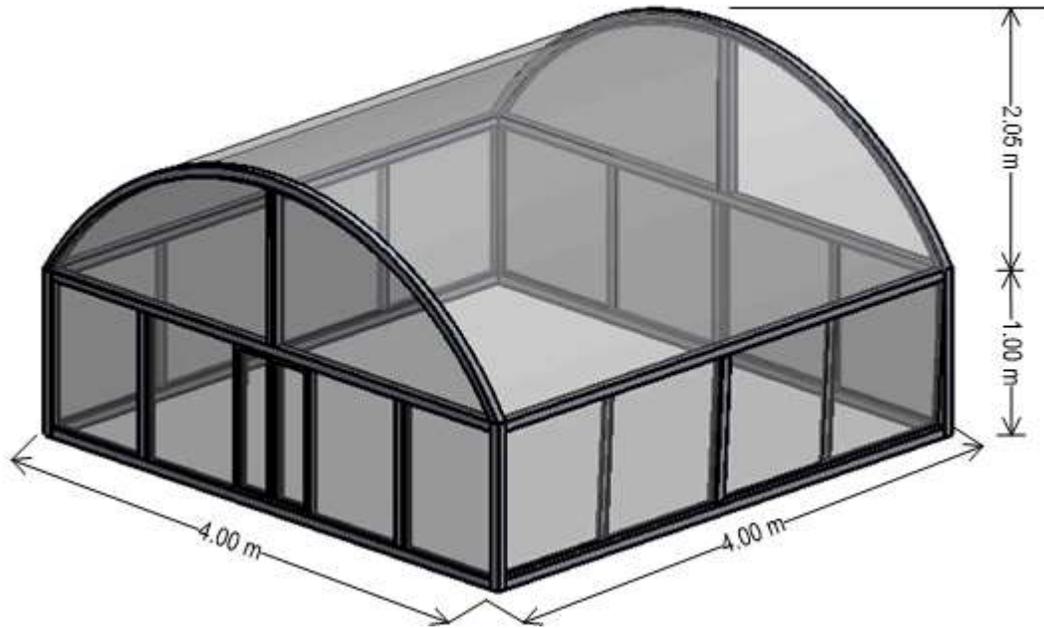


Figura. 62 Modelo del prototipo de invernadero (fuente propia del autor).

Se implementó un módulo de invernadero de 40 cm de largo por 40 cm de ancho y 10 cm de profundidad, hecho de madera como nicho para colocar los productos, mostrado en la figura 63, siendo el más adecuado para este trabajo considerando los factores como el clima típico y la altura a la que se encuentra el municipio de Mineral de la Reforma.



Figura. 63 Base de madera de nicho para para colocar los productos (fuente propia del autor).

Posteriormente se crea un techo de malla sombra ver figura 64 para controlar la cantidad de luz en los cultivos, también protege contra cierto tipo de insectos, lluvia, viento, polvo, granizo, etc. como se muestra en la figura 64. Así mismo, reduce el consumo de agua y baja la temperatura, todo a favor de una agricultura protegida que disminuye los riesgos de la cosecha.



Figura. 64 Malla Sombra (fuente adaptada por el autor).



Figura. 65 Ensamble de la malla sombra con la base para el módulo (fuente adaptada por el autor).

Al finalizar el mallado, se prosiguió con el armado del circuito, y la colocación de los componentes electrónicos:

- Microcontrolador ATmega 168.
- Sensor DHT 22
- Módulo HC05
- Cables Conectores
- Batería de 9V

En la figura 66 se muestra el diagrama esquemático del circuito con los diferentes componentes, y con pictogramas uniformes de acuerdo a normas (siguiendo una misma simbología, de acuerdo al país en el que diseñe), de igual manera se muestran las conexiones de alimentación y de señal entre los dispositivos. El arreglo de los componentes e interconexiones en el esquema, generalmente no corresponde a sus ubicaciones físicas en el dispositivo terminado, sino a la conexión real mediante cables entre los dispositivos.

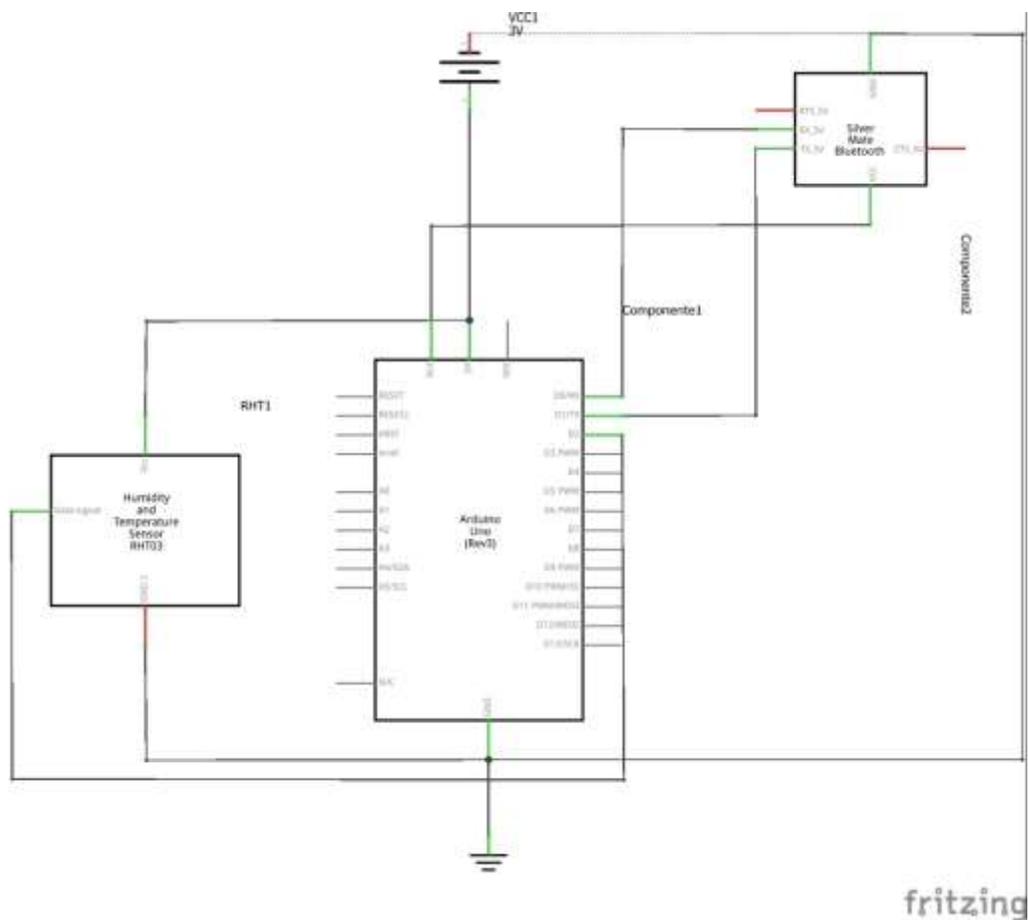


Figura. 66 Diagrama esquemático del circuito (fuente adaptada de Fritzing).

La figura 67 muestra el armado del circuito de los dispositivos dentro de un protoboard.

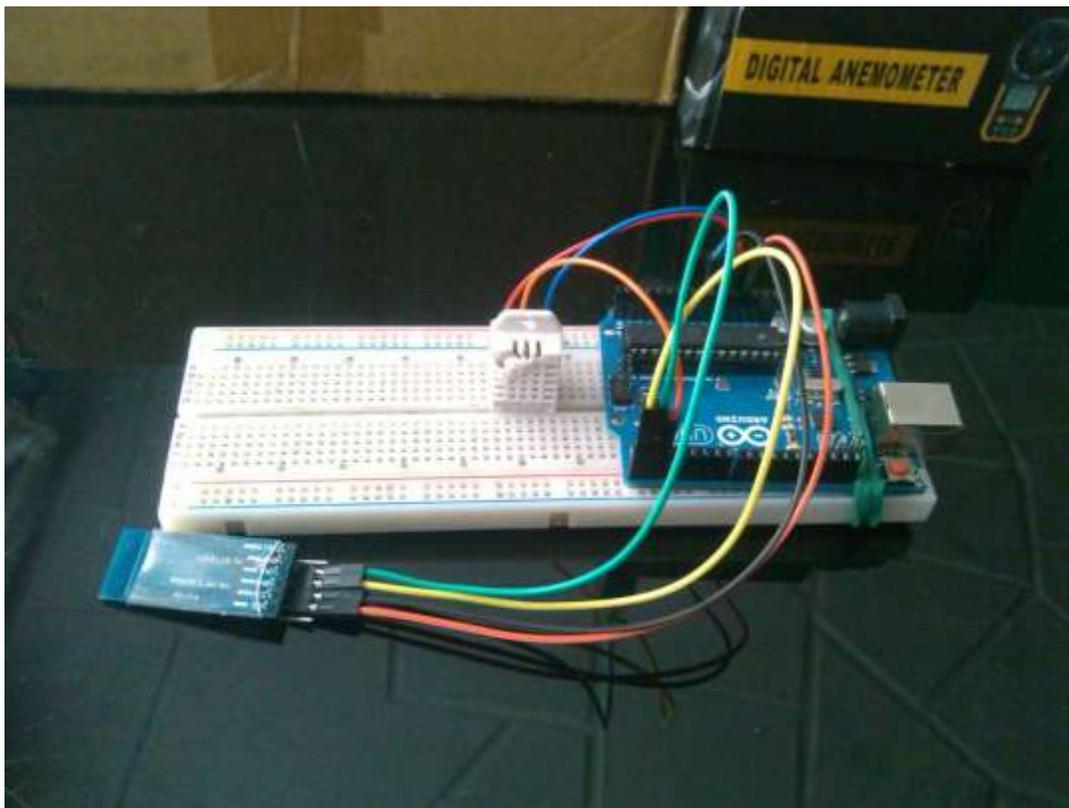


Figura. 67 Armado electrónico para el funcionamiento del sensor (fuente propia del autor).

El sensor fue colocado a 8 centímetros del costado del módulo, ya que como se mencionó en el capítulo 3, ver figura 68.

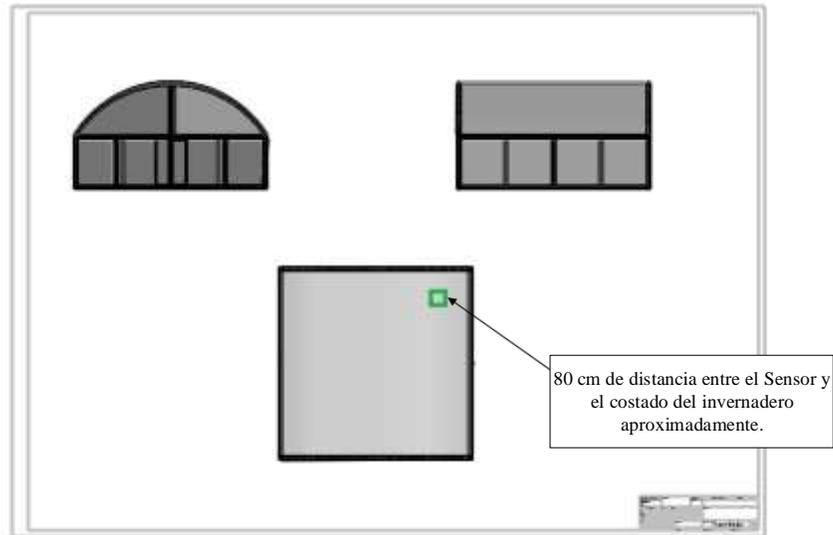


Figura. 68 Colocación idónea para el sensor dentro del invernadero (fuente propia del autor).

En figura 69 se observa el prototipo de invernadero con los componentes ensamblados y funcionando.



Figura. 69 Prototipo de invernadero (fuente propia del autor)

CAPITULO V CONCLUSIONES.

1 - La presente tesis tuvo como objetivo: realizar la instrumentación requerida para obtener los parámetros físicos, temperatura y humedad; en un prototipo de invernadero tipo túnel mediante el uso de dispositivos electrónicos y, herramientas informáticas para este efecto; la investigación está planteada de siguiente manera: Una revisión exhaustiva de documentos de diseño, construcción por parte de SAGARPA y, documentos proporcionados por el Dr. Humberto Iván Navarro Gómez, para realizar la selección del invernadero más adecuado para este proyecto considerando los factores como, el clima típico y la altura a la que se encuentra el municipio de Mineral de la Reforma, Hidalgo. Posteriormente se realizó una investigación para la clasificación de los dispositivos electrónicos, herramientas de diseño y desarrollo con los cuales se determinaron los componentes adecuados para este trabajo tales como: el Microcontrolador ATmega 168, Modulo de Bluetooth HC-05, sensor de temperatura y humedad relativa DHT22. Por tal motivo se concluye que el material investigado y proporcionado son ideales para la elaboración de este trabajo.

2 - El presente trabajo diseñó un prototipo basándose de la investigación realizada y, los documentos proporcionados para este campo, obteniendo los siguientes datos climáticos dentro del municipio de mineral de la reforma teniendo un porcentaje: Semiseco templado 92.0%, templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad 7.0% y semifrío subhúmedo con lluvias en verano, con una mayor humedad del 1.0%. Con lluvias en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, los meses más calurosos se presentan en mayo, junio, julio y agosto con temperatura media anual es de 16 grados centígrados. De acuerdo con la información obtenida, se optó por un diseño de invernadero de tipo túnel por ser resistente al viento y de fácil instalación (recomendable para productores que se inician en el cultivo protegido), por otro lado, su alta transmitancia a la luz solar y la ligereza de los materiales permite ser construido con coberturas tanto flexibles como rígidas. Finalmente, fue elaborando un prototipo de invernadero tipo túnel de 40cm x 40cm x 10cm, hecho de madera como nicho para colocar los productos y cubierto por malla sombra de polietileno color negro de la marca

DM Corporativo®, con radio de 22cm. Finalmente haciendo el estudio dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, se concluye que el prototipo de invernadero de tipo túnel junto con los componentes, son óptimos para la elaboración de este trabajo,

3 –La instrumentación de los parámetros físicos de este trabajo tomó la información proporcionada por de los diferentes tipos de microcontroladores y, los diferentes tipos de sensores de Texas Instruments. Con estas referencias se pudo hacer una búsqueda y, selección de tipos de sensores con descripciones similares, pero con un coste más accesible que cumplieran con los objetivos establecidos para el trabajo, por lo que se decidió usar el sensor DHT22, por ser un sensor digital básico y de simple uso, que utiliza un sensor capacitivo y un termistor para medir el aire circundante, así también se determinó el uso del ATmega 168, por ser un microchip de 8 bits y de alto rendimiento, equilibrado en consumo de energía y velocidad de procesamiento, además de ser compatible con otros dispositivos y accesibles en el mercado. Por tal motivo, se concluye que los dispositivos son óptimos y, se puede corroborar con la información de otros autores.

4 – Al ser seleccionados los componentes electrónicos el siguiente paso fue el desarrollo de la programación para el funcionamiento de los dispositivos, acto seguido fue hacer uso del software de Arduino® para la comunicación del microcontrolador ATmega168 con el sensor, por ser una plataforma de código abierto para prototipos electrónicos, de hardware y software; en un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing, logrando así la comunicación de los dispositivos DHT22 y HC-05. De tal forma, se concluye que esta herramienta de software es ideal para el objetivo del trabajo haciendo que el uso del sensor fuera sencillo implementar.

5 –Se realizó la validación con una medición física de los parámetros seleccionados por medio del sensor incorporado al prototipo y, su comparación de los mismos a través de un dispositivo digital independiente al sistema, (psicrómetro); en un lapso de 24hrs. Usando un modelo matemático de la densidad de agua en vapor saturado (DVS), haciendo la relación de la cantidad de vapor de agua en el aire y la máxima cantidad de

vapor de agua en el aire, se midió la presión de vapor y la densidad de vapor en el momento actual, como resultado final se observó que en la muestra la densidad del vapor saturado en g/m^3 dentro del prototipo da un promedio de 0.30° Celsius de incertidumbre. Por tanto, se concluye que el dispositivo digital psicrómetro fue óptimo para la validación de los datos físicos obtenidos del sensor, temperatura relativa y humedad relativa.

6 – En el prototipo se realizó la simulación de los parámetros físicos utilizando la herramienta informática Comsol Multiphysics®, siendo este un software de análisis y resolución por método de elementos finitos para aplicaciones físicas variadas de ingeniería y sistemas acoplados de ecuaciones en derivadas parciales (EDP). Ofrece una amplia gestión de interfaz a MATLAB y su variedad de posibilidades de programación, preprocesado y postprocesado y sus paquetes son multiplataforma. Con dicha herramienta, se analizó la distribución de temperatura y patrones de flujo de variaciones en las propiedades del fluido del aire y su comportamiento dentro del prototipo en un modelado en 2D, utilizando ecuaciones de Navier-Stokes incompresible dentro de COMSOL® como resultado se obtuvieron las siguientes variables: el vector de velocidad, que genera calor a consecuencia de la fricción del fluido; la flotabilidad utilizando el enfoque de Boussinesq siendo un valor relacionado al vector de velocidad, la presión que se genera dentro del prototipo y los contornos isotérmicos del cambio reversible en el sistema, en este caso la temperatura constante dentro del prototipo representadas por curvas isotermas de valores sucesivos de las diversas variables del sistema en su proceso isoterma. Como conclusión, con los datos obtenidos en la simulación, se estableció la posición ideal de los componentes electrónicos, específicamente el sensor de temperatura y humedad.

7 - La creación de la base de datos usó la herramienta Visual Studio®, siendo este software un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones web ASP.NET, Servicios Web XML, aplicaciones de escritorio y aplicaciones móviles. Visual Basic, Visual C# y Visual C++ que utilizan el mismo entorno de desarrollo integrado (IDE), las cuales ofrecen acceso a tecnologías clave para simplificar el desarrollo de aplicaciones web ASP y Servicios Web XML. El desarrollo de

la interfaz del sensor con la página web y la publicación de los datos obtenidos del sensor, se hizo uso del software libre Processing® propuesto por el Ingeniero Ángel Márquez Aguilar, por ser otro lenguaje de programación de entorno abierto y, de desarrollo integrado con código basado en Java, siendo fácil de utilizar y que sirve como medio para la enseñanza y, producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital. Para la publicación de los datos en la red se usó Dweet®, siendo un sistema que no requiere ningún programa de instalación o registro logrando que cualquier dispositivo, máquina, gadget, etc. que logre conectarse a internet, este puede utilizar este sistema de publicación. Por último, el software de la aplicación de Smartphone se utilizó MIT App Inventor® por su sencilla interfaz gráfica de aplicaciones que transforma el complejo lenguaje de la codificación basada en texto a bloques de construcción visual. Por lo tanto, se concluye que las herramientas utilizadas para este efecto son ideales para este trabajo y pueden ser recabados con la información de otros autores.

8 – Por último, se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones y la programación realizada. De acuerdo con los trabajos consultados, se notó que la colocación de los sensores se hace en condiciones de la infraestructura o, de manera arbitraria. La exposición con clima exterior y la fricción creada por la velocidad del fluido (aire) provocan un efecto de transferencia térmica, provocando que el flujo transite a una velocidad uniforme. Los resultados de medición e instrumentación se pueden observar en la figura 27 del capítulo III, mostrando el efecto térmico dentro del prototipo concentrado en los costados, de tal forma si el sensor es colocado en dichos lugares, generara lecturas de la temperatura diferentes que, al centro del prototipo, por lo tanto, en la figura 68 del capítulo IV se establece que el lugar idóneo para el sensor sea de al menos 8cm separado de las paredes del prototipo.

Apéndice A:

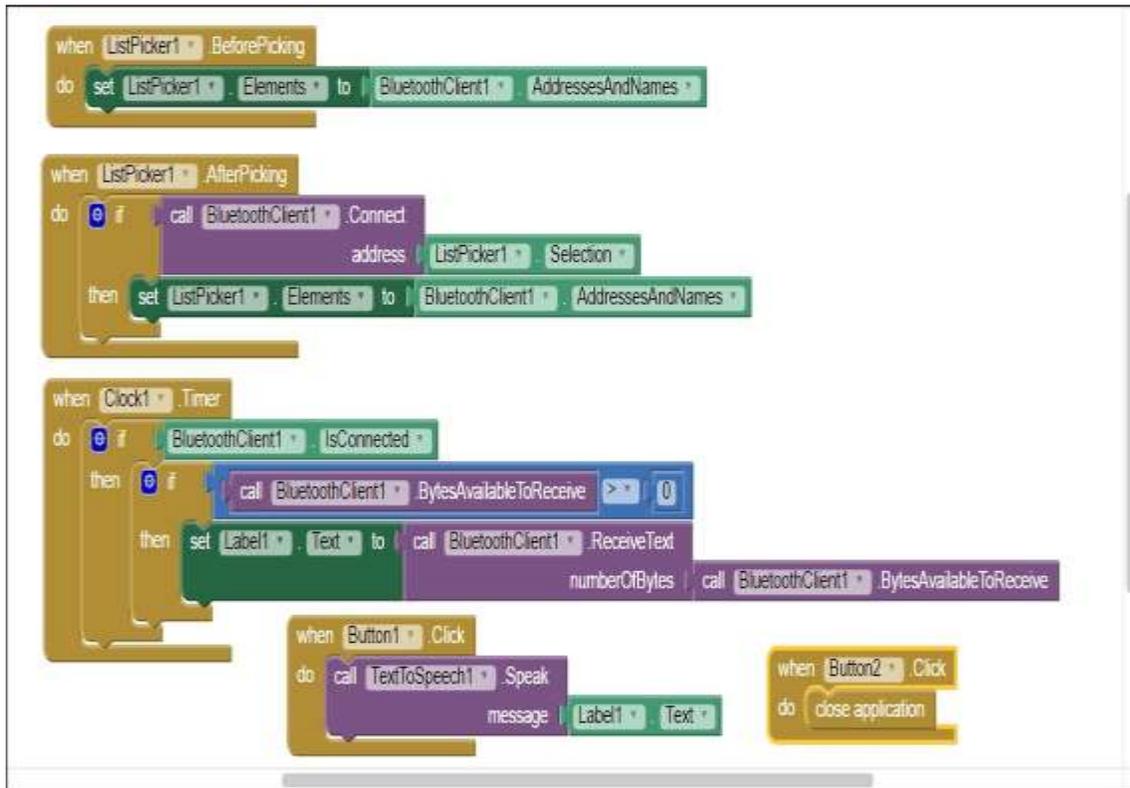


Figura. 70 Programación en MIT inventor 2 (fuente propia del autor)

Como se muestra en este apartado este es el código de bloques de App Inventor® en su totalidad de la aplicación.

Apéndice B:



```
DHT22_Dweet$  
#include "DHT.h"  
#define DHTPIN 2  
#define DHITYPE DHT22  
DHT dht(DHTPIN, DHITYPE);  
  
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  dht.begin();  
}  
  
void loop() {  
  
  delay(1000);  
  float h = dht.readHumidity();  
  float t = dht.readTemperature();  
  if (isnan(h) || isnan(t)) {  
    Serial.println("Fallo al leer el sensor DHT11");  
    return;  
  }  
  Serial.print("Temperatura=");  
  Serial.println(t);  
  Serial.print("Humedad=");  
  Serial.println(h);  
}
```

Figura. 71 Programación del software Arduino® (fuente propia del autor).

En este apéndice se muestra el código de programación que se carga al microcontrolador ATmega 168.

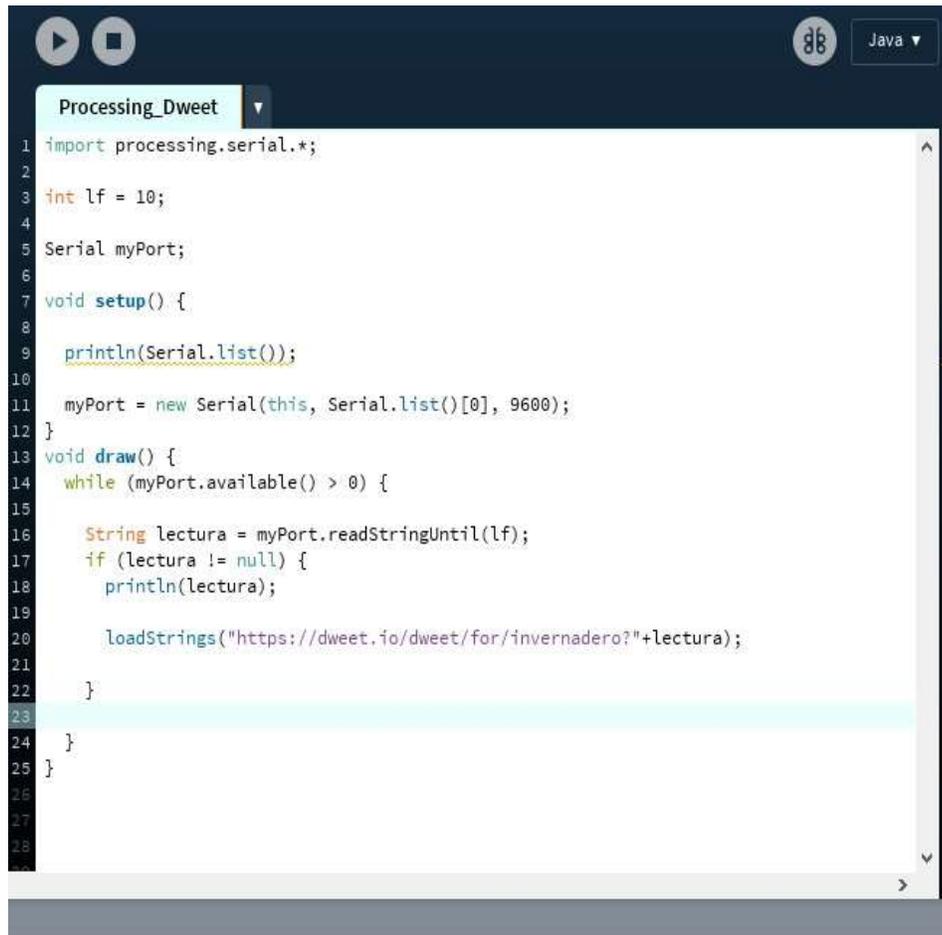
Apéndice C:

```
{  
  "this": "succeeded",  
  "by": "dweeting",  
  "the": "dweet",  
  "with": {  
    "thing": "temphumed",  
    "created": "2016-11-15T17:28:42.556Z",  
    "content": {  
      "temperatura": "20",  
      "humedad": "8"  
    }  
  }  
}
```

Figura. 72 Programación en Dweet® (fuente propia del autor).

Programación en la página Dweet.io, para la visualización de datos online para los dispositivos electrónicos.

Apéndice D:

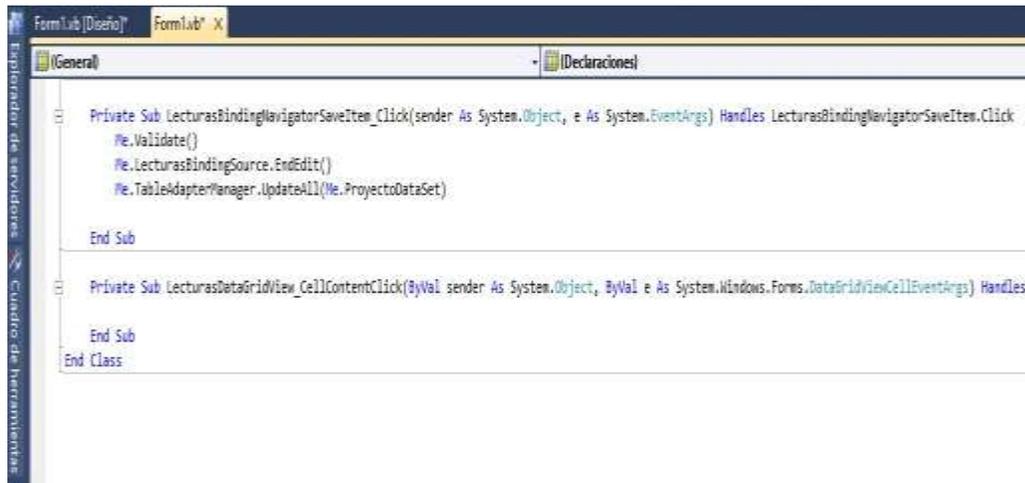


```
Processing_Dweet
1 import processing.serial.*;
2
3 int lf = 10;
4
5 Serial myPort;
6
7 void setup() {
8
9   println(Serial.list());
10
11  myPort = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600);
12 }
13 void draw() {
14   while (myPort.available() > 0) {
15
16     String lectura = myPort.readStringUntil(lf);
17     if (lectura != null) {
18       println(lectura);
19
20       loadStrings("https://dweet.io/dweet/for/invernadero?" + lectura);
21
22     }
23
24   }
25 }
26
27
28
```

Figura. 73 Programación del software Processing® (fuente propia del autor).

Programa en Processing®, el cual es la interfaz para enviar los datos de los sensores a la página Dweet®.

Apéndice E:

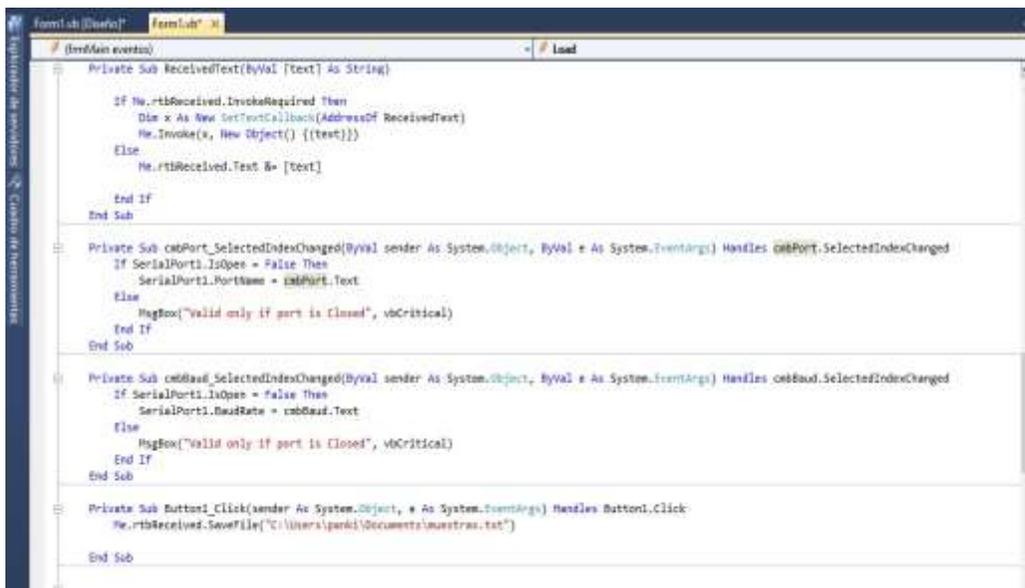


```
Form1Lib [Diseño] Form1Lib*.X
[General] [Declaraciones]

Private Sub LecturasBindingNavigatorSaveItem_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs) Handles LecturasBindingNavigatorSaveItem.Click
    Me.Validate()
    Me.LecturasBindingSource.EndEdit()
    Me.TableAdapterManager.UpdateAll(Me.ProyectoDataSet)
End Sub

Private Sub LecturasDataGridView_CellContentClick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.Windows.Forms.DataGridViewCellEventArgs) Handles
End Sub
End Class
```

Figura. 74 Código en Visual Studio® parte 1 (fuente propia del autor).



```
Form1Lib [Diseño] Form1Lib*.X
[Eventos] Load

Private Sub ReceivedText(ByVal Text As String)
    If Me.rtbReceived.InvokeRequired Then
        Dim x As New SetTextCallback(AddressOf ReceivedText)
        Me.Invoke(x, New Object() {Text})
    Else
        Me.rtbReceived.Text &= Text
    End If
End Sub

Private Sub cbPort_SelectedIndexChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cbPort.SelectedIndexChanged
    If SerialPort1.IsOpen = False Then
        SerialPort1.PortName = cbPort.Text
    Else
        MsgBox("Valid only if port is closed", vbCritical)
    End If
End Sub

Private Sub cbBaud_SelectedIndexChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles cbBaud.SelectedIndexChanged
    If SerialPort1.IsOpen = False Then
        SerialPort1.BaudRate = cbBaud.Text
    Else
        MsgBox("Valid only if port is closed", vbCritical)
    End If
End Sub

Private Sub Button1_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs) Handles Button1.Click
    Me.rtbReceived.SaveFile("C:\Users\parki\Documents\muestras.txt")
End Sub
```

Figura. 75 Código en Visual Studio® parte 2 (fuente propia del autor).

```

Imports System
Imports System.ComponentModel
Imports System.Threading
Imports System.IO.Ports

Public Class frmMain
    Dim myPort As Array
    Delegate Sub SetTestCallback(ByVal [text] As String)

    Private Sub frmMain_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load

        Me.LecturasTableAdapter.Fill(Me.ProyectoDataSet.Lecturas)

        myPort = IO.Ports.SerialPort.GetPortNames()
        cmbAud.Items.Add(9600)
        cmbAud.Items.Add(10200)
        cmbAud.Items.Add(10400)
        cmbAud.Items.Add(17000)
        cmbAud.Items.Add(115200)

        For i = 0 To UBound(myPort)
            cmbPort.Items.Add(myPort(i))
        Next
        cmbPort.Text = cmbPort.Items.Item(0)
        cmbAud.Text = cmbAud.Items.Item(0)

        btnDisconnect.Enabled = False

    End Sub

```

Figura. 76 Código en Visual Studio® parte 3 (fuente propia del autor).

```

Private Sub btnConnect_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnConnect.Click
    SerialPort1.PortName = cmbPort.Text
    SerialPort1.BaudRate = cmbAud.Text

    SerialPort1.Parity = IO.Ports.Parity.None
    SerialPort1.StopBits = IO.Ports.StopBits.One
    SerialPort1.DataBits = 8
    SerialPort1.Open()

    btnConnect.Enabled = False
    btnDisconnect.Enabled = True
End Sub

Private Sub btnDisconnect_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnDisconnect.Click
    SerialPort1.Close()

    btnConnect.Enabled = True
    btnDisconnect.Enabled = False
End Sub

Private Sub btnSend_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnSend.Click
    SerialPort1.Write(txtTransmit.Text & vbCr)
End Sub

Private Sub SerialPort1_DataReceived(ByVal sender As Object, ByVal e As System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs) Handles SerialPort1.DataReceived
    ReceivedText(SerialPort1.ReadExisting())
End Sub

```

Figura. 77 Código en Visual Studio® parte 4 (fuente propia del autor).

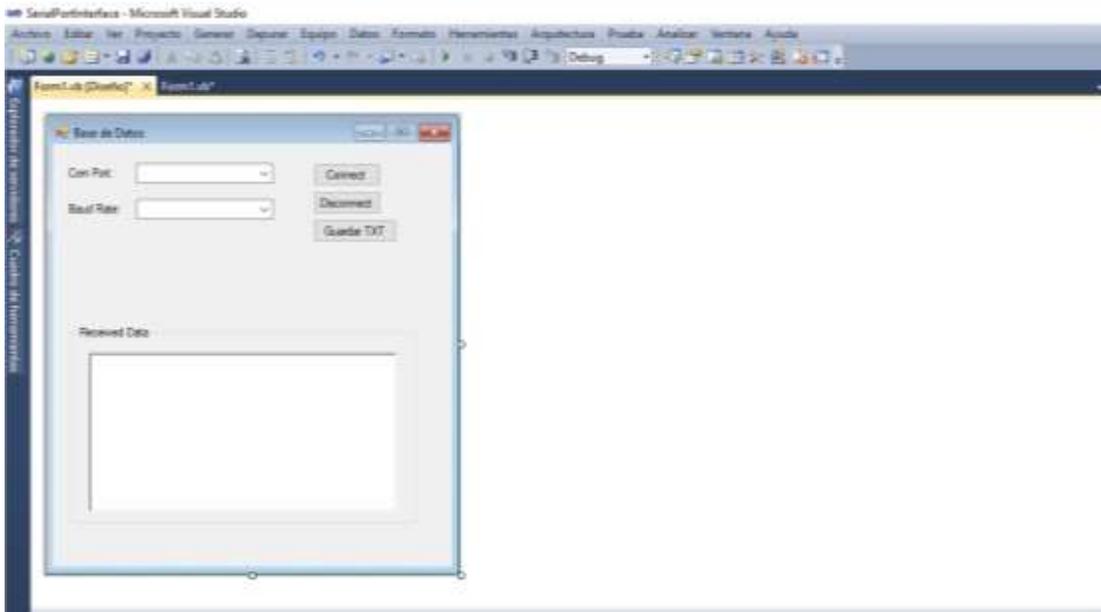


Figura. 78 Ventana del programa terminado en Visual Studio® (fuente propia del autor).

En estas imágenes se muestra el proceso de la programación para la base de datos en Visual Studio®.

Apéndice F:

Psicrómetro.

El Psicrómetro está formado por dos termómetros; que determina la humedad relativa midiendo la temperatura ambiente y la temperatura de una fuente de agua en evaporación. El bulbo de uno de ellos está envuelto en un tejido que se mantiene siempre humedecido.

- Principio de funcionamiento: Consiste en la evaporación desde la superficie del bulbo húmedo, dentro de la corriente de aire enfría el bulbo húmedo hasta una temperatura estacionaria, tal que haya un equilibrio entre el calor perdido por la evaporación y el ganado por la convección y radiación. Esta temperatura depende de la presión, temperatura y humedad de la atmósfera. Así pues, cuando se dispone de un valor aproximado de presión, la humedad puede obtenerse a partir de las temperaturas observadas de los bulbos húmedo y seco. Existen dos tipos de psicrómetros: Ventilación natural y ventilación forzada. [43]

Ventilación natural

Los psicrómetros de ventilación natural están formados por dos termómetros, normalmente por RTD's o termómetros de mercurio. Los elementos no están sujetos al movimiento de aire forzado, son menos exactos, sin embargo, se utilizan en algunas aplicaciones figura 1. El termómetro de bulbo seco se usa para medir la temperatura ambiente y el termómetro de bulbo húmedo (cubierto por una mecha de algodón que está en contacto con un depósito de agua) se utiliza para medir la diferencia de temperatura debido a la evaporación de agua alrededor del bulbo húmedo. La evaporación enfría el bulbo del termómetro de bulbo frío. Conociendo las temperaturas de ambos termómetros, la humedad relativa puede fácilmente determinarse mediante cartas psicrométricas, tablas o calculada mediante las expresiones correspondientes. [43]

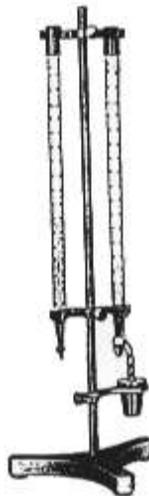


Figura. 79 Termómetro de bulbo seco.

Ventilación forzada [45]

En un psicrómetro con ventilación forzada los dos sensores de temperatura se exponen a una corriente de aire. Estos son usualmente termistores, RTD's, termopares o termómetros de mercurio.

Psicrómetro de giro

Al hacer girar el psicrómetro, el aire fluye sobre los bulbos húmedo y seco. Este tipo de psicrómetros no es tan exacto como uno ventilado por otros métodos, porque la temperatura del elemento húmedo comienza a elevarse tan pronto como el movimiento cesa para leer los termómetros figura 2.

Psicrómetro de aspiración (tipo Assman)

Es el más utilizado, un ventilador pequeño accionado por un motor eléctrico o con mecanismo de relojería lleva el aire axialmente sobre los termómetros de mercurio. El agua debe ser agregada manualmente al elemento húmedo entre cinco a quince minutos antes de la medición bajo condiciones ambientales normales figura 3.



Figura. 80 Psicrómetro de giro.



Figura. 81 Psicrómetro de aspiración (tipo Assman).

Determinación de la humedad relativa mediante cálculo: [46]

Humedad Relativa

Es la humedad presente relativa (con respecto) a la máxima humedad posible a la misma temperatura ambiente (bulbo seco). Se define como la razón de: la presión de vapor de agua, presente en ese momento con respecto a la presión de vapor en saturación (de agua) a la misma temperatura. Se expresa como porcentaje. $HR = \frac{e(T)}{e_s(T)} \cdot 100\%$

donde:

HR = humedad relativa en %,

$e(T)$ = presión parcial real del vapor de agua en aire húmedo, en Pa,

$e_s(T)$ = presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado, en Pa.

Presión parcial de vapor saturado

Expresa el hecho de que, a una temperatura dada, existe un máximo en la cantidad de vapor de agua que puede estar presente, en otras palabras, es la máxima presión parcial $e_s(T)$ que puede ejercer el vapor de agua a una temperatura (bulbo seco) particular (t ó T).

$$e_s(T) = 1Pa \cdot e^{\left(A \cdot T^2 + B \cdot T + C + \frac{D}{T}\right)}$$

donde:

$e_s(T)$ = presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado en Pa, a la temperatura de bulbo seco T

$e = 2,718\ 281\ 828\ 46$ = base de logaritmo natural (neperiano) o número de Euler.

$A = 1,237\ 884\ 7 \cdot 10^{-5}$

$B = -1,912\ 131\ 6 \cdot 10^{-2}$

$C = 33,937\ 110\ 47$

$D = -6,343\ 164\ 5 \cdot 10^3$

T = temperatura ambiente de bulbo seco en K = $t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$

Presión parcial real de vapor de agua

De acuerdo con la ecuación de Ferrel, la cual es utilizada en el cálculo de la humedad relativa con el psicrómetro de giro:

$$e(t) = e_s(Tw) - P \cdot (T - Tw) \cdot (\psi + \phi \cdot Tw)$$

O bien mediante la equation experimental de Carrier:

$$e(T) = e_s(Tw) - \frac{[P - e_s(Tw)] \cdot (T - Tw)}{\theta + \chi \cdot Tw}$$

donde:

$e(T)$ = presión parcial real de vapor de agua en aire húmedo en Pa, a la temperatura de bulbo seco t ó T

$e_s(Tw)$ = presión parcial de vapor de agua en aire húmedo saturado en Pa, a la temperatura de bulbo húmedo

Tw ó tw

P = presión atmosférica local en Pa

Tw = temperatura de bulbo húmedo en K = $tw(^{\circ}\text{C}) + 273,15$

ψ (psi) = $4,53 \cdot 10^{-4}$ K-1 (Ferrel)

ϕ (fi) = $7,59 \cdot 10^{-7}$ K-2 (Ferrel)

θ (theta) = 1 940 (Carrier)

χ (ji) = -1,44 (Carrier)

Sustituyendo en la ecuación (1) tenemos que:

Ferrel:

$$HR = \frac{e_s(Tw) - P \cdot (T - Tw) \cdot (\psi + \phi \cdot Tw)}{e_s(T)} \cdot 100\%$$

Carrier:

$$HR = \frac{\left[e_s(Tw) - \frac{[P - e_s(Tw)] \cdot (T - Tw)}{\theta + \chi \cdot Tw} \right]}{e_s(T)} \cdot 100\%$$

Apéndice G:

Features

- High performance, low power Atmel® AVR® 8-bit microcontroller
- Advanced RISC architecture
 - 131 powerful instructions – most single clock cycle execution
 - 32 × 8 general purpose working registers
 - Fully static operation
 - Up to 20 MIPS throughput at 20MHz
 - On-chip 2-cycle multiplier
- High endurance non-volatile memory segments
 - 4K/16 Kbytes of in-system self-programmable flash program memory
 - 256/512/512 bytes EEPROM
 - 512/1K/1Kbytes internal SRAM
 - Write/erase cycles: 10,000 flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional boot code section with independent lock bits
In-system programming by on-chip boot program
True read-while-write operation
 - Programming lock for software security
- QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix acquisition
 - Up to 64 sense channels
- Peripheral features
 - Two 8-bit timer/counters with separate prescaler and compare mode
 - One 16-bit timer/counter with separate prescaler, compare mode, and capture mode
 - Real time counter with separate oscillator
 - Six PWM channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Programmable serial USART
 - Master/slave SPI serial interface
 - Byte-oriented 2-wire serial interface (Philips PC compatible)
 - Programmable watchdog timer with separate on-chip oscillator
 - On-chip analog comparator
 - Interrupt and wake-up on pin change
- Special microcontroller features
 - DebugWIRE on-chip debug system
 - Power-on reset and programmable brown-out detection
 - Internal calibrated oscillator
 - External and internal interrupt sources
 - Five sleep modes: idle, ADC noise reduction, power-save, power-down, and standby
- I/O and packages
 - 23 programmable I/O lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating voltage:
 - 1.8V - 5.5V for Atmel ATmega48V/88V/168V
 - 2.7V - 5.5V for Atmel ATmega48/88/168
- Temperature range:
 - -40°C to 85°C
- Speed grade:
 - ATmega48V/88V/168V: 0 - 4MHz @ 1.8V - 5.5V, 0 - 10MHz @ 2.7V - 5.5V
 - ATmega48/88/168: 0 - 10MHz @ 2.7V - 5.5V, 0 - 20MHz @ 4.5V - 5.5V
- Low power consumption
 - Active mode:
 - 250µA at 1MHz, 1.8V
 - 15µA at 32kHz, 1.8V (including oscillator)
 - Power-down mode:
 - 0.1µA at 1.8V

Note: 1. See "Data retention" on page 8 for details.



**8-bit Atmel
Microcontroller
with 4/8/16K
Bytes In-System
Programmable
Flash**

**ATmega48V
ATmega88V
ATmega168V**

Rev. 2545U-AVR-11/2015



Figura. 82 Datasheet de ATmega 168 de ATMEL®. [47]

1.1 Pin descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7..6 is used as TOSC2..1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in "Alternate functions of port B" on page 83 and "System clock and clock options" on page 27.

1.1.4 Port C (PC5:0)

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5..0 output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

1.1.5 PC6/RESET

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 29-3 on page 314. Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in "Alternate functions of port C" on page 86.

1.1.6 Port D (PD7:0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up

Figura. 84 Datasheet de ATmega 168 de ATMEL®. [47]

resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

The various special features of Port D are elaborated in "Alternate functions of port D" on page 89.

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC} , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6..4 use digital supply voltage, V_{CC} .

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF package only)

In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

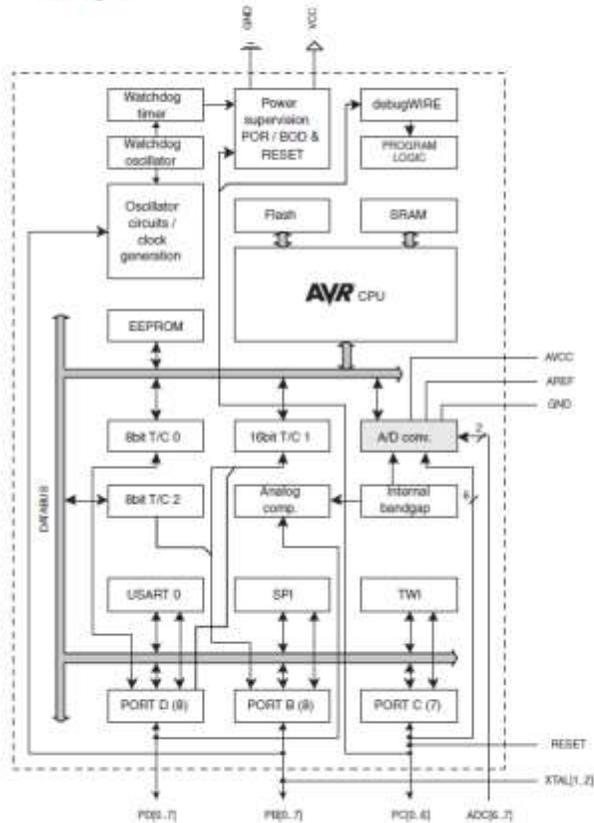
Figura. 85 Datasheet de ATmega 168 de ATMEL®. [47]

2. Overview

The Atmel ATmega48/88/168 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega48/88/168 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block diagram

Figure 2-1. Block diagram.



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting

Figura. 86 Datasheet de ATmega 168 de ATMEL®. [47]

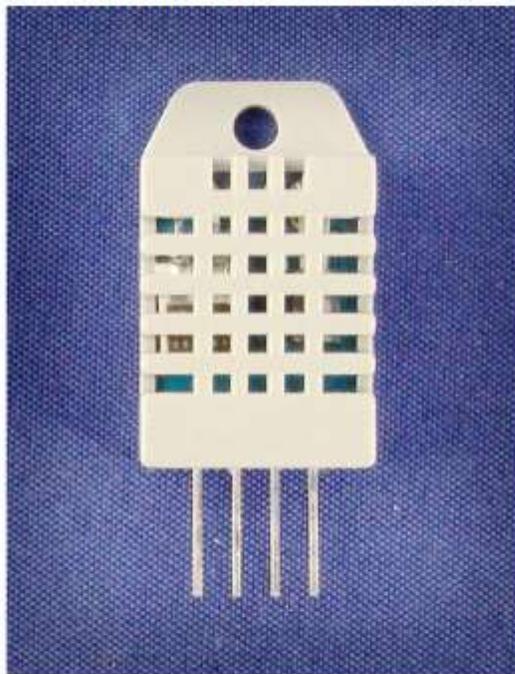
Apéndice H:

Aosong Electronics Co.,Ltd

The specialist in manufacturing humidity & temperature sensors

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@ynbooo.com.cn

Figura. 87 Datasheet de DHT22 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [48]

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

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

2. Description:

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

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

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

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

3. Technical Specification:

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

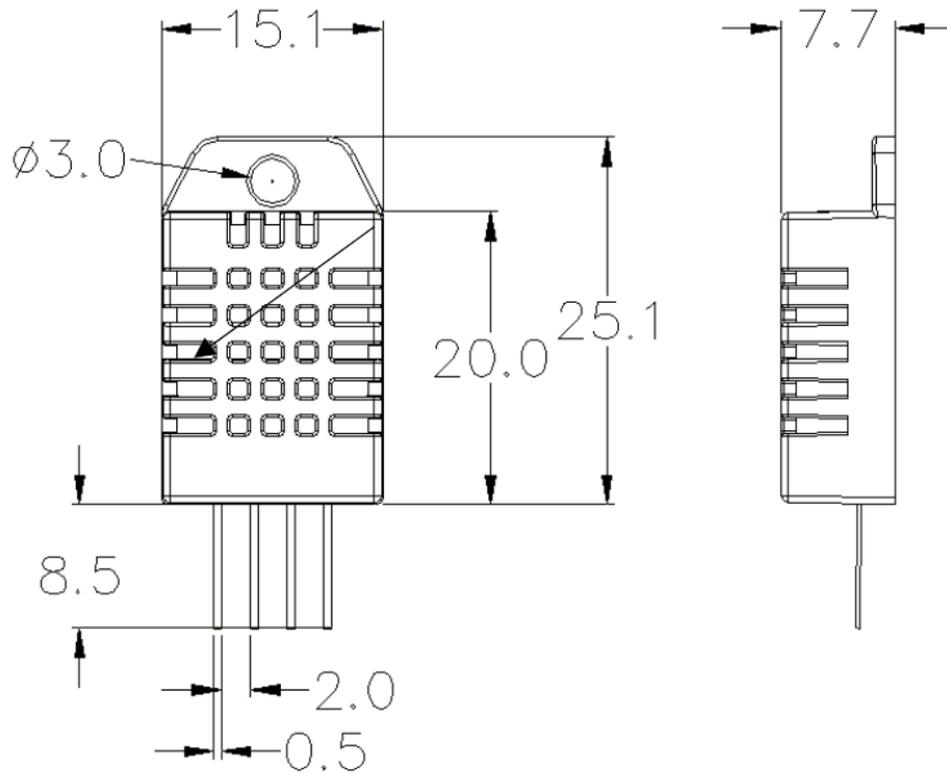
4. Dimensions: (unit----mm)

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

Figura. 88 Datasheet de DHT22 de Aosong (Guangzhou) Electronics® (referencia). [48]

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

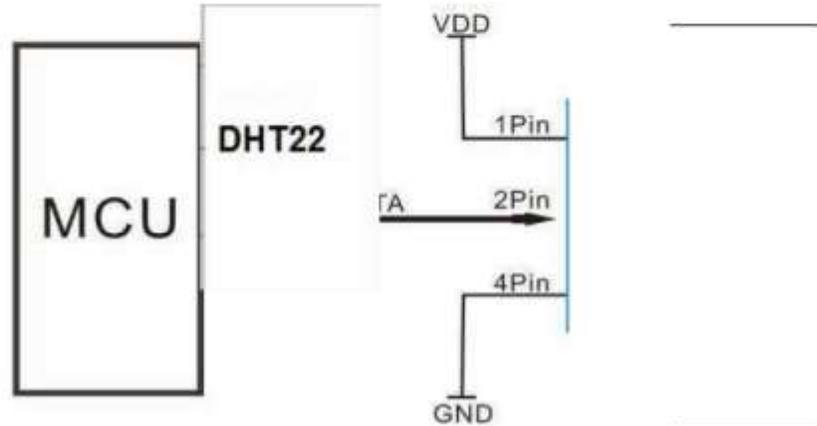
| Pin | Function |
|-----|--------------------|
| 1 | VDD---power supply |
| 2 | DATA--signal |
| 3 | NULL |
| 4 | GND |

Figura. 89 Datasheet de DHT22 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [48]

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

5. Electrical connection diagram:



3Pin—NC, AM2302 is another name for DHT22

6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT22, it costs 5mS for single time communication.

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

DHT22 send out higher data bit firstly!

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum
If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

When MCU send start signal, DHT22 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishes sending the start signal, DHT22 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity

Figura. 90 Datasheet de DHT22 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [48]

Apéndice I:

HC Serial Bluetooth Products

User Instructional Manual

1 Introduction

HC serial Bluetooth products consist of Bluetooth serial interface module and Bluetooth adapter, such as:

(1) Bluetooth serial interface module:

Industrial level: HC-03, HC-04(HC-04-M, HC-04-S)

Civil level: HC-05, HC-06(HC-06-M, HC-06-S)

HC-05-D, HC-06-D (with baseboard, for test and evaluation)

(2) Bluetooth adapter:

HC-M4

HC-M6

This document mainly introduces Bluetooth serial module. Bluetooth serial module is used for converting serial port to Bluetooth. These modules have two modes: master and slaver device. The device named after even number is defined to be master or slaver when out of factory and can't be changed to the other mode. But for the device named after odd number, users can set the work mode (master or slaver) of the device by AT commands.

HC-04 specifically includes:

Master device: HC-04-M, M=master

Slave device: HC-04-S, S=slaver

The default situation of HC-04 is slave mode. If you need master mode, please state it clearly or place an order for HC-04-M directly. The naming rule of HC-06 is same.

When HC-03 and HC-05 are out of factory, one part of parameters are set for activating the device. The work mode is not set, since user can set the mode of HC-03, HC-05 as they want.

The main function of Bluetooth serial module is replacing the serial port line, such as:

1. There are two MCUs want to communicate with each other. One connects to Bluetooth master device while the other one connects to slave device. Their connection can be built once the pair is made. This Bluetooth connection is equivalently liked to a serial port line connection including RXD, TXD

Figura. 91 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49]

signals. And they can use the Bluetooth serial module to communicate with each other.

2. When MCU has Bluetooth slave module, it can communicate with Bluetooth adapter of computers and smart phones. Then there is a virtual communicable serial port line between MCU and computer or smart phone.

3. The Bluetooth devices in the market mostly are slave devices, such as Bluetooth printer, Bluetooth GPS. So, we can use master module to make pair and communicate with them.

Bluetooth Serial module's operation doesn't need drive, and can communicate with the other Bluetooth device who has the serial. But communication between two Bluetooth modules requires at least two conditions:

- (1) The communication must be between master and slave.
- (2) The password must be correct.

However, the two conditions are not sufficient conditions. There are also some other conditions basing on different device model. Detailed information is provided in the following chapters.

In the following chapters, we will repeatedly refer to Linvor's (Formerly known as Guangzhou HC Information Technology Co., Ltd.) material and photos.

2 Selection of the Module

The Bluetooth serial module named even number is compatible with each other; The slave module is also compatible with each other. In other word, the function of HC-04 and HC-06, HC-03 and HC-05 are mutually compatible with each other. HC-04 and HC-06 are former version that user can't reset the work mode (master or slave). And only a few AT commands and functions can be used, like reset the name of Bluetooth (only the slaver), reset the password, reset the baud rate and check the version number. The command set of HC-03 and HC-05 are more flexible than HC-04 and HC-06's. Generally, the Bluetooth of HC-03/HC-05 is recommended for the user.

Here are the main factory parameters of HC-05 and HC-06. Pay attention to the differences:

| | |
|---------------------------------------|---|
| HC-05 | HC-06 |
| Master and slave mode can be switched | Master and slave mode can't be switched |
| Bluetooth name: HC-05 | Bluetooth name: linvor |
| Password:1234 | Password:1234 |

Figura. 92 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49]

| | |
|---|---|
| <p>Master role: have no function to remember the last paired slave device. It can be made paired to any slave device. In other words, just set AT+CMODE=1 when out of factory. If you want HC-05 to remember the last paired slave device address like HC-06, you can set AT+CMODE=0 after paired with the other device. Please refer the command set of HC-05 for the details.</p> | <p>Master role: have paired memory to remember last slave device and only make pair with that device unless KEY (PIN26) is triggered by high level. The default connected PIN26 is low level.</p> |
| <p>Pairing: The master device can not only make pair with the specified Bluetooth address, like cell-phone, computer adapter, slave device, but also can search and make pair with the slave device automatically. Typical method: On some specific conditions, master device and slave device can make pair with each other automatically. (This is the default method.)</p> | <p>Pairing: Master device search and make pair with the slave device automatically. Typical method: On some specific conditions, master and slave device can make pair with each other automatically.</p> |
| <p>Multi-device communication: There is only point to point communication for modules, but the adapter can communicate with multi-modules.</p> | <p>Multi-device communication: There is only point to point communication for modules, but the adapter can communicate with multi-modules.</p> |
| <p>AT Mode 1: After power on, it can enter the AT mode by triggering PIN34 with high level. Then the baud rate for setting AT command is equal to the baud rate in communication, for example: 9600. AT mode 2: First set the PIN34 as high level, or while on powering the module set the PIN34 to be high level, the Baud rate used here is 38400 bps. Notice: All AT commands can be operated only</p> | <p>AT Mode: Before paired, it is at the AT mode. After paired it's at transparent communication.</p> |

Figura. 93 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49]

| | |
|--|--|
| <p>when the PIN34 is at high level. Only part of the AT commands can be used if PIN34 doesn't keep the high level after entering to the AT mode. Through this kind of designing, set permissions for the module is left to the user's external control circuit, that makes the application of HC-05 is very flexible.</p> | |
| <p>During the process of communication, the module can enter to AT mode by setting PIN34 to be high level. By releasing PIN34, the module can go back to communication mode in which user can inquire some information dynamically. For example, to inquire the pairing is finished or not.</p> | <p>During the communication mode, the module can't enter to the AT mode.</p> |
| <p>Default communication baud rate: 9600, 4800-1.3M are settable.</p> | <p>Default communication baud rate: 9600, 1200-1.3M are settable.</p> |
| <p>KEY: PIN34, for entering to the AT mode.</p> | <p>KEY: PIN26, for master abandons memory.</p> |
| <p>LED1: PIN31, indicator of Bluetooth mode. Slow flicker (1Hz) represents entering to the AT mode2, while fast flicker(2Hz) represents entering to the AT mode1 or during the communication pairing. Double flicker per second represents pairing is finished, the module is communicable.</p> <p>LED2: PIN32, before pairing is at low level, after the pairing is at high level.</p> <p>The using method of master and slaver's indicator is the same.</p> <p>Notice: The PIN of LED1 and LED2 are connected with LED+.</p> | <p>LED: The flicker frequency of slave device is 102ms. If master device already has the memory of slave device, the flicker frequency during the pairing is 110ms/s. If not, or master has emptied the memory, then the flicker frequency is 750m/s. After pairing, no matter it's a master or slave device, the LED PIN is at high level.</p> <p>Notice: The LED PIN connects to LED+ PIN.</p> |
| <p>Consumption: During the pairing, the current is</p> | <p>Consumption: During the pairing, the current is</p> |

Figura. 94 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49]

| | |
|---|---|
| fluctuant in the range of 30-40mA. The mean current is about 25mA. After paring, no matter processing communication or not, the current is 8mA. There is no sleep mode. This parameter is same for all the Bluetooth modules. | fluctuant in the range of 30-40 m. The mean current is about 25mA. After paring, no matter processing communication or not, the current is 8mA. There is no sleep mode. This parameter is same for all the Bluetooth modules. |
| Reset: PIN11, active if it's input low level. It can be suspended in using. | Reset: PIN11, active if it's input low level. It can be suspended in using. |
| Level: Civil | Level: Civil |

The table above that includes main parameters of two serial modules is a reference for user selection.

HC-03/HC-05 serial product is recommended.

3. Information of Package

The PIN definitions of HC-03, HC-04, HC-05 and HC-06 are kind of different, but the package size is the same: 28mm * 15mm * 2.35mm.

The following figure 1 is a picture of HC-06 and its main PINs. Figure 2 is a picture of HC-05 and its main PINs. Figure 3 is a comparative picture with one coin. Figure 4 is their package size information. When user designs the circuit, you can visit the website of Guangzhou HC Information Technology Co., Ltd. (www.wavesen.com) to download the package library of protle version.

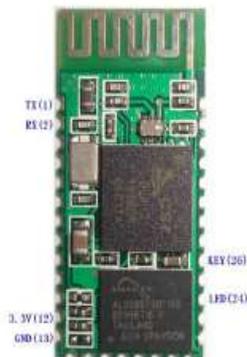


Figure 1 HC-06

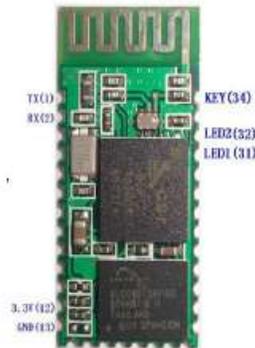


Figure 2 HC-05

Figura. 95 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49]

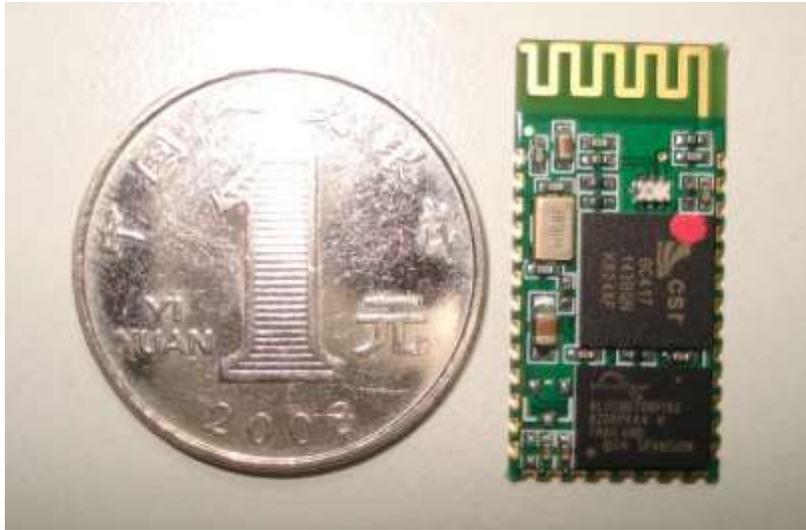


Figura. 96 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49]

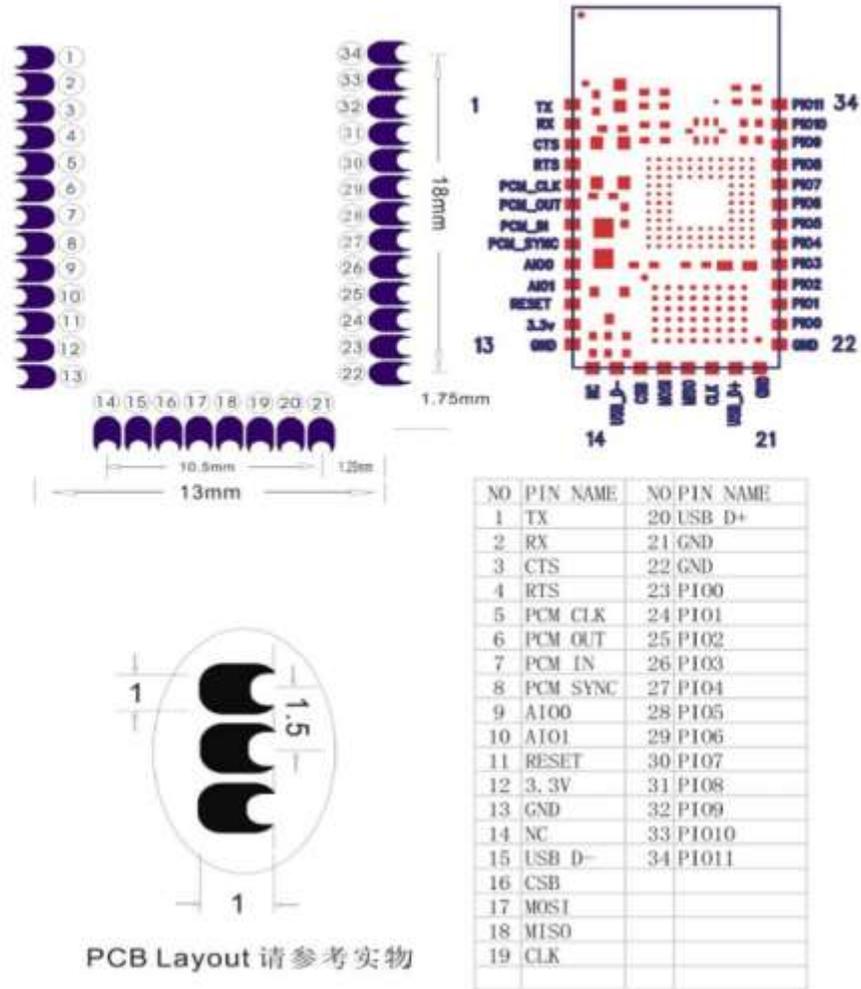


Figura. 97 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49]

(1) The circuit 1 (connect the module to 3.3V serial port of MCU) is shown by figure 5.

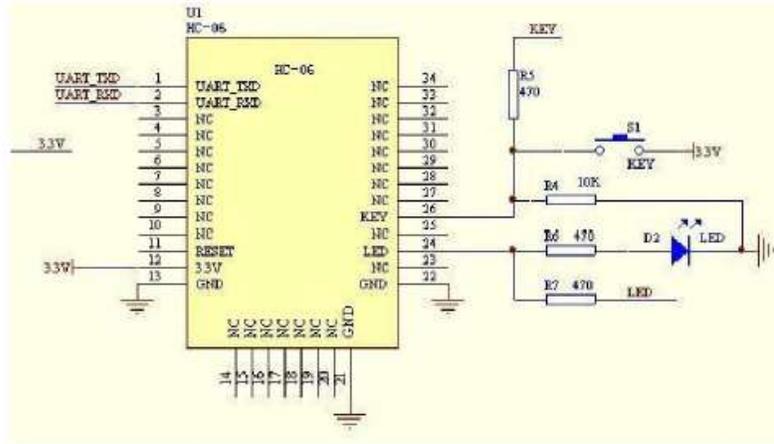


Figure 5 The circuit 1

In principle, HC-06 can work when UART_TXD, UART_RXD, VCC and GND are connected. However, for better testing results, connecting LED and KEY are recommended (when testing the master).

Where, the 3.3V TXD of MCU connects to HC-06's UART_RXD, the 3.3V RXD of MCU connects to HC-06's UART_TXD, and 3.3V power and GND should be connected. Then the minimum system is finished.

Note that, the PIN2:UART_RXD of Bluetooth module has no pull-up resistor. If the MCU TXD doesn't have pull-up function, then user should add a pull-up resistor to the UART_RXD. It may be easy to be ignored.

If there are two MCU which connect to master and slave device respectively, then before paired(LED will flicker) user can send AT commands by serial port when the system is power on. Please refer to HC-04 and HC-06's data sheet for detailed commands. In the last chapter, the command set will be introduced. Please pay attention to that the command of HC-04/HC-06 doesn't have terminator. For example, consider the call command, sending out AT is already enough, need not add the CRLF (carriage return line feed).

If the LED is constant lighting, it indicates the pairing is finished. The two MCUs can communicate with each other by serial port. User can think there is a serial port line between two MCUs.

Figura. 98 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49]

(2) The circuit 2 (connect the module to 5V serial port of MCU) is showed by figure 6.

Figure 6 is the block diagram of Bluetooth baseboard. This kind of circuit can amplify Bluetooth module's operating voltage to 3.1-6.5V. In this diagram, the J1 port can not only be connected with MCU system of 3.3V and 5V, but also can be connected with computer serial port.

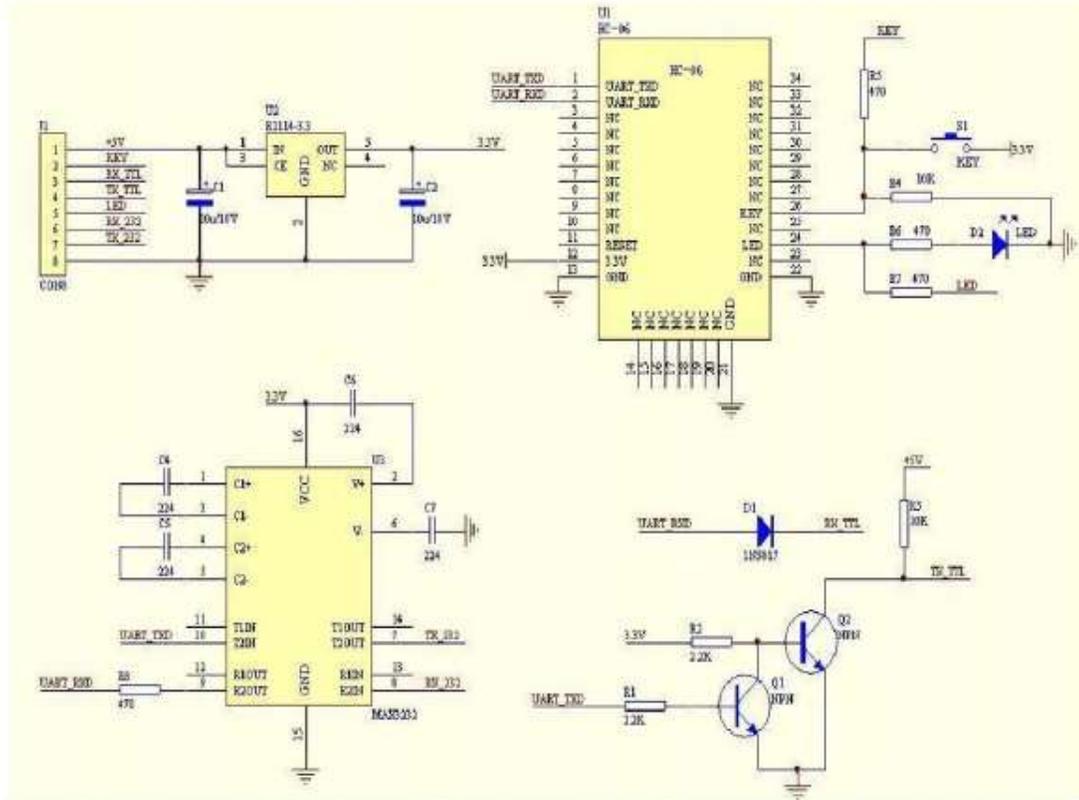


Figura. 99 Datasheet de HC-05 de Aosong (Guangzhou) Electronics®. [49]



Polysack presents the new generation of colored nets. These nets enable growers to control different plant properties, such as flowering date, leaf and fruit size and color, root development, yield, branching and plant height.

ChromatiNet[®] is produced in a multi-layer manufacturing process, with technology that integrates unique additives, the result of intensive effort invested by Polysack's R&D department, in cooperation with international research institutes.

First in the market, first in price

Light-spectrum management enables growers to bring forward flowering dates and control ripening time in many crops. Plants grown under ChromatiNet[®] are ready for marketing sooner.

Same area, higher profits

Light-spectrum management influences the growing properties of the plants, such as branch or stem length, number of nodes, plant weight and size. This enables the grower to adapt yields to market preferences, with significant economic advantages.

Warranty

ChromatiNet[®] nets carry a long-term guarantee on product quality.

The company's quality assurance policy focuses on supply of quality products to its customers - for long-term use - under harsh and diverse field conditions. All the company's activities are conducted under ISO 9001 and IQNet standards.

How does ChromatiNet[®] affect crop properties?

Both light quality and quantity

Plants depend on light as their ultimate source of energy. Photosynthesis converts light energy into the chemical energy required for plant growth and development. It is not surprising that plants are extremely sensitive to both light quality and quantity.

Manipulation of light for agricultural and horticultural purposes has a long history. Initial efforts were directed towards controlling the quantity of light, to optimize it according to the specific requirement of each crop. However, plants also respond to the quality (spectral distribution) of the incident light.

Light diffusion

By integrating special additives that break up direct light, ChromatiNet[®] increases the proportion of diffused light that reaches the crops. This diffused sunlight falls on wider areas of the plants and stimulates plant activity.

Figura. 100 Especificación del espectro y difusión de luz del material maya sombra.

ChromatiNet® MultiPurpose

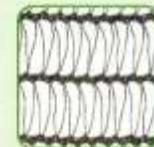
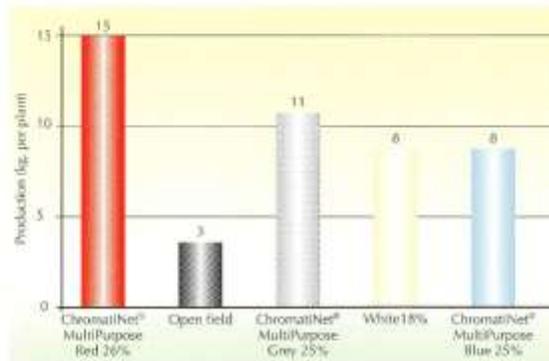


ChromatiNet® MultiPurpose contributes to:

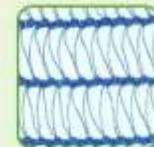
- Adaptation of produce to market requirements, resulting in higher profits
- Significant improvement in fruit quality and higher yields
- Physical protection against wind, hail, birds and bats
- Micro-climate control
- Protection against sunburn and abrasion

| Product | Shade percentage |
|-------------------------------------|------------------|
| ChromatiNet® MultiPurpose Yellow 25 | 23-25% |
| ChromatiNet® MultiPurpose Blue 25 | 24-26% |
| ChromatiNet® MultiPurpose Grey 25 | 24-26% |
| ChromatiNet® MultiPurpose Red 26 | 24-27% |

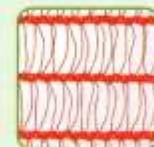
Influence of different nets on apple crops (Golden Delicious)



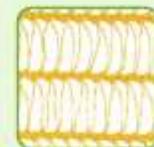
ChromatiNet® Black



ChromatiNet® Blue



ChromatiNet® Red



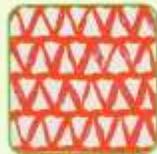
ChromatiNet® Yellow

Figura. 101 Influencia de diferentes redes para cultivos opuestos del material maya sombra.

ChromatiNet® Red



ChromatiNet® Red 30



ChromatiNet® Red 40



ChromatiNet® Red 50



ChromatiNet® Red 60



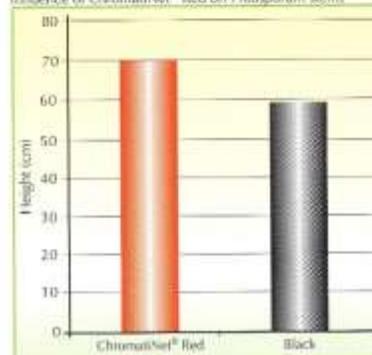
ChromatiNet® Red 70

ChromatiNet® Red contributes to:

- Rapid plant development
- Greater vegetative mass
- Higher yields
- Earlier flowering and ripening
- Larger fruit
- Longer decorative stems

| Product | Shade percentage |
|---------------------|------------------|
| ChromatiNet® Red 30 | 29-34% |
| ChromatiNet® Red 40 | 40-45% |
| ChromatiNet® Red 50 | 50-55% |
| ChromatiNet® Red 60 | 60-65% |
| ChromatiNet® Red 70 | 70-75% |

Influence of ChromatiNet® Red on Pittosporum stems



Results of research by Volcani Institute at Shdema, Israel.

Figura. 102 Especificación de la influencia del material maya sombra roja.

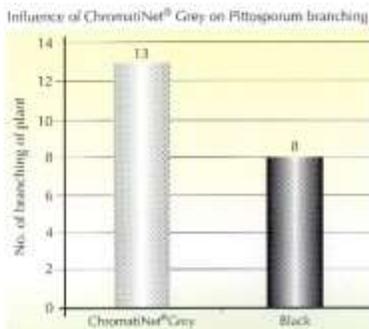
ChromatiNet® Grey



ChromatiNet® Grey contributes to:

- More branches and secondary branches
- Higher yield of stems
- Frost protection: blocks infrared (IR) radiation

| Product | Shade percentage |
|----------------------|------------------|
| ChromatiNet® Grey 30 | 30-35% |
| ChromatiNet® Grey 40 | 40-45% |
| ChromatiNet® Grey 50 | 50-55% |
| ChromatiNet® Grey 60 | 60-65% |
| ChromatiNet® Grey 70 | 70-75% |
| ChromatiNet® Grey 80 | 80-85% |



Results of research by Volcani Institute at Shdema, Israel.



ChromatiNet® Grey 30



ChromatiNet® Grey 40



ChromatiNet® Grey 50



ChromatiNet® Grey 60



ChromatiNet® Grey 70



ChromatiNet® Grey 80

Figura. 103 Especificación de la influencia del material maya sombra gris.

Glosario

| | |
|--------------|--|
| LAN | Local Area Network |
| OSI | International Organization for Standardization |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| MAC | Media Access Control |
| LLC | Logical Link Control |
| CSMA/DC | Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection |
| MAN | Metropolitan Area Network |
| WAN | Wide Area Network |
| PAN | Personal Area Network |
| WPAN | Personal Area Network (PAN) |
| PDA | Personal Digital Assistant |
| RF | Radio Frequency |
| BB | Baseband |
| LM | Link Manager |
| L2CAP | Logical Link Control and Adaptation Protocol |
| HCI | Host Controller Interface |
| HCI Driver | Host Controller Interface Driver |
| HCTL | Host Controller Transport Layer |
| HCI Firmware | Host Controller Interface Firmware |
| RFCOMM | Radio Frequency Communication |
| SDP | Service Discovery Protocol. |
| TCS | Telephonic Control Protocol Specifications |
| ISM | Industrial, Scientific, Medical. |
| GFSK | Gaussian Frequency Shift Keying |
| TDD | Time Division Duplex |
| SCO | Synchronous Connection-Oriented |
| ACL | Asynchronous Connection-Less |
| FHS | Frequency Hopping Synchronization. |
| FEC | Forward Error Correction |
| DH | Data High-Rate |
| DM | Data Medium-Rate |
| DAC | Device Access Code |
| IAC | Inquiry Access Code |
| CAC | Channel Access Code |
| AM_ADDR | Active Member ADDRESS |
| ARQN | Automatic Repeat reQuest Number |
| SEQN | Sequential Numbering scheme |
| HEC | Header Error Check |
| CRC | Cyclic Redundancy Check |
| DSP | Digital Signal Processor |
| ROM | Read Only Memory |
| RAM | Random Access Memory |
| PIC | Peripheral Interface Controller |
| SPP | Serial Port Protocol |
| GPS | Global Positioning System |
| ASP.NET | Active Server Pages. Network |
| IDE | Integrated Development Environment |

ASCII
ASP
PHY

American Standard Code for Information Exchange
Active Server Pages
Physical Layer (Capa Física)

Bibliografía

- [1] M. M. Fortino, Sistema de Monitoreo y control de invernaderos a través de una red inalámbrica mediante un servidor web embebido en microcontroladores de alto rendimiento, Queretaro, México., 2010 .
- [2] M. S. Flores, Automatización de un Sistema de Invernadero, México, Distrito Federal, 2012.
- [3] S. F. Sánchez, «Control de Temperatura de un Invernadero a Escala mediante,» *AMCA*, 2013.
- [4] N. A. S.A, «Novedades Agrícolas,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.novedades-agricolas.com/es/invernaderos-automatizados-inteligentes>.
- [5] A. R. M. GARCÍA, INVERNADERO INTELIGENTE, México Distrito Federal, 2014.
- [6] B. V. L., El papel del microclima en la fisiología vegetal, México, 1989.
- [7] I. C. Ortiz Vázquez, Dinámica de fluidos computacional aplicada al estudio 3D de la ventilación y temperatura de un conjunto de invernaderos, Amazcala (Maestria) Universidad Autónoma de Querétaro, 2013.
- [8] P. Ponce Cruz, «Hortalizas,» SAGARPA, 3 Junio 2011. [En línea]. Available: <http://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/panorama-mexicano-revision-de-datos-de-la-industria-de-invernadero-en-mexico/>. [Último acceso: 20 Febrero 2016].
- [9] L. Pelaez, «Universidad de Valladolid,» 2012. [En línea]. Available: https://www.ele.uva.es/~lourdes/docencia/Master_IE/Sensores.pdf.
- [10] J. Garcia Lecture, «Illinois Institute of Technology,» 2012. [En línea]. Available: <https://web.iit.edu/sites/web/files/departments/academic-affairs/academic-resource-center/pdfs/SENSORS.pdf>.
- [11] Intel, «INTEL,» 2011. [En línea]. Available: http://download.intel.com/newsroom/kits/40thanniversary/pdfs/What_is_a_Microprocessor.pdf.
- [12] H. U. Villamil Gonzales, «Academia,» Julio 2013. [En línea]. Available: http://www.academia.edu/9869924/309696_MICROPROCESADORES_Y_MICROCONTROLADORES_INDICE_DE_CONTENIDO. [Último acceso: 11 Febrero 2016].
- [13] D. Walker y L. Simmonds , «Computer Architecture,» Londres, Inglaterra, 2008.
- [14] Geekfactory. [En línea]. Available: <http://www.geekfactory.mx/tutoriales/bluetooth-hc-05-y-hc-06-tutorial-de-configuracion/>.

- [15] S. E. LTA, «SIGMA Electrónica,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.sigmaelectronica.net/manuals/HOJA%20REFERENCIA%20TARJETA%20HC-05%20ARD.pdf>.
- [16] S. Ahsan, A. Zeeshan y A. Iftikhar, «Analisis and Measurement of WI-FI Signals in Indoor Environment,» *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 2013.
- [17] F. M. Archundia Papacetzzi, «Wireless Personal Area Network (WPAN) & Home Networking,» Universidad de las Américas Puebla, Puebla, 2003 .
- [18] W. Du, D. Navarro y F. Mieleville, «A Simulation Study of IEEE 802.15.4 Sensor Network in Industrial Applications by System-level Modeling,» de *Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications* , France, 2010.
- [19] S. R. Gabriela y C. G. López Muños , «Redes Inalambricas: De Wi-fi a WiMax a la RUI de la FES Aragón,» Universidad Autonoma de México, Ciudad de México, 2008.
- [20] T. Andrade Ruiz, «Tecnologías Inalambricas Wi-Fi y Wimax,» IPN, CDMX.
- [21] A. S. Tanebaum, *Redes de Computadoras*, México: Pearson Educación, 2003.
- [22] J. M. Huidobro Moya, *Sistemas Telemáticos*, Madrid, España: Paraninfo, 2005.
- [23] A. Hernández Cantos, J. M. Robleda Bayarri y J. L. Huerta Grafía, «Bluettoth Home RF,» McGraw-Hill Interamericana de España, España, 2006.
- [24] J. L. Camargo Olivares, «Modelo de Cobertura para Redes Inalambricas de Interiores,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2009.
- [25] M. J. Morón Fernández, *Estudio del rendimiento de perfiles bluetooth de redes de área personal*, Magála, 2008.
- [26] R. C. Braley, *Wireless Personal Area Networks: An Overview of the IEEE P802.15 Working Group*, Memphis, TN: ederal Express Corporation, 2000.
- [27] S. Dominguez, *Diseño de Ambientes Ubicuos*, 2013.
- [28] «Instituto Tecnológico de Durango,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.itdurango.edu.mx/>.
- [29] Visiwave, «VisiWave Site Survey,» 31 Mayo 2016. [En línea]. Available: <http://www.visiwave.com>. [Último acceso: 5 Enero 2017].
- [30] Addlink, «Addlink Software Científico, S.L,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.addlink.es/productos/comsol-multiphysics#descripcion>. [Último acceso: 2 Junio 2016].
- [31] Microsoft, «Introducción a Visual Studio,» 2016. [En línea]. Available: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/fx6bk1f4\(v=vs.90\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/fx6bk1f4(v=vs.90).aspx).
- [32] P. Support, «Processing,» 2 Junio 2016. [En línea]. Available: <https://processing.org>. [Último acceso: 14 Enero 2017].
- [33] D. support, «dweet.io,» 2016. [En línea]. Available: <https://dweet.io>. [Último acceso: 6 noviembre 2016].

- [34] A. Esquivá Rodríguez, «GeekyTheory,» 2014. [En línea]. Available: <https://geekytheory.com/json-i-que-es-y-para-que-sirve-json/>. [Último acceso: 11 Septiembre 2016].
- [35] M. I. o. Technology, «MIT App Inventor,» 12 Diciembre 2012. [En línea]. Available: <http://appinventor.mit.edu/explore/>. [Último acceso: 15 Noviembre 2016].
- [36] R. P. Hesketh, «Flujo entre placas paralelas,» Rowan, 2008.
- [37] C. Revilla, E. Santos y I. Hernández, «Transferencia de calor,» Universidad Nacional Experimental.
- [38] S. E. A. y V. G., «Sobre la aproximación de Boussinesq para un fluido compresible,» *SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS)*, vol. 131, p. 442, 1959.
- [39] Esacademic, «esacademic.com,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/eswiki/356877>. [Último acceso: 12 Mayo 2016].
- [40] R. Elbasu, «Cambios reversibles e irreversibles,» 7 Marzo 2012. [En línea]. Available: <http://rachell-transformacionesdelamateria.blogspot.mx/2012/03/cambios-reversibles-e-irreversibles.html>. [Último acceso: 5 Mayo 2016].
- [41] E. G. Martínez Raya , Procesos en termodinámica, 2010.
- [42] H. S. Carslaw y J. C. Jaeger, «Conducción de calor en sólidos,» Oxford, 1959.
- [43] S. Medrano, Calibración de higrómetros en higróstatos de sales saturadas, Guzmán, Jalisco, México: MetAs, 2003, p. 4.
- [44] R. Betley, Temperature and Humidity Measurement Volume 1, Springer.Australia, 1998.
- [45] U. 7523-1, atmósferas para acondicionamiento y ensayo : determinación de la humedad relativa. Parte 1, Método del psicrómetro de aspiración, 1997, p. 19.
- [46] U. 7523-2, atmósferas para acondicionamiento y ensayo : determinación de la humedad relativa. Parte 2, 1997, p. 17.
- [47] Atmel, «Microchips Atmel,» 18 Enero 2013. [En línea]. Available: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/default.aspx>. [Último acceso: 11 Marzo 2016].
- [48] A. Electronics, «ASAIR,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.aosong.com/en/products/details.asp?id=117>. [Último acceso: 27 Febrero 2016].
- [49] wavesen, «HC Taobao,» 8 Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.wavesen.com>. [Último acceso: 30 Enero 2016].
- [50] F. d. J. Cadena Peralta , «Diseño de una Red WI-FI "Caso de Estudio Zona Rural",» Universidad Nacional Autonoma de México, Ciudad de México, 2012.