

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

### TEMA

Medidor de CO<sub>2</sub> y Temperatura para invernadero UTN

### AUTOR

Luis Alejandro Gavilanez Zumárraga

### DIRECTOR

Carlos Xavier Rosero Chandi

**Ibarra-Ecuador**

2020

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento al Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL AUTOR			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003048764		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Gavilanez Zumárraga Luis Alejandro		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Darío Egas 8-61 y Av. Eledoro Ayala		
<b>EMAIL:</b>	lagavilanezz@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062-641-515	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0981815650

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Medidor de CO <sub>2</sub> y Temperatura para invernadero UTN
<b>AUTOR:</b>	Luis Alejandro Gavilanez Zumárraga
<b>FECHA:</b>	3/4/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mecatrónica
<b>DIRECTOR:</b>	Carlos Xavier Rosero

## Constancias

El autor manifiesta que la obra, objeto de la presente autorización, es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 20 de noviembre del 2020



---

Firma

Nombre: Alejandro Gavilanez

Cédula: 1003048764



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS**

**Certificación**

En calidad de director del trabajo de grado “Medidor de CO<sub>2</sub> y Temperatura para invernadero UTN”, presentado por el egresado Luis Alejandro Gavilanez Zumárraga, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, 20 de noviembre de 2020

---

Carlos Xavier Rosero

TUTOR DEL TRABAJO DE AGRADO

## **Dedicatoria**

*“Todo tiene su momento, y cada cosa su tiempo bajo el cielo”*

### **ECLESIASTÉS**

Desde que nacemos todo es un aprendizaje de manera progresiva siendo cada año un peldaño, un logro ante los gajes que presenta la vida misma; sin duda ha llegado el momento para ser gratos con los que siempre han estado.

Este trabajo se lo dedico a los pilares fundamentales de mi vida a mi madre Esther, a mi padre Milton, por su amor, dedicación y esfuerzo de enseñarme y guiarme con los valores necesarios para ser lo que hoy soy.

A toda mi familia por los valores inculcados, los consejos y la sabiduría que perdurara de ellos hacia mí.

***Luis.G***

## **Agradecimiento**

### **A mi madre Esther**

Por darme la vida por ser siempre incondicional, por sus consejos, por su dedicación, por forjarme el carácter y estar siempre pendiente con su amor de madre.

### **A mi Padre Milton**

Por ser esa motivación por superar la cual me ha llevado a dar lo mejor de mí, por su sabiduría única, por inculcar en mi la manera lógica y humanística de ver las cosas en especial para tomar las mejores decisiones.

### **A mis Abuelitos y Tíos**

Por la sabiduría y consejos de vida que prevalecerán para siempre.

### **A mis amigos**

Los que se quedaron por ser ese complemento en días de trabajo, desvelo en estudio por enseñarme la capacidad de liderar, ser liderado y un sin número de experiencias que formaron esta etapa universitaria.

Los que se fueron por haberme dejado un legado de anécdotas, enseñanzas y darme la motivación en la ausencia que desde lejos me siguen acompañando

### **A mi tutor**

Xavier por ser más que un profesor ser ese amigo al cual admiro como ejemplo a seguir, en especial por ser esa guía que sale fuera del contexto académico, valores dentro y fuera de las aulas que valen oro, por esos libros que me recomendó algún día cuyas enseñanzas siguen presentes y me han forjado intelectual y filosóficamente.

### **A mis maestros**

Por el valor intelectual, humanístico y moral que han aportado en mi desarrollo académico

### **A mi tío Juan**

Quien por guiarme y darme la oportunidad de conocer la vida industrial y muchas vivencias que me servirán toda la vida.

## **Resumen**

Actualmente la agricultura ha evolucionado en su proceso de producción pasando de ser una actividad artesanal a un modo de producción inteligente y dinámico, para esto se usan tecnologías de bajo costo que permiten analizar datos de las variables que influyen en los cultivos. Este documento presenta el desarrollo de un sistema embebido de medición de CO<sub>2</sub> y temperatura. Los elementos usados en la fabricación de este instrumento han sido seleccionados un balance costo/desempeño.

El sistema está conformado por un Arduino Mega como unidad central destinada a obtener los datos de CO<sub>2</sub> y temperatura. Los datos de CO<sub>2</sub> son obtenidos con un sensor K30 cuyos valores son representados en ppm, la temperatura es obtenida mediante un LM35 y sus valores representados en °C. Adicionalmente el sistema es protegido por un armazón el cual impide cualquier tipo de corrosión ocasionada por el ambiente de los invernaderos.

Además, el sistema consta de un registrador de datos (data logger) con reloj en tiempo real (RTC, real time clock) que permite grabar los datos adquiridos en tiempo real sobre un archivo plano de valores separado por coma (CSV, comma separated values) para posterior análisis de los datos del usuario final. Adicionalmente se ha incorporado la salida de dos señales analógicas que son proporcionales a la señal del sensor K30 que permitirán

realizar control con algún controlador lógico programable (PLC, programable logic controller).

Las pruebas realizadas establecen que se construyó con éxito un dispositivo de bajo costo para medir CO<sub>2</sub> y temperatura mostrando que el sistema es eficaz en condiciones de ambiente de invernadero en el rango previsto e indica la variación de CO<sub>2</sub> interior, así como grabar en tiempo real las lecturas de concentración de CO<sub>2</sub> y temperatura para un análisis posterior.

## **Abstract**

Currently agriculture has evolved in its production process, going from being an artisanal activity to an intelligent and dynamic mode of production, for these low-cost technologies are used that allow data to be analyzed on the variables that influence crops. This document presents the development of an embedded CO<sub>2</sub> and temperature measurement system. The elements used in the manufacture of this instrument have been selected on a cost / performance balance.

The system consists of an Arduino Mega as the central unit destined to obtain the CO<sub>2</sub> and temperature data. The CO<sub>2</sub> data are obtained with a K30 sensor whose values are represented in ppm, the temperature is obtained by means of an LM35 and its values represented in °C. Additionally, the system is protected by a frame which prevents any type of corrosion caused by the greenhouse environment.

In addition, the system consists of a data logger with a real time clock (RTC) that allows recording the data acquired in real time on a flat file of values separated by commas (CSV, comma separated values) for later analysis of end user data. Additionally, the output of two analog signals that are proportional to the K30 sensor signal has been incorporated, which will allow control with a programmable logic controller (PLC).

The tests carried out establish that a low-cost device to measure CO<sub>2</sub> and temperature was successfully built, showing that the system is effective in greenhouse ambient conditions in the expected range and indicates the variation of indoor CO<sub>2</sub>, as well as recording the real-time CO<sub>2</sub> concentration and temperature readings for later analysis.

# Índice General

<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Índice de Figuras.....</b>	<b>XV</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Problema.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Alcance.....	4
<b>2. Sustento Teórico.....</b>	<b>4</b>
2.1. Definiciones y generalidades que influyen en un invernadero .....	5
2.2. Factores que influyen en un invernadero .....	8
2.3. El CO <sub>2</sub> en invernaderos .....	12
2.4. La temperatura en invernaderos .....	14
2.5. Importancia de la medición de CO <sub>2</sub> y temperatura.....	14
2.6. Métodos y dispositivos de medición de CO <sub>2</sub> .....	15
2.7. Métodos y dispositivos de medición de temperatura .....	18
2.8. Tecnología y métodos de medición de dióxido de carbono y temperatura.....	21
<b>3. Diseño del Sistema.....</b>	<b>24</b>
3.1. Descripción general.....	24
3.1.1. Requerimientos del sistema .....	24
3.1.2. Diagrama de bloques.....	25
3.2. Caracterización del sistema.....	25
3.2.1. Selección de la unidad central.....	25
3.2.2. Selección del sensor de CO <sub>2</sub> .....	29
3.2.3. Selección del sensor de temperatura.....	32
3.2.4. Selección de la pantalla.....	36
3.2.5. Registrador de datos.....	38
<b>4. Implementación y pruebas .....</b>	<b>40</b>
4.1. Conexión de la placa y los sensores .....	41
4.2. Programación .....	41
4.2.2. Algoritmo 1: Programa principal .....	43
4.2.3. Algoritmo 2: Pantalla OLED .....	43
4.2.4. Algoritmo 3: Adquisición de datos CO <sub>2</sub> .....	43
4.2.5. Algoritmo 4: Creación archivo de datos .....	44
4.3. Piezas de Protección y anclaje del dispositivo .....	44

4.3.1.	Plancha soporte .....	45
4.3.2.	Rieles.....	45
4.3.3.	Acople tornillo (grande, mediano, pequeño) .....	47
4.3.4.	Abrazadera fuentes.....	48
4.3.5.	Armazón principal .....	49
4.4.	Montaje y funcionamiento .....	50
4.4.1.	Montaje .....	52
4.4.2.	Funcionamiento.....	54
4.5.	Mantenimiento .....	55
4.6.	Pruebas .....	56
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>62</b>
5.1.	Conclusiones .....	62
5.2.	Recomendaciones.....	63
5.2.1.	Colocación del sensor .....	63
5.2.2.	Mantener el sensor limpio.....	64
5.2.3.	Mantenimiento del medidor de CO <sub>2</sub> .....	64
5.2.4.	Micro SD.....	64
5.2.5.	Reloj en tiempo real .....	65
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>67</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>69</b>
	<b>Anexo I: Dispositivos de medición de CO<sub>2</sub> .....</b>	<b>70</b>
	<b>Anexo II: Evaluación de opciones unidad central .....</b>	<b>75</b>
	<b>Anexo III: Evaluación de opciones sensor de CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>77</b>
	<b>Anexo IV: Data sheet Sensor de CO<sub>2</sub> K30 .....</b>	<b>78</b>
	<b>Anexo V: Evaluación de opciones sensor de temperatura .....</b>	<b>87</b>
	<b>Anexo VI: Evaluación de opciones pantalla .....</b>	<b>88</b>
	<b>Anexo VII: Esquemático tipo proto board de conexión de Dispositivos .....</b>	<b>90</b>
	<b>Anexo VIII: Pseudocódigo creación fichero de datos.....</b>	<b>91</b>
	<b>Anexo IX: Pseudocódigo adquisición datos sensores de CO<sub>2</sub> y temperatura.....</b>	<b>92</b>
	<b>Anexo X: Pseudocódigo visualización datos en la pantalla OLED .....</b>	<b>93</b>
	<b>Anexo XI: Código Arduino .....</b>	<b>94</b>
	<b>Anexo XII: Especificaciones sensor de CO<sub>2</sub> K30 .....</b>	<b>102</b>
	<b>Anexo XIII: Datos registrados invernadero de tomates.....</b>	<b>103</b>
	<b>Anexo XIV: Datos registrados en el invernadero de hongos UTN.....</b>	<b>111</b>

## Índice de Tablas

Tabla 2. 1 Dispositivos de medición de temperatura.....	19
Tabla 2. 2 Rangos de temperatura dispositivos eléctricos .....	20
Tabla 3. 1 Evaluación de criterios para la selección de la unidad central .....	26
Tabla 3. 2 Características de tarjetas para la unidad central .....	27
Tabla 3. 3 Resultado evaluación de criterios para la unidad central.....	27
Tabla 3. 4 Evaluación de criterios para la selección del sensor de CO2 .....	29
Tabla 3. 5 Características técnicas se los sensores (K30, MG811 Y MQ135) .....	30
Tabla 3. 6 Resultado evaluación de criterios del sensor de CO2.....	30
Tabla 3. 7 Evaluación de criterios para la selección del sensor de temperatura.....	33
Tabla 3. 8 Características técnicas sensores de temperatura (LM35, DS18B20, TC74) ..	33
Tabla 3. 9 Resultado de la evaluación de criterios para la selección del sensor de temperatura .....	34
Tabla 3. 10 Evaluación de criterios para la selección la pantalla .....	36
Tabla 3. 11 Características técnicas: pantallas (Oled 128x64, Oled 128x32, Lcd 2002) .	36
Tabla 3. 12 Resultado de la evaluación de criterios para la selección de la pantalla.....	37
Tabla 3. 13 Descripción pines pantalla OLED 128x64 .....	38
Tabla 4. 1 Piezas dispositivo.....	44

## Índice de Figuras

Figura 2. 1 Repuesta RFA (400-700 nm) [6].	6
Figura 2. 2 Estomas [6].	7
Figura 2. 3 Invernadero [6].	10
Figura 2. 4 Concentración de dióxido de carbono ppm [7].	13
Figura 2. 5 Análisis de corrección K30 para dispositivo de medición portátil [10].	18
Figura 2. 6 Diagrama de bloques “Green House” [13].	22
Figura 2. 7 Diagrama de bloque monitoreo de cultivos [8].	23
Figura 3. 1 Diagrama de Bloques Sistema.	25
Figura 3. 2 Distribución Pines Arduino Mega [14].	28
Figura 3. 3 Distribución de pines sensor K30 [15].	32
Figura 3. 4 Distribución de pines sensor K30 [16].	35
Figura 3. 5 Distribución pines pantalla OLED 128x64 [17].	38
Figura 3. 6 Distribución Pines Data Logger [18].	40
Figura 4. 1 Esquema de conexión de los dispositivos electrónicos	41
Figura 4. 2 Pseudocódigo general del dispositivo	42
Figura 4. 3 Plancha soporte.	45
Figura 4. 4 Riel	46
Figura 4. 5 Plancha soporte ensamblado con la riel.	46
Figura 4. 6 Acople grande.	47
Figura 4. 7 Acople mediano.	47
Figura 4. 8 Acople pequeño	48
Figura 4. 9 Abrazadera fuente 1	48
Figura 4. 10 Abrazadera fuente 2.	49
Figura 4. 11 Vista frontal armazón principal	49
Figura 4. 12 Vista isométrica armazón principal	50
Figura 4. 13 Ensamblaje virtual del dispositivo.	51
Figura 4. 14 Ensamblaje real de las piezas	51
Figura 4. 15 Variabilidad de CO <sub>2</sub> . concentración al mediodía [19].	52
Figura 4. 16 Variabilidad de CO <sub>2</sub> . concentración al atardecer [19].	53
Figura 4. 17 Montaje del dispositivo en condiciones reales	53
Figura 4. 18 Invernadero de tomates.	56
Figura 4. 19 Dispositivo montado en el invernadero de tomates.	57
Figura 4. 20 Temperatura vs. tiempo invernadero de tomates.	57
Figura 4. 21 CO <sub>2</sub> vs. tiempo invernadero de tomates	58
Figura 4. 22 Invernadero de hongos en granja UTN	59
Figura 4. 23 Micelio con hongos fructificados	59

Figura 4. 24 Dispositivo montado en invernadero de hongos .....	60
Figura 4. 25 Pantalla del dispositivo en funcionamiento.....	60
Figura 4. 26 Temperatura vs. Tiempo en el invernadero de hongos.....	61
Figura 4. 27 CO <sub>2</sub> vs. Tiempo .....	61

# 1. Introducción

## 1.1. Problema

Las actividades agrícolas están cambiando aceleradamente en los últimos tiempos, pasando de ser un sector estático y principalmente manual a ser un sector dinámico e inteligente, con la incorporación de tecnologías modernas que conducen a una mayor producción con menor esfuerzo humano. Uno de los campos de importancia en nuestro país es el sector florícola. La floricultura en Ecuador se realiza bajo invernaderos que no mantienen un control ambiental adecuado, se las podría considerar como carpas que tan sólo protegen el cultivo del viento, lluvia, granizo, exceso de radiación, polvo, niebla, etc. [1].

Es importante que todas las variables que inciden en la calidad de los cultivos se mantengan de ser posible dentro de valores deseados. Entre otros estas variables son temperatura, radiación, humedad, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) [2]. El proceso de fotosíntesis requiere de CO<sub>2</sub> para producir azúcares y oxígeno, la concentración óptima depende del tipo de especie y está alrededor de 1.000 ppm<sup>1</sup>. El contenido de CO<sub>2</sub> es directamente proporcional a la producción. Cuando los invernaderos se mantienen cerrados, el CO<sub>2</sub>

---

<sup>1</sup> Cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto.

interno se consume y baja su concentración, si esto sucede la incorporación de materia orgánica puede ser efectiva puesto que puede aportar entre 425-450 ppm de CO<sub>2</sub>.

El control ambiental de los invernaderos incluye el control y modificación de las temperaturas diurnas y nocturnas, la humedad relativa y los niveles de dióxido de carbono para un crecimiento óptimo de las plantas. El objetivo de todos los sistemas de control ambiental es mejorar el crecimiento de la planta, y proporcionar un cultivo maduro en tiempo y forma, con la calidad deseable como lo exige el mercado del productor. Los mejores sistemas de control ambiental no sólo son eficaces para proporcionar el adecuado ambiente para las plantas, sino que deben ser diseñados y construidos para no ser un obstáculo dentro del sistema de invernadero.

El dióxido de carbono mejora el crecimiento de las plantas. En invernaderos, la tasa de crecimiento y el desarrollo de las plantas pueden mejorarse mediante el control de las concentraciones de CO<sub>2</sub>. Un sistema de medición continuo y preciso y la adquisición de datos de concentración de CO<sub>2</sub> aportará a optimizar los cultivos bajo invernadero.

## **1.2.Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Implementar un medidor de CO<sub>2</sub> para adquisición continua de datos en invernadero.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Definir los requerimientos y método idóneo para medición de CO<sub>2</sub> y temperatura, de acuerdo con las necesidades.

Diseñar un medidor de CO<sub>2</sub> y temperatura, especificando los componentes y requerimientos de energía.

Integrar los componentes en un módulo adecuado y probar el equipo en condiciones reales realizando los ajustes y correcciones para el trabajo en ambiente de invernadero.

### **1.4. Justificación**

Hace algunos años atrás, en nuestro país se empezó a considerar el uso y la medición de Anhidrido Carbónico (CO<sub>2</sub>) y temperatura en la agricultura, especialmente en ambientes controlados como los invernaderos. Existen algunos cultivos que son muy sensibles al contenido de CO<sub>2</sub>, alcanzándose su mayor productividad en ciertos rangos de contenido de CO<sub>2</sub>.

Como se indica en [3]., en muchas zonas las temperaturas durante las primeras horas del día son demasiado bajas para ventilar y, sin embargo, los niveles de CO<sub>2</sub> son limitantes para el crecimiento de la planta. Bajo condiciones de invierno en climas fríos donde la ventilación diurna no es económicamente rentable, es necesario aportar CO<sub>2</sub> para el crecimiento óptimo de la planta, elevando los niveles a 1.000 ppm. Es, entonces,

importante realizar mediciones continuas de CO<sub>2</sub> y temperatura, para comprender su incidencia en los cultivos. La coordinación zonal 1 afirma que la agricultura es el soporte económico del país y su desarrollo tiene una prioridad vital. Uno de los temas del grupo de investigación SIBI (Sistemas Industriales y Biomecánicos) de la carrera de CIME está orientado a la investigación de la agricultura inteligente.

### **1.5. Alcance**

El dispositivo por implementarse tendrá indicación local de CO<sub>2</sub> en porcentaje, e indicación local de temperatura, además tendrá la capacidad de almacenar datos de CO<sub>2</sub> y temperatura a intervalos de tiempo definidos por el usuario. Estos datos serán almacenados en una memoria tipo SD o similar de suficiente capacidad y en formato adecuado para su posterior análisis. Dispondrá de un contacto de alarma configurable por el usuario para nivel de CO<sub>2</sub>. Se dispondrá de una señal analógica estandarizada proporcional a la medición de CO<sub>2</sub> disponible para implementar un lazo de control de ser necesario. Se tendrá acceso a los parámetros de calibración y configuración.

## **2. Sustento Teórico**

Conociendo el alcance y la problemática definida es necesario conocer ciertas generalidades presentes en los invernaderos y los métodos que se han utilizado en investigaciones previas en el ámbito de la agricultura inteligente.

## 2.1. Definiciones y generalidades que influyen en un invernadero

**CO<sub>2</sub>.** \_ El dióxido de carbono es un gas incoloro. Este compuesto químico está formado por un átomo de carbono unido con enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno. El CO<sub>2</sub> existe naturalmente en la atmósfera de la Tierra como gas, traza en una fracción molar de alrededor de 400 ppm. La concentración actual es de alrededor 0.04% (410 ppm) en volumen [4].

**Invernadero.** \_ Un invernadero está formado por una estructura metálica o de plástico cubierta por materiales translúcidos para conseguir la máxima luminosidad en el interior [5].

**Fotosíntesis.** \_ La fotosíntesis es la reacción química donde el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el agua forman azúcares y producen oxígeno en presencia de energía lumínica. Las plantas utilizan los azúcares producidos en la fotosíntesis como fuente de alimento que es energía para la planta. En condiciones naturales, el sol proporciona la energía para iniciar el proceso de fotosíntesis. Las plantas utilizan una parte específica del espectro solar (luz) para la fotosíntesis, lo que se conoce como radiación fotosintéticamente activa (RFA) (Fig. 2.1). La RFA es la región de la radiación solar entre 400 y 700 nm [6].

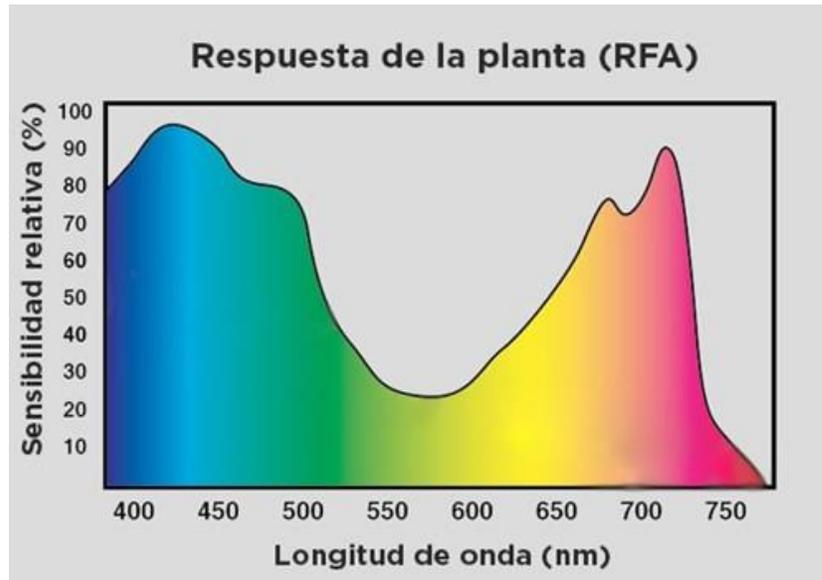


Figura 2. 1 Respuesta RFA (400-700 nm) [6].

**Estomas.** \_ La fotosíntesis ocurre principalmente en las hojas de las plantas; sin embargo, puede ocurrir en los tallos, pero en un porcentaje mínimo. Este proceso inicia cuando el CO<sub>2</sub> entra a la hoja a través de las estomas (Imagen 2). La mayoría de las estomas se encuentran en la parte inferior de la hoja para evitar la pérdida excesiva de agua. Las estomas permiten el intercambio de CO<sub>2</sub>, oxígeno y vapor de agua entre la hoja y el medio ambiente [6].

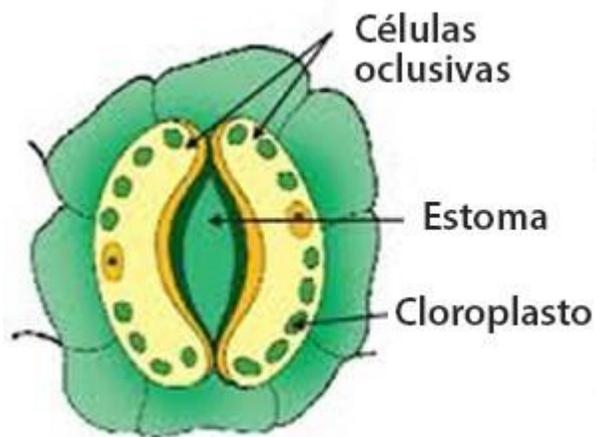


Figura 2. 2 Estomas [6].

**Luminosidad.** \_La luz solar es fundamental a la hora de cultivar en el interior del invernadero. Debe tener un mínimo de 6 horas de luz al día, este dato cuenta para la colocación del invernadero y no se debe colocar en un lugar con excesiva sombra, si no perjudicará el cultivo [5].

**Temperatura.** \_ La temperatura ideal para gran variedad de cultivos oscila entre 20° por el día y 7° por la noche. Si en el invernadero la temperatura es más elevada podemos abrir puertas y ventanas para que la temperatura descienda [5].

**Humedad.** \_ La mayor parte de las plantas o cultivos necesitan una humedad relativa en el aire de entre 45% a 60%. Es muy importante que la humedad no sea superior porque favorecería la aparición de plagas de insectos y hongos [5].

° Como anteriormente ya hemos comentado, debemos tener en cuenta, la importancia de las ventanas y las puertas para conseguir bajar la temperatura en el interior y conseguir tener una ventilación correcta para las plantas. En las puertas y ventanas

podremos instalar telas mosquiteras para evitar la entrada de insectos al interior. Si con la apertura de puertas o ventanas no conseguimos que la temperatura baje, podremos instalar ventiladores en el interior para favorecer la bajada de la temperatura. En épocas de mucho frío también podemos instalar un calefactor o bomba de calor en el interior [5].

## 2.2. Factores que influyen en un invernadero

**Calidad de la luz.** \_Como se mencionó anteriormente, las plantas realizan la fotosíntesis mientras están expuestas a la radiación RFA; esto se refiere a la calidad de la luz (Imagen 1). La clorofila<sup>2</sup> absorbe de forma más eficiente la luz azul violeta y la luz roja; es preferente exponer a las plantas a esta calidad de luz, a cierta intensidad. Al seleccionar la luz suplementaria es importante elegir la fuente correcta de luz. Las bombillas incandescentes tienen una eficiencia baja ya que la mayor parte de la energía se usa para calentar la lámpara; además, la mayor parte de la energía luminosa se proporciona en la región roja. Las lámparas de sodio de alta presión (HPS, por sus siglas en inglés) y los diodos emisores de luz (LED) son las fuentes de luz más eficientes del mercado. Las lámparas HPS tienen dos puntos críticos en la región de RFA, uno pequeño en la región azul y uno más grande que se extiende a las regiones amarilla, naranja y roja del espectro [6].

---

<sup>2</sup> Pigmento fotorreceptor responsable de la primera etapa en la transformación de la energía de la luz solar en energía química

**Intensidad de la luz.** \_ Sin importar la fuente de energía luminosa, las plantas necesitan una intensidad de luz mínima para iniciar el proceso de fotosíntesis; esto se llama punto de compensación de la luz. Este punto es donde el CO<sub>2</sub> absorbido es igual al CO<sub>2</sub> liberado. A medida que aumenta la intensidad de la luz y la cantidad de energía proveniente de una fuente de luz, mayor será la velocidad de la fotosíntesis; no significa que la intensidad de la luz pueda ser infinita. Cuando la intensidad de la luz alcanza cierto nivel, la velocidad de la fotosíntesis es plana. Es más, se puede dañar la clorofila a causa de la extrema intensidad de la luz, lo que provoca que disminuya la velocidad de la fotosíntesis [6].

**Cobertura del Invernadero.** \_Conocer el punto de compensación de la luz de los cultivos es muy importante al momento de escoger un tipo de cobertura para el invernadero. Los materiales de cobertura para el invernadero (véase imagen 3) tienen diferentes transmitancias de la luz, al igual que las mallas de sombreo. Los materiales viejos transmiten menos luz que los materiales nuevos debido a la opacidad o acumulación de residuos. Otro factor importante en la transmitancia de la luz en un invernadero es la estructura; los invernaderos de vidrio tienen más estructura que un invernadero de polietileno. Un invernadero de vidrio tendrá más sombras que un invernadero de polietileno. La velocidad de la fotosíntesis de las plantas disminuye en el mismo porcentaje que la cantidad de luz entrante es bloqueada. De forma similar, el rendimiento de la producción también disminuye en el mismo porcentaje. Por consiguiente, se requiere la

limpieza adecuada de los materiales de cobertura del invernadero al inicio de la temporada para garantizar la máxima transferencia de luz [6].



Figura 2. 3 Invernadero [6].

**Temperatura.** \_La temperatura afecta a la actividad de las enzimas responsables de ayudar en las reacciones químicas en el ciclo de Calvin. A temperaturas bajas, la actividad de las enzimas es lenta. A medida que aumenta la temperatura, las enzimas que ayudan en estas reacciones químicas aumentan su actividad hasta un punto crítico, que es el valor óptimo de temperatura. A esta temperatura, las plantas logran la velocidad de fotosíntesis más alta [6].

A medida que la temperatura sigue aumentando sobre este punto, la actividad de las enzimas disminuye hasta que se detiene la fotosíntesis. Es importante tener presente

que la velocidad de fotosíntesis en plantas C<sub>3</sub><sup>3</sup> es más alta en condiciones templadas; mientras que en plantas C<sub>4</sub><sup>4</sup>, es más alta en condiciones cálidas [6].

**Dióxido de carbono.** \_Además del agua y la luz, el otro componente principal necesario para la fotosíntesis es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Es importante mantener valores de CO<sub>2</sub> suficientemente altos para la fotosíntesis. El CO<sub>2</sub> ingresa a través de las estomas de la hoja (Figura 2); este organelo se abre y cierra según diversos parámetros. Cuando la planta está bajo estrés hídrico, expuesta a vientos de gran velocidad, experimenta deficiencias de nutrientes o el déficit de presión de vapor es muy alto, las estomas se cierran, lo que interrumpe el intercambio de oxígeno, CO<sub>2</sub> y vapor de agua entre la planta y la atmósfera. Como resultado, disminuye la velocidad de la fotosíntesis [6].

**Dentro del invernadero.** \_En los invernaderos, es importante intercambiar todo el volumen de aire rico en oxígeno desde el interior del invernadero con aire exterior y fresco varias veces por hora para mantener niveles de CO<sub>2</sub> favorables dentro del invernadero. Esto es más importante durante el invierno, ya que el invernadero se cierra al entorno para minimizar la pérdida de calor [6].

Las plantas con C<sub>3</sub> se podrían beneficiar de la inyección de CO<sub>2</sub> en un invernadero ya que aumentaría la velocidad de fotosíntesis de estas plantas, hasta cierto punto, a medida que aumenta el CO<sub>2</sub>. La velocidad de fotosíntesis de las plantas expuestas a altas

---

<sup>3</sup>Vía metabólica para la fijación del carbono que genera un compuesto de 3 carbonos

<sup>4</sup>Vía metabólica para la fijación del carbono que genera un compuesto de 4 carbonos

concentraciones de CO<sub>2</sub> puede aumentar aún más a medida que aumenta la temperatura hasta el valor óptimo de temperatura [6].

### **2.3. El CO<sub>2</sub> en invernaderos**

Los beneficios de la suplementación con dióxido de carbono en el crecimiento y la producción de las plantas dentro del ambiente del invernadero han sido bien entendidos por muchos años. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un componente esencial de la fotosíntesis, la fotosíntesis es un proceso químico que utiliza energía lumínica para convertir CO<sub>2</sub> y agua en azúcares en plantas verdes. Estos azúcares se utilizan para crecer dentro de la planta, a través de la respiración. El CO<sub>2</sub> aumenta la productividad al mejorar el crecimiento y el vigor de las plantas. Algunas formas en que el CO<sub>2</sub> aumenta la productividad incluyen una floración<sup>5</sup> más temprana, mayores rendimientos de fruta, menor aborto de brotes en rosas, mayor fuerza del tallo y tamaño de la flor. Los productores deben considerar el CO<sub>2</sub> como un nutriente [7].

El nivel ambiental de CO<sub>2</sub> en el aire exterior es de aproximadamente 340 ppm en volumen. Todas las plantas crecen bien a este nivel, pero a medida que aumentan los niveles de CO<sub>2</sub> en 1000 ppm, la fotosíntesis aumenta proporcionalmente (Fig. 2.4), lo que resulta en más azúcares y carbohidratos disponibles para el crecimiento de las plantas. Cualquier cultivo que crezca activamente en un invernadero bien cubierto con poca o

---

<sup>5</sup> Fenómeno por el cual la yema floral se desarrolla, formándose la flor

ninguna ventilación puede reducir fácilmente el nivel de CO<sub>2</sub> durante el día a tan solo 200 ppm. La disminución en la fotosíntesis cuando el nivel de CO<sub>2</sub> cae de 340 ppm a 200 ppm es similar al aumento cuando los niveles de CO<sub>2</sub> se elevan de 340 a aproximadamente 1300 ppm. Como regla general, una caída en los niveles de dióxido de carbono por debajo del ambiente tiene un efecto más fuerte que la suplementación por encima del ambiente [7].

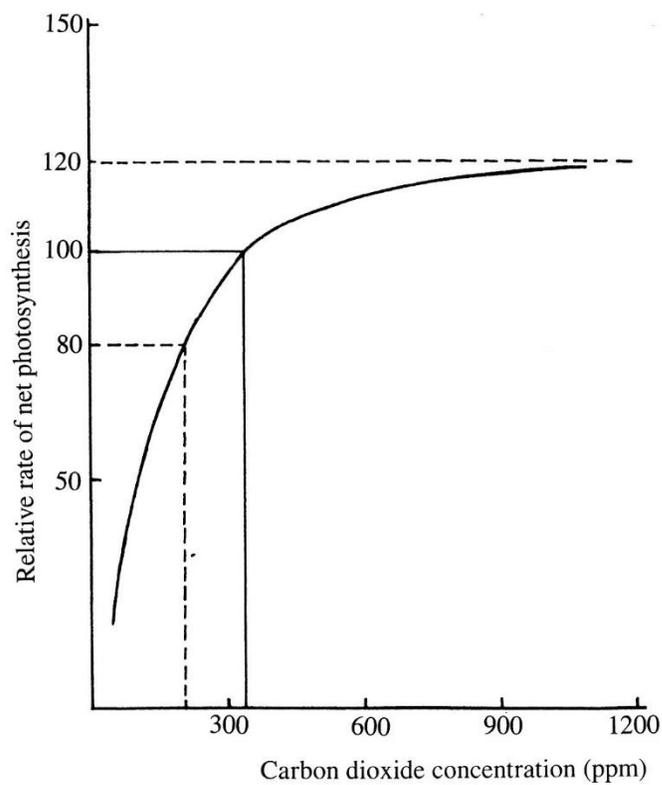


Figura 2. 4 Concentración de dióxido de carbono ppm [7].

## **2.4. La temperatura en invernaderos**

La temperatura idónea en invernadero varía en función del cultivo, estadios o etapas de desarrollo en las que se encuentre. Generalmente, la temperatura mínima requerida para las plantas de invernadero es de (10-15) °C, mientras que 30°C podría ser la temperatura máxima. Una variación o diferencia de temperatura de (5 – 7) °C entre las temperaturas diurnas y nocturnas suele resultar beneficiosa para las plantas. La temperatura del suelo es incluso más importante que la temperatura del aire en un invernadero (Temperatura del suelo por debajo de 7°C, las raíces crecen más despacio y no absorben fácilmente el agua ni los nutrientes). Se debe conseguir un suelo templado, para que las semillas germinen y para se desarrollen los esquejes<sup>6</sup> de raíces. La temperatura ideal para la germinación de la mayoría de las semillas es (18-25) °C [4].

## **2.5. Importancia de la medición de CO<sub>2</sub> y temperatura**

La agricultura sigue dependiendo de técnicas que se desarrollaron hace cientos de años y que no se encargan de la conservación de los recursos. La tecnología utilizada en algunos países desarrollados es demasiado costosa y complicada para que un agricultor común la entienda. Se tiene la tecnología para cerrar la brecha entre los recursos mal

---

<sup>6</sup> Son fragmentos de las plantas separados con una finalidad reproductiva

utilizados, se propone dar tecnología barata, confiable, rentable y fácil de usar que ayudaría en la conservación de recursos como el agua y también en la automatización de granjas [8].

Medir la concentración de dióxido de carbono con precisión en invernadero es muy importante para fertilizar el carbono económica y razonablemente. Los equipos de medición de dióxido de carbono se utilizaron más a menudo en la industria química y los campos ambientales, los equipos no son adecuados para el entorno del invernadero y tenían muchas desventajas, como alto precio, alto consumo de energía y baja capacidad [9].

La medición de temperatura en invernaderos es importante ya que acelera la velocidad de fotosíntesis en ciertas plantas afectando a las enzimas que realizan dicho proceso químico; una medición correcta de la temperatura conllevará beneficios en la producción de plantas de invernadero y al ahorro de energía en los invernaderos.

## **2.6. Métodos y dispositivos de medición de CO<sub>2</sub>**

Existen varias maneras para medir y monitorizar CO<sub>2</sub>, el campo de aplicación es bastante amplio pues existe la medición de CO<sub>2</sub> en: capas profundas (lecho submarino), capas poco profundas (hasta 200m bajo el nivel del mar), en superficie y atmosférica. El campo aplicativo para nuestra medición de CO<sub>2</sub> es la superficie y atmosférica (cerca del suelo) en el (Anexo A) se encuentra la tabla resumen donde apreciaremos las distintas técnicas y métodos para la medición del CO<sub>2</sub>.

Los métodos dependen en gran medida de la aplicación, de seguridad, investigación o registros de concentración ambiental. La aplicación determina el rango de detección, la

resolución y la precisión necesarias. Los métodos utilizados principalmente para medir el CO<sub>2</sub> son la valoración, la cromatografía<sup>7</sup> de gases, el espectro<sup>8</sup> infrarrojo, la electroquímica, la cerámica semiconductor<sup>9</sup>, el electrolito<sup>10</sup> sólido, etc. [10].

Los sensores que utilizan propiedades eléctricas consisten en semiconductores de óxido metálico, nanotubos de carbono y sensores de polímeros. El principal método de medición de los sensores en este grupo se basa en la variación eléctrica de las propiedades de un material físico en presencia de las especies de gas de interés. Existen otros métodos como los métodos ópticos, métodos acústicos y métodos de cromatografía de gases.

La cromatografía de gases ha demostrado ser uno de los métodos de medición más precisos, a menudo proporcionando alta sensibilidad y selectividad a un gas dado. Estas unidades, sin embargo, a menudo son grandes y costosas, lo que requiere son métodos que sean rentables y móviles, al tiempo que conservan la precisión. La cromatografía de gases tiene ventajas en sensibilidad<sup>11</sup>, precisión y velocidad [10]. El invernadero necesita un instrumento de medición simple con bajo coste, alta precisión y respuesta rápida CO<sub>2</sub>. Los dispositivos basados en el método de cromatografía de gases no son adecuados para la demanda de invernadero por el alto precio y gran tamaño. Así que los sensores de

---

<sup>7</sup> Método físico cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla identificando las cantidades de dichos componentes

<sup>8</sup> Registro gráfico que presenta un sistema físico al ser excitado y posteriormente analizado

<sup>9</sup> Elemento que se comporta como un conductor o como un aislante dependiendo de diversos factores

<sup>10</sup> Sustancia que contiene iones libres, que hacen que se comporte como un conductor eléctrico

<sup>11</sup> Mínima magnitud en la señal de entrada requerida para producir una determinada magnitud en la señal de salida

infrarrojos, electroquímica, semiconductores y electrolitos sólidos son ampliamente utilizados. Los sensores de electroquímica y semiconductores tienen un tamaño pequeño, pero no son buenos en precisión, estabilidad y elección de gas. La vida útil del sensor de electroquímica también es muy corta [9].

Se han desarrollado sensores de CO<sub>2</sub> de infrarrojo no dispersivo (NDIR) para entornos agrícolas con monitoreo espacial de las concentraciones de CO<sub>2</sub>. Reducir el tamaño y el costo sin comprometer la precisión y las capacidades de detección puede ser difícil. La tecnología de detección de infrarrojos no dispersivos (NDIR) en particular, ha demostrado ser estable y robusta contra la interferencia de otros gases y soporta la manipulación [10].

En un estudio realizado por Keimel, Annaliese, se llega a las siguientes conclusiones respecto de los sensores K30 y K33 de SENSEAIR: Los sensores K30 y K33 no son precisos en comparación con el uso de un instrumento de laboratorio (LICOR8100A) como punto de referencia (Fig. 2.5), pero muestran tendencias similares con el aumento y disminución en el tiempo en la concentración de CO<sub>2</sub> [10].

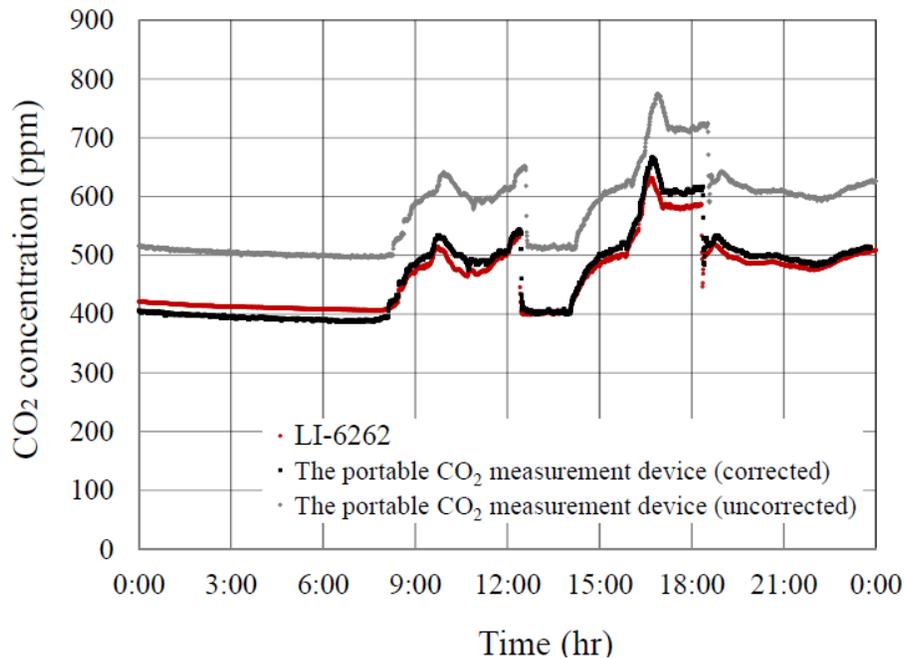


Figura 2.5 Análisis de corrección K30 para dispositivo de medición portátil [10].

## 2.7. Métodos y dispositivos de medición de temperatura

Actualmente existen diferentes maneras para la medición de temperatura, con el paso del tiempo los sensores y dispositivos se han ido perfeccionando, permitiendo un mejor control y desempeño en los diferentes procesos en los que la temperatura es un factor importante para medir.

El rango de operabilidad de los instrumentos refleja los intervalos de temperatura a los que se puede realizar la medición sin comprometer la precisión en la medición de cada sensor [11].

Los sensores de temperatura que se utilizan actualmente son lineales con factor de escala 0.05 mV / °C, con 0.5 °C precisión garantizada capaz (a +25 0C). El bajo costo está asegurado por recorte y calibración. Funciona en el principio de conductancia<sup>12</sup> de la electricidad. Cuando dos electrodos A y B se colocan paralelos entre sí en un medio y se pasa la corriente eléctrica, la resistencia al flujo de la electricidad es proporcional al contenido de humedad en el medio [8].

En la siguiente tabla se muestra los distintos instrumentos usados para medir la temperatura:

**Tabla 2. 1 Dispositivos de medición de temperatura**

Dispositivos de Medición de Temperatura			
Eléctricos	Mecánicos	Radiación Térmica	Varios
Termocuplas Termorresistencias Termistores Diodos Sensores de Silicio con efecto resistivo	Sistemas de dilatación Termómetros de vidrio con líquidos Termómetros bimetálicos	Pirómetro de radiación Total (banda ancha) Óptico Pasabanda Termómetros infrarrojos	Indicadores de color (lápices, pinturas) Sondas Neumáticas Sensores Ultrasónicos Indicadores Pirométricos Termómetros Acústicos Cristales Líquidos Sensores Fluídicos Indicadores de luminiscencia (Termografía)

Como se observa en la tabla 2.2 existe gran variedad de instrumentos para medir temperatura, vale destacar los instrumentos de temperatura electrónicos los cuales se

---

<sup>12</sup> Facilidad que ofrece un material al paso de la corriente eléctrica

pueden usar con microcontroladores y sistemas digitales para conseguir diferentes resultados y diferentes rangos de medición de acuerdo con el tipo de sensor. A continuación, en la siguiente tabla se especifica diferentes rangos de temperatura de diferentes dispositivos electrónicos:

**Tabla 2. 2 Rangos de temperatura dispositivos eléctricos**

<b>Sistema</b>	<b>Rango en °C</b>
Termocuplas	-200 a 2800
Sistema de Dilatación (bimetálicos)	-195 a 760
Termorresistencias	-250 a 850
Termistores	-195 a 450
Pirómetros de radiación	-40 a 4000

Cada instrumento de medición de temperatura tiene sus rangos de operación siendo unos más convenientes para determinadas aplicaciones [12].

El LM35 es un transductor de temperatura de circuito integrado de 2 terminales que produce una corriente de salida proporcional a la temperatura absoluta. Para voltajes de alimentación entre 4 V y 30 V, el dispositivo actúa como un regulador de corriente constante de alta impedancia pasando 1  $\mu\text{A}/\text{K}$ . Recorte láser de las resistencias de película delgada del chip se utiliza para calibrar el dispositivo a una salida de 298,2  $\mu\text{A}$  a 298,2 K (25 °C). El LM35 SE debe utilizarse en cualquier aplicación de detección de temperatura por debajo de 150 °C en la que se empleen actualmente sensores de temperatura eléctricos convencionales.

## 2.8. Tecnología y métodos de medición de dióxido de carbono y temperatura

Los sensores se utilizan para recopilar información física y atributos ambientales, mientras que los actuadores se emplean para reaccionar la retroalimentación para tener control sobre las situaciones. Los sensores acumulan información que caracteriza ubicaciones, objetos y sus estados es conocido como contexto. La adquisición de contexto proporciona una valiosa contribución en situaciones de modelado de dominios que tienen variedad de atributos de variante de tiempo. La agricultura es uno de esos dominios [8] .

Actualmente, el avance de la agricultura de precisión ha resultado ser prominente debido a las innovaciones de menor costo para el agricultor para recuperar el rendimiento. La agricultura de precisión es un marco que incorpora detección, medición y respuesta. Es una técnica para reconocer el clima de invernadero, el cual identifica y requiere la acción del agricultor en vista de los datos recibidos. [13]

Pallavi S. propone una innovación de IoT<sup>13</sup> en agricultura de precisión (Fig.2.6), que incorpora aplicaciones para parámetros particulares de invernadero como el rango de temperatura controlado, control de flujo de agua, luz radiación y otras variables para el buen crecimiento de la planta [13].

---

<sup>13</sup> Internet de las cosas (Internet of Things)

*Block diagram*

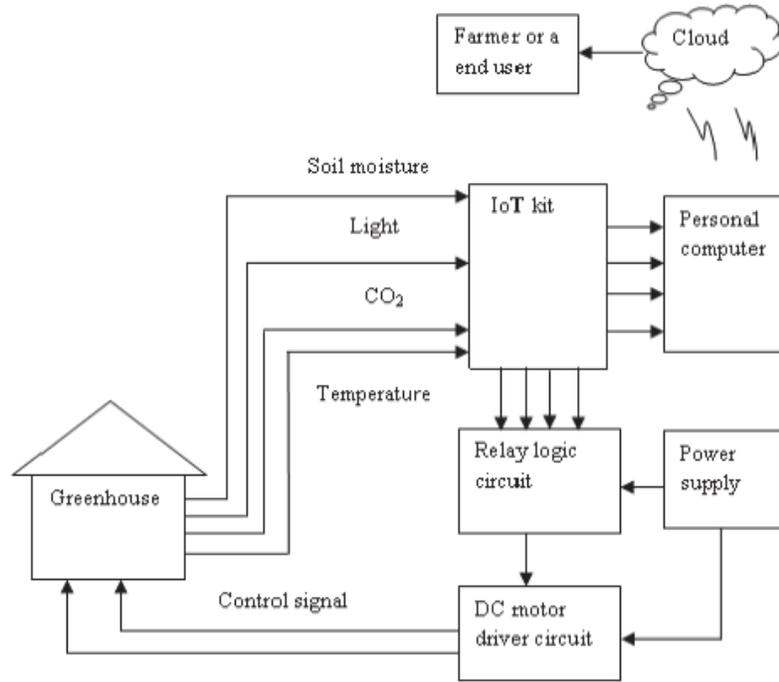


Figura 2. 6 Diagrama de bloques “Green House” [13].

S. Manikandan propone el uso del sensor de temperatura y humedad en lugares adecuados para el monitoreo de cultivos. El sistema de sensor se basa en un mecanismo de control de retroalimentación con una unidad de control centralizada que regula el flujo de agua sobre el campo en tiempo real basado en el instante (Fig. 2.7). El agricultor también puede mirar los datos sensoriales y decidir el curso de acción él mismo, se ha realizado una interfaz teniendo en cuenta los antecedentes educativos y financieros del agricultor promedio, también se propone una técnica de red de sensores inalámbricos eficiente y de bajo costo para adquirir la humedad y la temperatura del suelo de varios lugares de la granja

y según la necesidad del controlador de cultivos tomar la decisión de hacer riego ON-OFF [8].

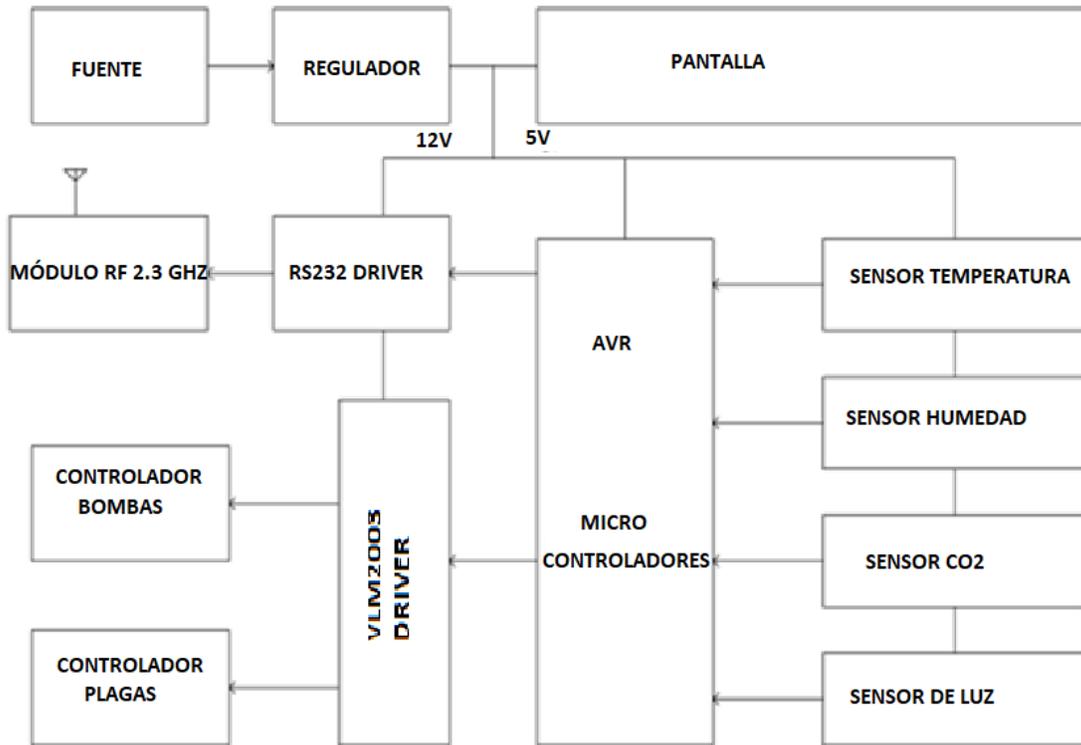


Figura 2. 7 Diagrama de bloque monitoreo de cultivos [8].

La agricultura hoy en día promueve una agricultura de precisión, en la que se incluye la capacidad de medir y responder de la información del invernadero a los agricultores sobre cualquier cambio repentino en el invernadero. Se propone un sistema con una unidad central con la capacidad de almacenar datos de CO<sub>2</sub> y Temperatura que podrán ser visualizados tanto en una pantalla OLED y registrado en una tarjeta microSD.

### **3. Diseño del Sistema**

Conforme a los antecedentes y requerimientos para una agricultura inteligente se desarrolla el diseño del dispositivo, determinando las características de hardware y software que satisfacen las necesidades planteadas para el trabajo.

#### **3.1.Descripción general**

El dispositivo tiene como objeto la medición de CO<sub>2</sub> y temperatura en los invernaderos con la necesidad de registrar las mediciones de dichas variables en ciertos intervalos de tiempo acorde las necesidades del usuario final; el dispositivo consta de 1 unidad de central, 1 sensor de temperatura, 1 sensor de CO<sub>2</sub>, 1 pantalla OLED y 1 Data Logger.

##### **3.1.1. Requerimientos del sistema**

El dispositivo debe cumplir con las siguientes características:

- Medir CO<sub>2</sub> y temperatura de una manera eficiente.
- Calibrar los sensores de manera sencilla con el usuario final.
- Visualizar los datos medidos en una pantalla.
- Registrar los datos medidos en una microSD.
- Mantener los circuitos libres de corrosión proporcionada por los invernaderos.
- Proporcionar salidas análogas para un posterior control.

### 3.1.2. Diagrama de bloques

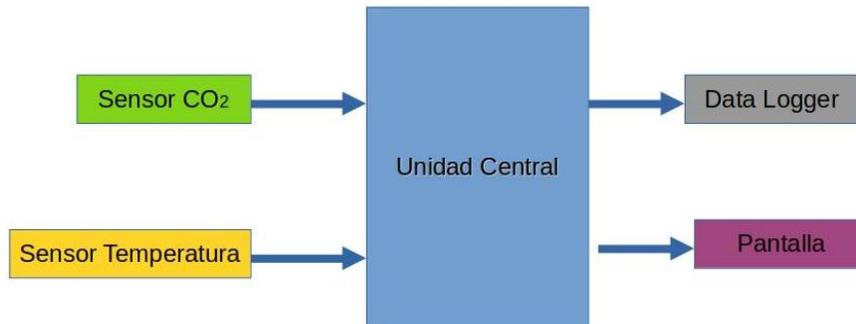


Figura 3. 1 Diagrama de Bloques Sistema

### 3.2. Caracterización del sistema

Dados los requerimientos del dispositivo, se determina y realiza la respectiva valoración de cada sensor, pantalla y unidad de procesamiento a implementarse asegurando su mejor desempeño.

#### 3.2.1. Selección de la unidad central

En la actualidad existen diferentes tarjetas embebidas que permiten realizar diversas aplicaciones en diferentes campos como: la robótica, procesamiento de señales, domótica, IoT, etc. Las tarjetas cuentan con sus fortalezas y debilidades dependiendo de sus aplicaciones siendo unas más indispensables que otras y logrando un crecimiento en el desarrollo de gadgets<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> Dispositivos que han sido creados con un propósito, de pequeñas proporciones, prácticos y novedosos.

Para la selección de la tarjeta se realizó una evaluación de criterios considerando las siguientes características:

**Tabla 3. 1** Evaluación de criterios para la selección de la unidad central

Unidad Central							
Criterio	Tamaño	Entradas y salidas Análogas	Capacidad de Procesamiento	Precio Mercado	Capacidad de guardar en dispositivos externos	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Tamaño</b>	0,5	0,5	1	0,5	0,5	4	0,20
<b>Entradas y salidas Análogas</b>	0,5	1	0	0,5	0	3	0,15
<b>Capacidad de Procesamiento</b>	1	0,5	0,5	1	0,5	4,5	0,23
<b>Precio Mercado</b>	0	0,5	1	0,5	1	4	0,20
<b>Capacidad de guardar en dispositivos externos</b>	1	1	0	0,5	1	4,5	0,23
1					<b>SUMA</b>	20	1

Como observamos en la tabla 3.1 los resultados para la selección el criterio con más obligación es la capacidad de guardar información en dispositivos externos y la capacidad de procesamiento. En la siguiente tabla observaremos las cualidades de las distintas tarjetas propuestas como son: Arduino Uno, Arduino Mega y Raspberry Pi3.

**Tabla 3. 2 Características de tarjetas para la unidad central**

<b>Dispositivo</b>	<b>Alimentación</b>	<b>Sistema Operativo</b>	<b>Entradas y salidas (Digitales/Analog)</b>	<b>RAM</b>	<b>CPU</b>	<b>Capacidad de guardar en dispositivos externos</b>	<b>Precio</b>
<b>Arduino Uno</b>	5v/2 A	Linux	14d/6a	2 Kb	16 MHz	Necesita shield	\$10
<b>Raspberry pi3</b>	5v/2,5 A	Linux	40d	1 Gb	1,2 GHz	si	\$67
<b>Arduino Mega</b>	5v/ 2A	Linux	54d/16a	8 Kb	16 MHz	Necesita shield	\$15

En el Anexo B se evaluó los diferentes criterios y opciones de la tabla 3.1 en los 3 dispositivos anteriormente mencionados cuya valoración podemos observar en el anexo.

**Conclusiones:**

Realizada las valoraciones en las matrices de criterios tenemos el siguiente resultado.

**Tabla 3. 3 Resultado evaluación de criterios para la unidad central**

<b>Dispositivo\Criterio</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Entradas y salidas</b>	<b>Capacidad de Procesamiento</b>	<b>Precio Mercado</b>	<b>Capacidad de guardar en dispositivos externos</b>	$\Sigma$	<b>Ponderación</b>
<b>Arduino Uno</b>	0,07	0,05	0,04	0,08	0,04	0,29	3
<b>Raspberry pi3</b>	0,06	0,02	0,12	0,04	0,10	0,34	2
<b>Arduino Mega</b>	0,06	0,07	0,10	0,07	0,08	0,37	1

Dada la funcionalidad y disponibilidad de entradas analógicas de cada tarjeta se optó por seleccionar el Arduino Mega, la Raspberry Pi3 es muy buena cumple con la mayoría de los requisitos, pero se acomoda más a aplicaciones para el IOT.

### 3.2.1.1. Arduino MEGA

Es una placa electrónica basada en el Atmega2560, cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP (In Chip Serial Programmer), y un botón de reset.

### 3.2.1.2.Descripción de pines Arduino MEGA

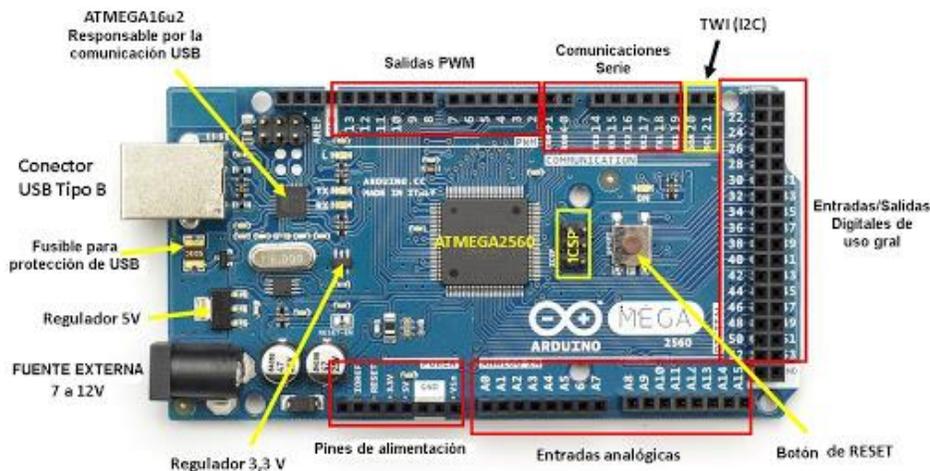


Figura 3. 2 Distribución Pines Arduino Mega [14].

### 3.2.2. Selección del sensor de CO<sub>2</sub>

En el capítulo 2.7 se analizó los diferentes métodos para medir CO<sub>2</sub> para la elección del sensor analizamos con 3 sensores, en donde la elección de los sensores se enfoca en los puertos de entrada de la tarjeta embebida previamente seleccionada como requisito previo para las demás valoraciones y evaluación de criterios para una correcta selección.

En la siguiente tabla se observa la evaluación de criterios para el sensor de CO<sub>2</sub> a usarse:

**Tabla 3. 4** Evaluación de criterios para la selección del sensor de CO<sub>2</sub>

<b>SENSOR CO<sub>2</sub></b>							
	<b>Tamaño</b>	<b>Intervalo de Medición</b>	<b>Conectividad</b>	<b>Disponibilidad Mercado</b>	<b>Precisión</b>	<b>Σ+1</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Tamaño</b>	0,5	0	0	0,5	0	2	0,13
<b>Intervalo de Medición</b>	0,5	1	0,5	1	0,5	4,5	0,28
<b>Conectividad</b>	0	0,5	1	0	0,5	3	0,19
<b>Disponibilidad Mercado</b>	0	0,5	0,5	0	0	2	0,13
<b>Precisión</b>	0,5	1	0,5	0,5	1	4,5	0,28
	1				<b>SUMA</b>	16	1

Como observamos en la tabla 3.4 tenemos dos criterios importantes para nuestro análisis como el intervalo de medición y la precisión.

Dada la amplia variedad de sensores de CO<sub>2</sub> en el mercado se realizó la siguiente tabla comparativa con las características de los sensores: K30, MG811 y MQ135

**Tabla 3. 5** Características técnicas de los sensores (K30, MG811 Y MQ135)

Sensor	Alimentación	Método de Medición	Intervalo de Medición	Conectividad	Aplicaciones	Calibración
Sensor CO <sub>2</sub> k30	5V/ 2A	NDIR	-(0 - 10,000 ppm) -(0-5,000 ppm)	-I2C -UART	CO <sub>2</sub>	No
MG811	5V/ 1A	Electroquímico	350—10000 ppm	-Análoga TTL	CO <sub>2</sub>	Si
MQ135	5 V/ 1A	Electroquímico	(10-1000 ppm)	-Analógica -Digital	Amoníaco Sulfuro Benceno CO <sub>2</sub>	Si

Se evaluó las opciones y los criterios mencionados en la tabla con los dispositivos previamente vistos ver Anexo C.

**Conclusiones:**

**Tabla 3. 6** Resultado evaluación de criterios del sensor de CO<sub>2</sub>

Sensor	Tamaño	Intervalo de Medición	Conectividad	Disponibilidad Mercado	Precisión	$\Sigma$	Ponderación
Sensor CO <sub>2</sub> k30	0,04	0,12	0,08	0,04	0,12	0,39	1
MG811	0,04	0,10	0,05	0,04	0,08	0,32	2
MQ135	0,04	0,06	0,05	0,04	0,08	0,28	3

El sensor k30 es un sensor de espectro infrarrojo, como se observó en el capítulo 2.8 el método de medición con espectro infrarrojo es bastante validado para la medición de CO<sub>2</sub>, el K30 no necesita calibración, tiene un tamaño aceptable, sus rangos de medición son superiores a los demás dispositivos, en conectividad se puede usar ya sea usando protocolo I2C o el puerto serial UART de la tarjeta embebida por lo que cumple con los requerimientos para la construcción del dispositivo.

#### **3.2.2.1. Sensor de CO<sub>2</sub> K30**

El sensor de gas CO<sub>2</sub> mide los niveles de dióxido de carbono gaseoso mediante el seguimiento de la cantidad de radiación infrarroja absorbida por moléculas de dióxido de carbono. Está destinado únicamente a medir la concentración de CO<sub>2</sub> gaseosa, no acuosa. El sensor tiene dos ajustes: rango bajo (0–10,000 ppm) y alto rango (0–100,000ppm). Con este sensor, podemos monitorear fácilmente los cambios en los niveles de CO<sub>2</sub> que ocurren en la respiración de organismos que van desde guisantes hasta humanos. [8]

#### **3.2.2.2. Descripción de pines sensor K30**

En la (Fig3.3) se describe de manera rápida los pines a usar para el dispositivo a construir para más utilidades se puede revisar el Anexo D.

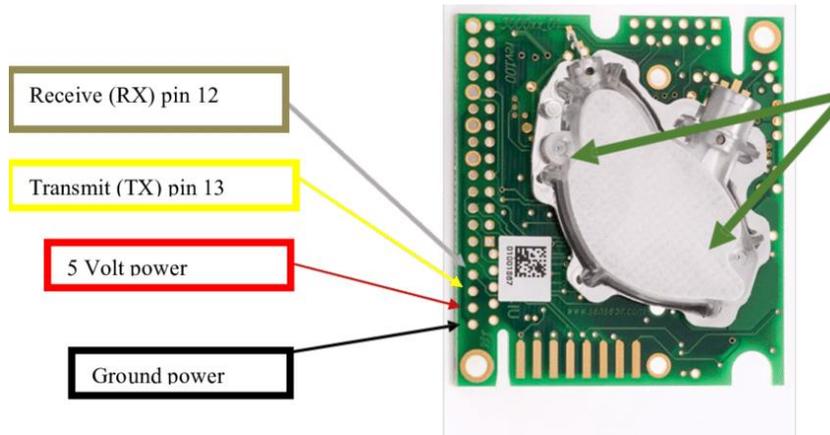


Figura 3. 3 Distribución de pines sensor K30 [15].

### 3.2.3. Selección del sensor de temperatura

La temperatura ha sido desde hace varios años una variable importante a medir y con la evolución permanente de la tecnología se han desarrollado diferentes maneras de representar dicha variable física. Para la selección del sensor de temperatura se buscó la manera más sencilla y exequible para que el usuario final no tenga problemas ya sea en su calibración o en la obtención de repuestos.

Para la valoración de nuestro sensor de temperatura se realizó la respectiva evaluación de criterios:

Tabla 3. 7 Evaluación de criterios para la selección del sensor de temperatura

SENSOR TEMPERATURA							
Criterio	Tamaño	Rango	Comunicación	Disponibilidad Mercado	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Tamaño	1	0	0,5	1	1	4,5	0,24
Rango	0	1	0,5	1	1	4,5	0,24
Comunicación	0	0,5	0,5	0	0,5	2,5	0,14
Disponibilidad Mercado	0	0,5	0,5	0,5	0,5	3	0,16
Costo	0,5	0,5	0,5	0,5	1	4	0,22
1					<b>SUMA</b>	18,5	1

En la siguiente tabla se muestra las características de los sensores LM35, DS18B20 y TC74 los cuales serán evaluados bajo los requerimientos del dispositivo.

Tabla 3. 8 Características técnicas sensores de temperatura (LM35, DS18B20, TC74)

Sensores	Voltaje de Funcionamiento	Rango de Operación	Comunicación	Método de Medición	Precio mercado
LM35	(4-30) V	(-40-110) °C (-55-150) °C (0-100) °C (0-70) °C	Analógico	Electrónico	\$2
DS18B20	5V	(-55 -125) °C	Digital (I2C)	Infrarrojo	\$3.50
TC74	(2,7-5,5) V	(-40-125) °C	Puerto SerialDigital (I2C)	Electrónico	\$15

Una vez establecidos los criterios se procedió a la evaluación de opciones con 3 dispositivos comúnmente conocidos y que son adaptables a la tarjeta embebida que se seleccionó previamente ver Anexo E.

### Conclusiones:

**Tabla 3. 9** Resultado de la evaluación de criterios para la selección del sensor de temperatura

Conclusiones	Tamaño	Rango	Comunicación	Disponibilidad Mercado	Costo	$\Sigma$	Ponderación
<b>LM35</b>	0,08	0,08	0,03	0,07	0,08	0,35	1
<b>DS18B20</b>	0,06	0,08	0,06	0,05	0,07	0,32	3
<b>TC74</b>	0,10	0,08	0,05	0,05	0,07	0,34	2

Como se observa en la tabla el LM35 es el sensor elegido para el dispositivo pues es muy común en el mercado, su precio es relativamente económico, tiene amplios rangos de operación, es un sensor analógico que a diferencia del TC74V tiene comunicación serial e (I2C) y no está disponible en el país. Cabe destacar la robustez del LM35 frente al DS18B20 en cuyo encapsulado no necesita de ningún tipo de conversor digital para obtener la temperatura deseada.

### 3.2.3.1.Sensor de temperatura LM35

El LM35 es un sensor de temperatura IC de precisión con su salida proporcional a la temperatura (en ° C). El circuito del sensor está sellado y por lo tanto no está sujeto a oxidación y otros procesos. Con LM35, la temperatura se puede medir con mayor precisión que con un termistor. También posee bajo autocalentamiento y no causa más de 0,1 ° C de aumento de temperatura en el aire quieto. El rango de temperatura de funcionamiento es de -55 ° C a 150 ° C. El voltaje de salida varía en 10mV en respuesta a cada subida/caída de ° C en la temperatura ambiente, es decir, su factor de escala es 0.01V/° C [8].

### 3.2.3.2.Descripción de pines LM35

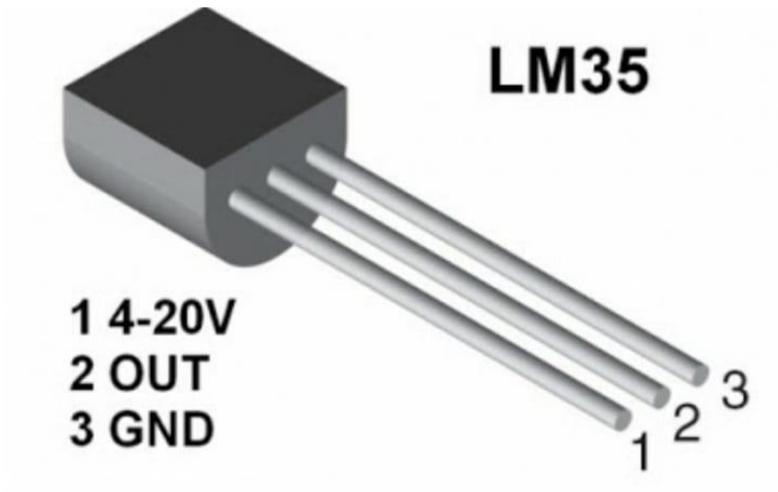


Figura 3. 4 Distribución de pines sensor K30 [16] .

### 3.2.4. Selección de la pantalla

En la selección de la pantalla se elaboró la matriz de criterios correspondiente véase en la tabla 3.10.

**Tabla 3. 10** Evaluación de criterios para la selección la pantalla

<b>PANTALLA LED</b>							
<b>Criterios</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Resolución</b>	<b>Comunicación</b>	<b>Disponibilidad Mercado</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Tamaño</b>	1	0,5	0,5	1	1	5	0,26
<b>Resolución</b>	1	1	0,5	0,5	0,5	4,5	0,23
<b>Comunicación</b>	0	0,5	0,5	0	0,5	2,5	0,13
<b>Disponibilidad Mercado</b>	0	0	0,5	0,5	0,5	2,5	0,13
<b>Costo</b>	0,5	1	1	0,5	1	5	0,26
1					<b>SUMA</b>	19,5	1

En la tabla 3.11 tenemos las características técnicas de las pantallas usadas para las valoraciones y opciones de criterios para la selección.

**Tabla 3. 11** Características técnicas: pantallas (Oled 128x64, Oled 128x32, Lcd 2002)

<b>Conclusiones</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Resolución</b>	<b>Comunicación</b>	<b>Voltaje de Funcionamiento</b>	<b>Color</b>	<b>Precio</b>
<b>Display Oled 128x64</b>	125x14 mm	128x64 pixels	I2C	(3-5) V	Azul	\$8

<b>Display Oled 128x32</b>	30x11,5 mm	128x32 pixels	I2C	(3-5) V	Azul	\$8
<b>Pantalla Lcd 2002</b>	180x40mm	20x2 caracteres	SPI/I2C	(3-5) V	Verde	\$9

En el Anexo F se evaluó los diferentes criterios y opciones de la tabla 3.1 en los 3 dispositivos anteriormente mencionados cuya valoración podemos observar en el anexo.

### Conclusiones:

**Tabla 3. 12** Resultado de la evaluación de criterios para la selección de la pantalla

<b>Conclusiones</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Resolución</b>	<b>Comunicación</b>	<b>Disponibilidad Mercado</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Display Oled 128x64</b>	0,08	0,08	0,05	0,04	0,10	0,35	1
<b>Display Oled 128x32</b>	0,04	0,08	0,05	0,04	0,09	0,31	2
<b>Pantalla Lcd 2002</b>	0,04	0,06	0,05	0,04	0,09	0,28	3

Dadas las valoraciones para la selección de una pantalla adecuada para el dispositivo obtenemos que el Display Oled 128x64 es adecuado en tamaño, resolución y precio. Una fortaleza es que usa protocolo I2C usando dos hilos para su comunicación con el Arduino Mega y las letras de la pantalla son azules lo que permite una mejor visualización de los resultados.

### 3.2.4.1. Pantalla Oled 128x64

Es un display que dispone de 4 pines de conexión y un controlador SSD1306 que posibilita la visualización de imágenes y animaciones usando protocolos I2C Y SPI.

### 3.2.4.2. Descripción de pines

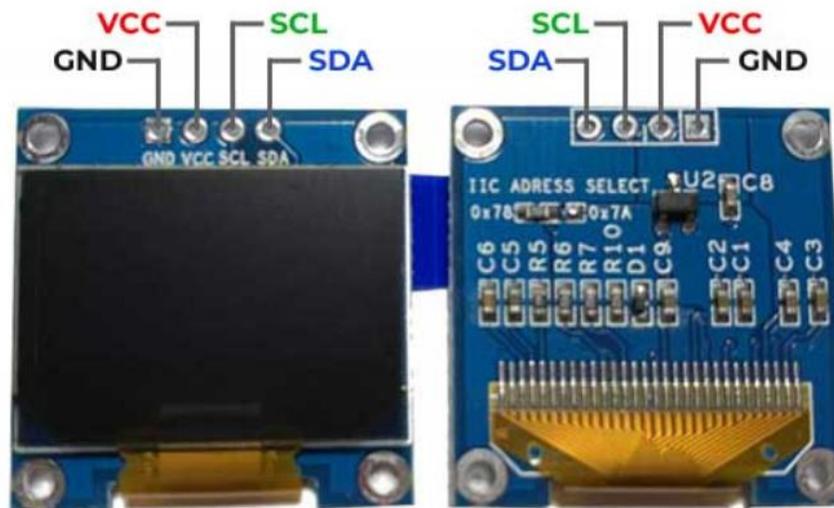


Figura 3. 5 Distribución pines pantalla OLED 128x64 [17].

Tabla 3. 13 Descripción pines pantalla OLED 128x64

PIN	Descripción
GND	Pin tierra
VCC	Pin Alimentación (1,6-6) V
SCL	Pin señal de reloj I2C
SDA	Pin señal de datos I2C

### 3.2.5. Registrador de datos

Uno de los requerimientos del dispositivo era la capacidad de guardar datos en una memoria externa y la solución se la encontró en un registrador de datos (Data Logger).

El Data Logger es un dispositivo que permite registrar y monitorear continuamente datos en tiempo real ya sean datos de variables como voltaje, temperatura, CO<sub>2</sub>, etc.

#### **3.2.5.1. Data Logger Shield V1 Arduino**

Es una shield para tarjetas de Arduino que consta de lector de tarjetas SD para tarjetas en formato FAT16 Y FAT 32, RTC con su pila, regulador de voltaje de 3,3V que alimenta el grabador SD y pines para conectar sensores.

### 3.2.5.2. Descripción Pines Data Logger Shield V1

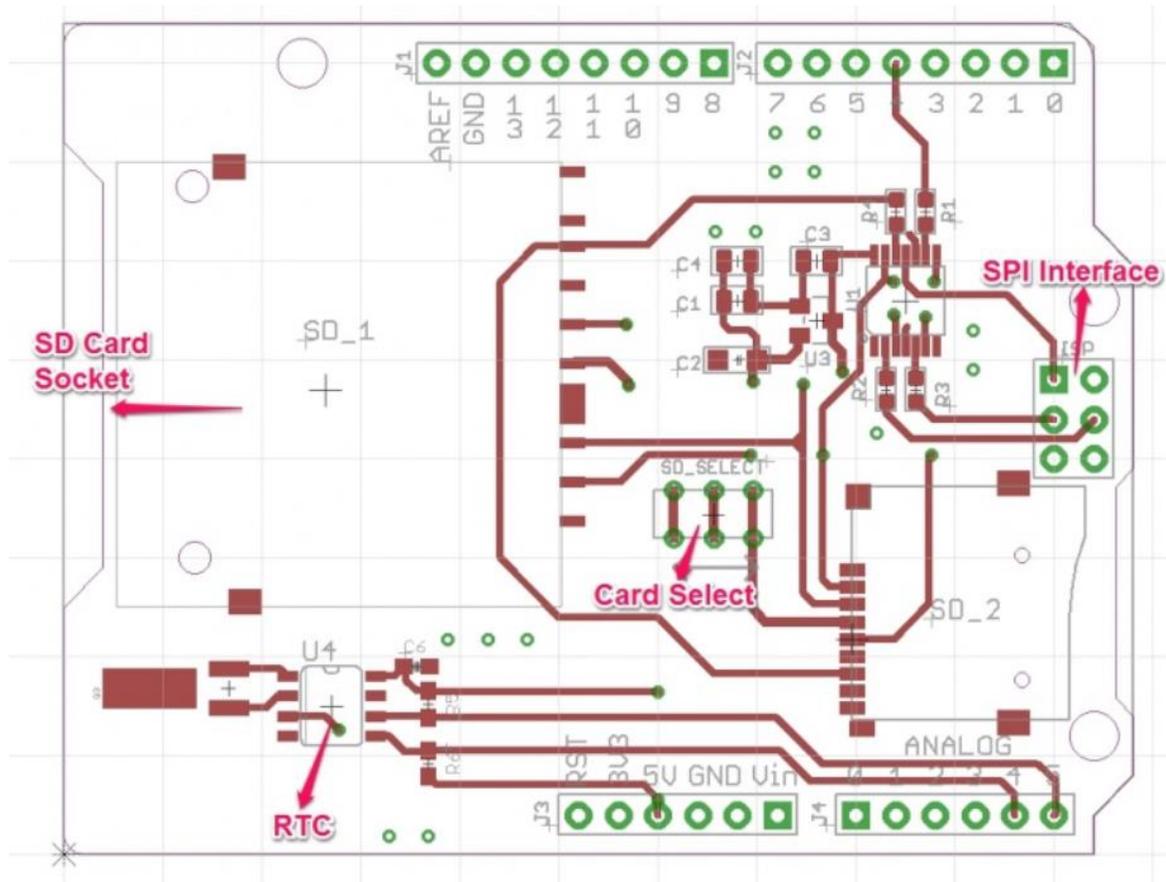


Figura 3. 6 Distribución Pines Data Logger [18].

## 4. Implementación y pruebas

En este capítulo se detalla la conexión de la placa con los dispositivos, la programación de los sensores previamente seleccionados, la elaboración de piezas de protección para la parte electrónica del dispositivo y las pruebas de funcionamiento en los invernaderos.



#### 4.2.1. Pseudocódigo general del dispositivo

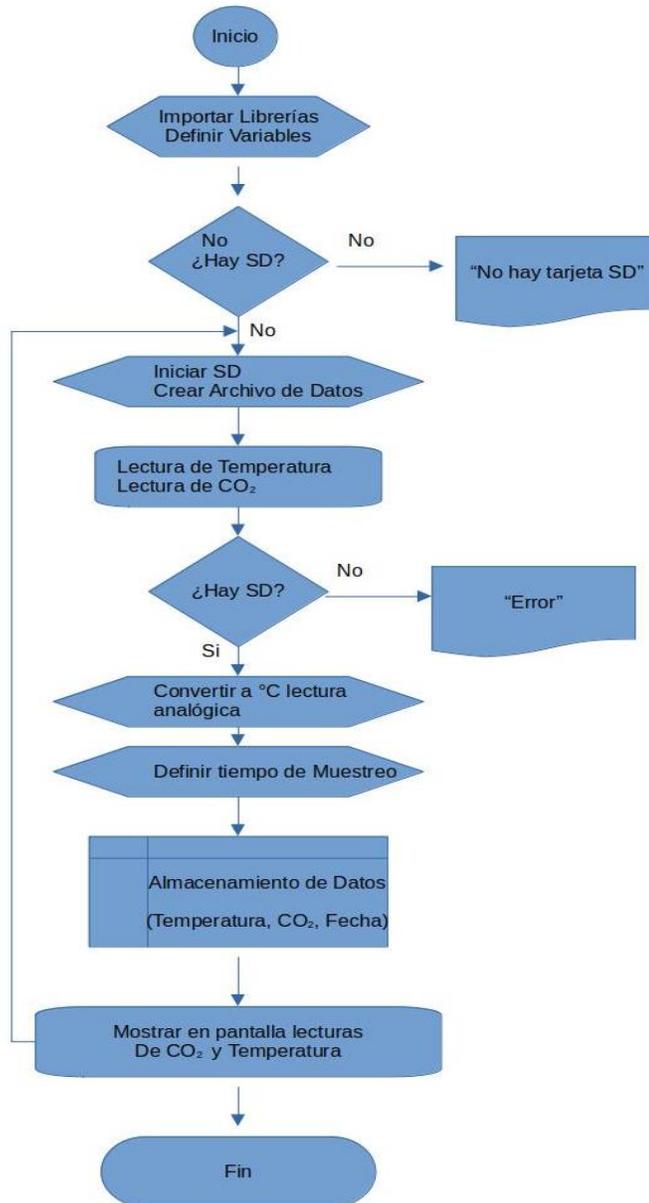


Figura 4. 2 Pseudocódigo general del dispositivo

#### 4.2.2. Algoritmo 1: Programa principal

El algoritmo indica el orden de prioridad de ejecución del programa general del dispositivo detallado en el Pseudocódigo (Fig. 4.2)

**Inicio**

**Paso1:** ¿Existe la memoria SD?

**Paso2:** Ejecutar algoritmo 2

**Paso3:** Ejecutar algoritmo 3

**Paso4:** Ejecutar algoritmo 4

**Fin**

#### 4.2.3. Algoritmo 2: Pantalla OLED

El algoritmo me permite inicializar la pantalla OLED se puede revisar a detalle el Pseudocódigo en el Anexo H.

**Inicio**

**Paso1:** ¿Existe la memoria SD?

**Paso2:** Si existe la memoria SD realiza el algoritmo 3 caso contrario indica el mensaje de error

**Paso3:** Imprimir los datos de los sensores en la pantalla OLED

**Fin**

#### 4.2.4. Algoritmo 3: Adquisición de datos CO<sub>2</sub>

El algoritmo permite la adquisición de datos previamente ejecutado el algoritmo2, se puede revisar a detalle el Pseudocódigo en el Anexo I.

**Inicio**

**Paso1:** Ejecutar el bucle que me permite saber si llegan datos de los sensores

**Paso2:** Si llegan datos se imprime “Successful Reading” caso contrario “Failure to read sensor”

**Paso3:** Crear el archivo se lee los datos de los sensores y escribe en el archivo.

**Paso4:** Indicar los datos de los sensores en la pantalla OLED

**Fin**

#### 4.2.5. Algoritmo 4: Creación archivo de datos

El algoritmo crea el archivo de datos previamente culminado el algoritmo 3, se puede revisar el pseudocódigo a detalle en el Anexo J.

**Inicio**

**Paso1:** Se define el nombre del Archivo

**Paso2:** Ejecutar bucle para numerar los archivos

**Paso3:** Si el archivo se crea indica en el puerto serial que se creó, caso contrario indica que el archivo no se ha creado

**Paso4:** Activar el RTC (Real Time Clock)

**Paso5:** Si el RTC está activo escribe los datos en el archivo caso contrario indica “No hay RTC”

**Fin**

En el Anexo K se puede visualizar el código implementado en Arduino

### 4.3. Piezas de Protección y anclaje del dispositivo

Se diseño las piezas en las cuales se alojan los componentes electrónicos, el objetivo del diseño es salvaguardar la integridad los componentes ya que el ambiente de un invernadero resulta ser corrosivo para los componentes electrónicos. Las piezas fueron debidamente ajustadas con pernos y tuercas. En la tabla 5.1 se detalla el número de piezas usadas para la protección del dispositivo.

**Tabla 4. 1** Piezas dispositivo

<b>Pieza</b>	<b>Cantidad</b>
Plancha Soporte	3
Rieles	2

Acople tornillo grande	4
Acople tornillo mediano	4
Acople tornillo pequeño	4
Abrazadera fuente 1	1
Abrazadera fuente 2	1
Armazón Principal	1

#### 4.3.1. Plancha soporte

En la plancha de soporte tiene las ranuras adecuadas en donde se ajustará con los rieles y se alojarán las tarjetas eléctricas, sensores, fuentes de alimentación, borneras.

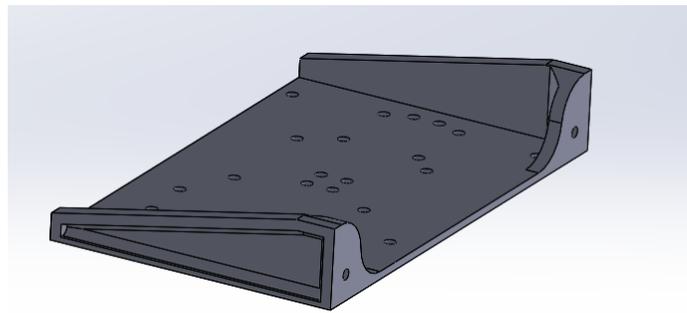


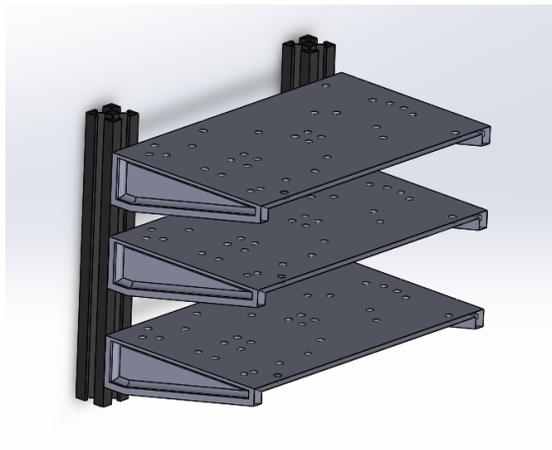
Figura 4. 3 Plancha soporte

#### 4.3.2. Rieles

Se implemento unas varillas con canaleta (rieles) la cual permitirá la extracción y colocación de las planchas soporte de manera más rápida.



**Figura 4. 4 Riel**



**Figura 4. 5 Plancha soporte ensamblado con la riel**

### 4.3.3. Acople tornillo (grande, mediano, pequeño)

Se construyó los respectivos acoples de 3.5mm de diámetro en donde se insertan los tornillos para asegurar la tarjeta electrónica y demás dispositivos a las planchas acrílicas.

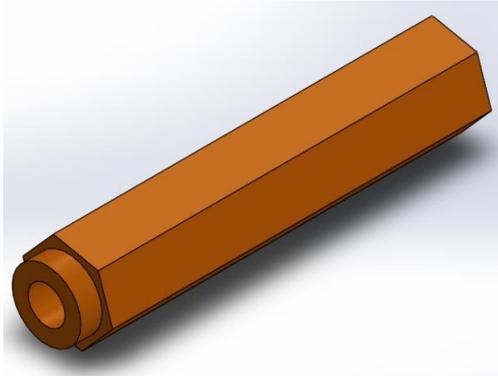


Figura 4. 6 Acople grande

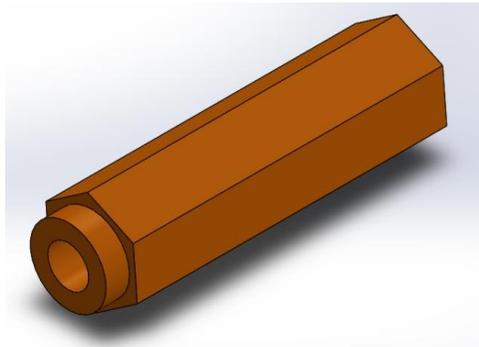
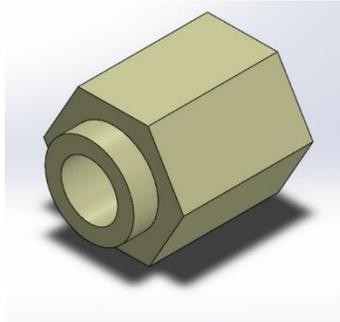


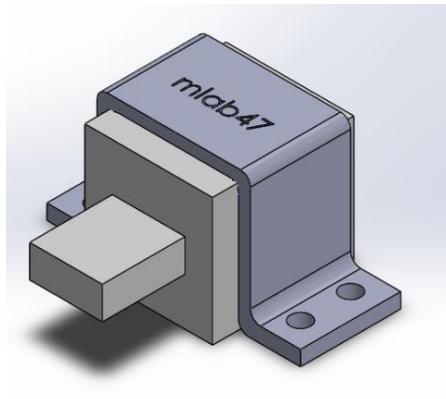
Figura 4. 7 Acople mediano



**Figura 4. 8 Acople pequeño**

#### **4.3.4. Abrazadera fuentes**

La abrazadera me permite asegurar la fuente 1 y la fuente 2 a la plancha de acrílico.



**Figura 4. 9 Abrazadera fuente 1**

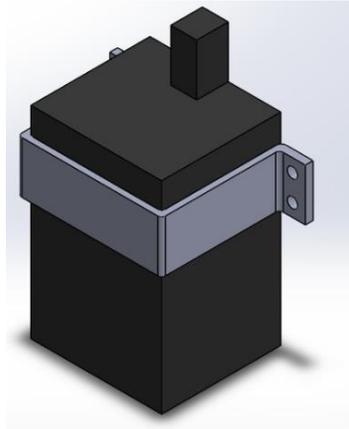


Figura 4. 10 Abrazadera fuente 2

#### 4.3.5. Armazón principal

El Armazón Principal dispone de una rejilla para el sensor de CO<sub>2</sub>, un espacio para la pantalla OLED, una ranura para insertar la tarjeta SD y la alimentación de la tarjeta, ver Figura

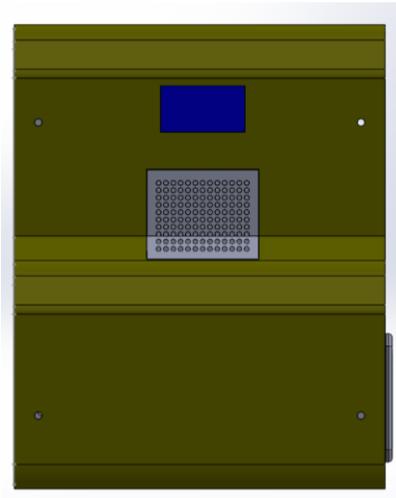


Figura 4. 11 Vista frontal armazón principal

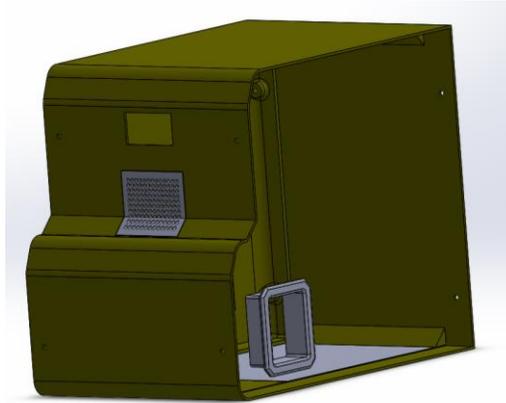
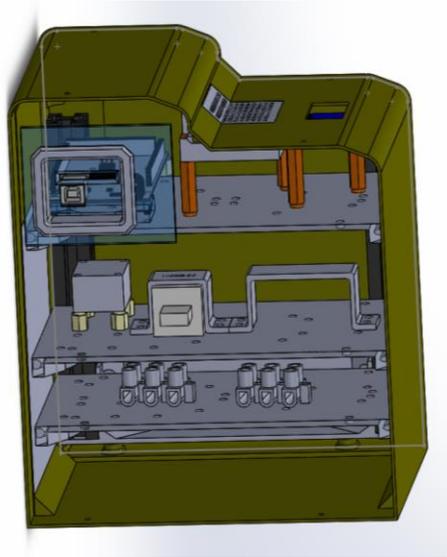


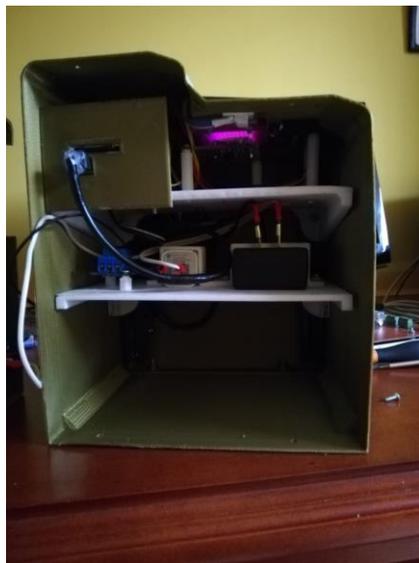
Figura 4. 12 Vista isométrica armazón principal

#### **4.4. Montaje y funcionamiento**

Realizado el ensamblaje de las piezas del dispositivo se procedió a implementar en las condiciones de trabajo propias del invernadero en donde se realizó las pruebas, las mismas que tienen el objetivo de corroborar el buen funcionamiento de los sensores y los datos recolectados en el muestreo efectuado.



**Figura 4. 13** Ensamblaje virtual del dispositivo



**Figura 4. 14** Ensamblaje real de las piezas

#### 4.4.1. Montaje

Debido a que el dióxido de carbono es más pesado que el aire, primero se acumulará a nivel del piso, luego llenará el espacio cerrado. Un mayor número de sensores sería mejor para monitorear las condiciones ambientales cuando hubiera una mayor variabilidad, pero aumentaría el costo. Como ubicación vertical, la altura cerca del estrado de cultivo sería la mejor para la concentración de CO<sub>2</sub> y necesita ser variable a medida que crece el cultivo. La Concentración CO<sub>2</sub> de varía dependiendo del tiempo en las siguientes figuras podemos observar las diferentes variabilidades [19].

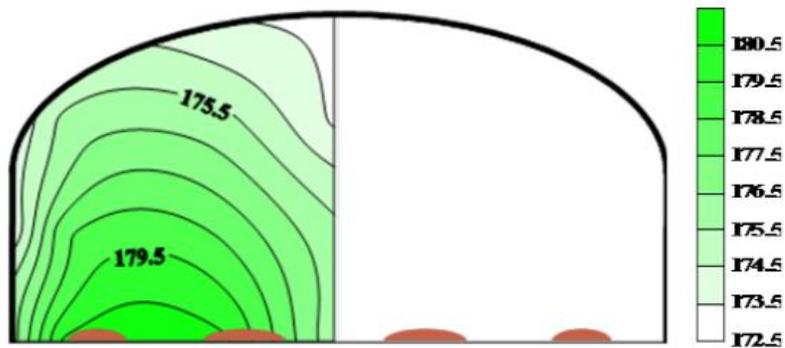


Figura 4. 15 Variabilidad de CO<sub>2</sub>. concentración al mediodía [19].

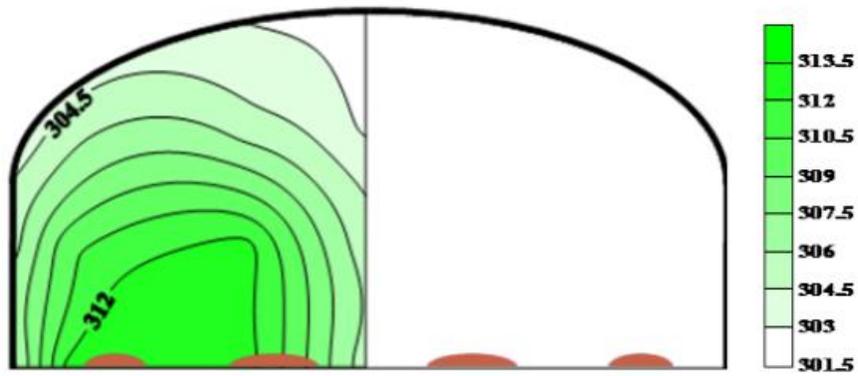


Figura 4. 16 Variabilidad de CO2. concentración al atardecer [19].



Figura 4. 17 Montaje del dispositivo en condiciones reales

#### **4.4.2. Funcionamiento**

El dispositivo cumple con las funciones propias proporcionada por cada sensor como se puede destacar en la hoja de especificaciones de cada dispositivo, la puesta en marcha es relativamente fácil, pues una vez que recibe energía entra en funcionamiento y es relativamente idóneo para el presente trabajo, por las siguientes razones:

- Principio de funcionamiento Infrarrojo no dispersivo (NDIR)
- Gas medido Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Rango de medición CO<sub>2</sub> 0 a 5000 ppm / 0 a 3% vol
- Precisión  $\pm 30$  ppm  $\pm 3\%$  de lectura
- Dimensiones 57 mm x 51 mm x 14 mm
- Esperanza de vida > 15 años
- Rango de temperatura de funcionamiento de 0 a 50 °C
- Rango de humedad de funcionamiento 0 a 95% HR (sin condensación)
- Fuente de alimentación 4.5 a 14.0 V DC
- Tiempo de respuesta (T1/e) 20 segundos tiempo de difusión

El módulo de sensores K-30 es un módulo transmisor libre de mantenimiento destinado para ser implementado en dispositivos que requieren monitoreo de datos de CO<sub>2</sub> se puede revisar el Anexo L para más información.

El tamaño compacto, los requisitos de baja potencia y las múltiples opciones de salida son con el objetivo de facilitar la integración en controles y equipos analógicos o basados en microprocesadores.

El sensor viene preconfigurado para la calibración automática de 400 ppm (calibración ABC). Si se utiliza el sensor en un entorno cerrado (p. ej. invernadero), podemos desactivar la calibración ABC en su sensor, que significa que realizará manualmente la calibración de 400 ppm siempre que sea necesario.

#### **4.5. Mantenimiento**

El dispositivo implementado es básicamente libre de mantenimiento en condiciones normales gracias al algoritmo de corrección ABC.

El dispositivo es una unidad libre de mantenimiento en ambientes normales, gracias a que viene implementado con un algoritmo de corrección de línea base automático ABC por sus siglas en inglés, Este algoritmo constantemente mantiene seguimiento de la menor lectura del sensor en un intervalo superior a 7.5 días y corrige suavemente por cualquier desviación grande detectada comparada con el valor esperado de aire fresco que es de 400 ppm de CO<sub>2</sub>.

La exactitud del sensor es definida en operación continua (al menos tres períodos ABC después de la instalación con ABC activada).

El transporte o las manipulaciones brusca podrían resultar en una reducción de la exactitud de la lectura del sensor. En el transcurso del tiempo si está activada la función ABC la lectura se ajustará nuevamente a las lecturas correctas. Por defecto la corrección está ajustada a 30 ppm/periodo ABC.

#### **4.6. Pruebas**

Las pruebas se desarrollaron en un invernadero de tomates ver figura y en un vivero de hongos ver figura obteniéndose diferentes resultados.

En las pruebas realizadas en el invernadero de tomates se realizó un muestreo cada 10 min dentro de 48 horas de funcionamiento con un total de 301 datos registrados los cuales se pueden ver en el Anexo M.



**Figura 4. 18 Invernadero de tomates**

En la (Fig. 4.10) observamos el dispositivo implementado en un invernadero de tomates y los datos recolectados se ven reflejados en la figura y en la (Fig. 4.19)



Figura 4. 19 Dispositivo montado en el invernadero de tomates

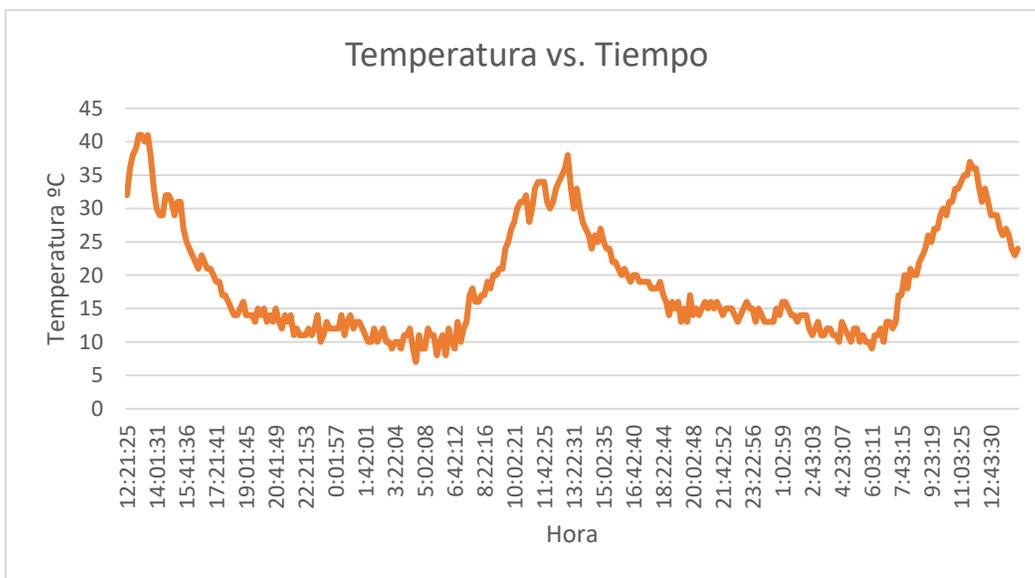
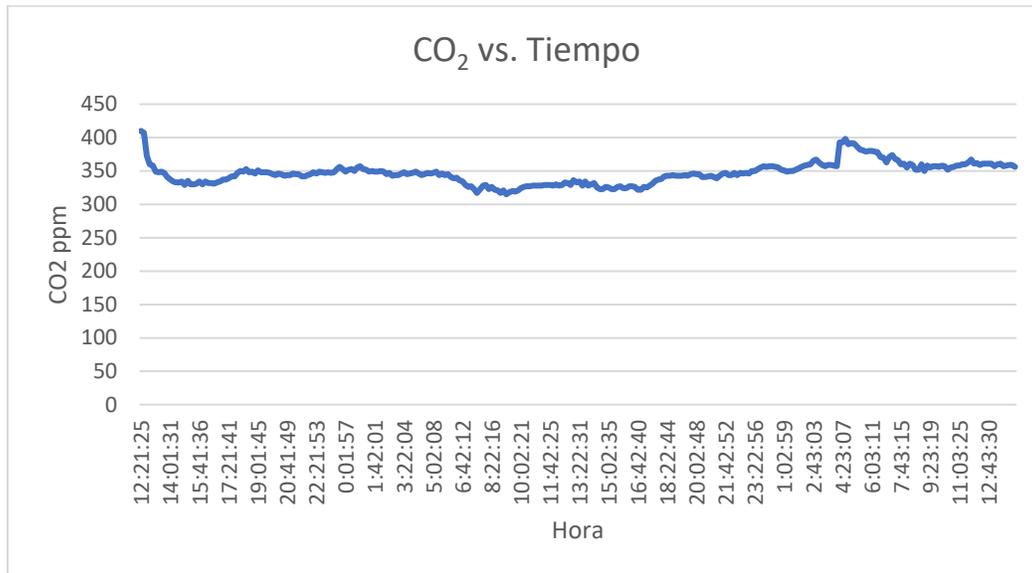


Figura 4. 20 Temperatura vs. tiempo invernadero de tomates

Como observamos en la (Fig. 4.20) la temperatura llega a un máximo de 41°C en horas del mediodía y un mínimo de 7°C en horas de la madrugada.



**Figura 4. 21 CO<sub>2</sub> vs. tiempo invernadero de tomates**

En la (Fig. 4.21) observamos como de 6h42 a 18h00 el CO<sub>2</sub> disminuye levemente mientras que de 18h00 hasta las 6h42 aproximadamente los niveles de CO<sub>2</sub> aumenta y esto tiene relación ya que las plantas no realizan la fotosíntesis en las noches ya que no existe luz solar para producir oxígeno por ende en las noches se observa más CO<sub>2</sub> que en el día.

En las pruebas realizadas en el invernadero de hongos se realizó un muestreo cada 10 min dentro de 96 horas (8 días) de funcionamiento con un total de 1015 datos registrados, las condiciones climáticas en este tipo de invernaderos son bastante hostiles para los instrumentos electrónicos, los datos registrados se encuentran en el Anexo N.



**Figura 4. 22 Invernadero de hongos en granja UTN**



**Figura 4. 23 Micelio con hongos fructificados**

En la (Fig. 4.24) observamos nuestro dispositivo implementado de manera adecuada en el invernadero de hongos



**Figura 4. 24 Dispositivo montado en invernadero de hongos**



**Figura 4. 25 Pantalla del dispositivo en funcionamiento**

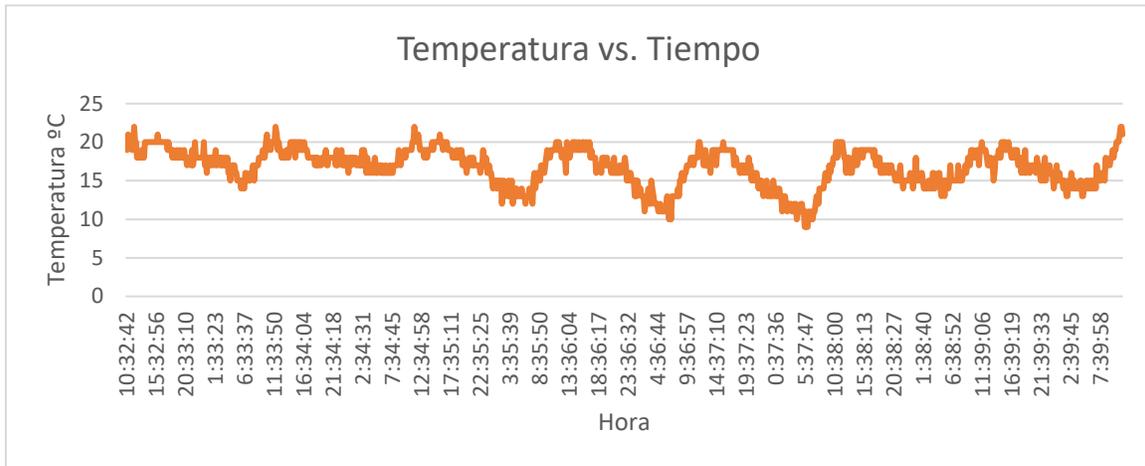


Figura 4. 26 Temperatura vs. Tiempo en el invernadero de hongos

En la (Fig. 4.26) los datos de temperatura obtenidos tenemos una temperatura mínima de 9°C y una máxima de 22°C.

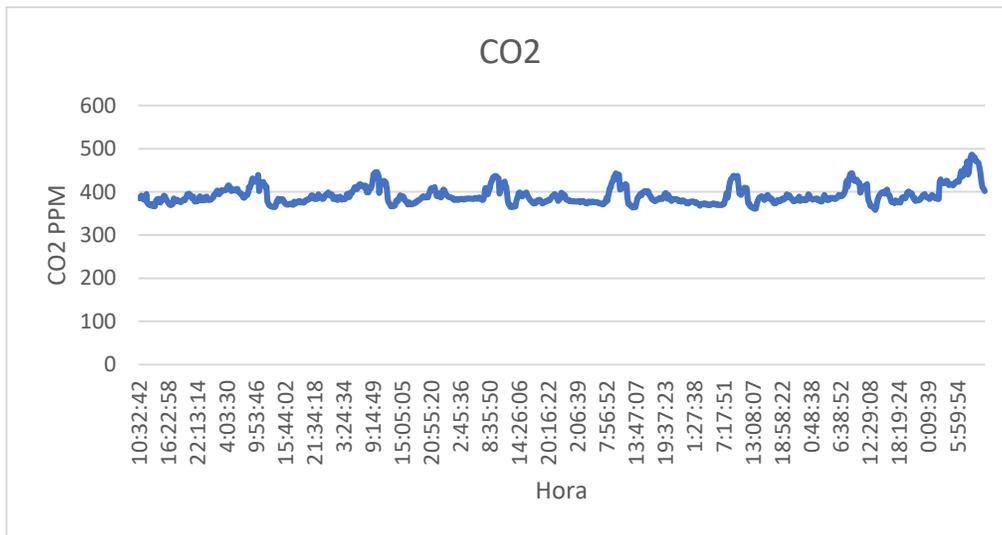


Figura 4. 27 CO<sub>2</sub> vs. Tiempo

En la (Fig. 4.27) el CO<sub>2</sub> muestra un mínimo de 358 ppm y un máximo de 486 ppm.

## **5. Conclusiones y Recomendaciones**

Este capítulo describe las conclusiones del presente proyecto y manifiesta las posibles soluciones para un trabajo futuro.

### **5.1. Conclusiones**

Las pruebas realizadas en los invernaderos mostraron un registro adecuado y veraz de los datos adquiridos por los sensores de CO<sub>2</sub> y la temperatura.

Se logró implementar un dispositivo preciso y no muy costoso para las cualidades que otorgan los distintos tipos de invernaderos.

El diseño del dispositivo fue puesto a prueba en las condiciones propias del invernadero, poniéndose a prueba el diseño en la protección de los componentes que protegen los dispositivos electrónicos y la robustez de estos para los trabajos en invernadero.

El módulo fue puesto a prueba en condiciones reales usando la alimentación de energía estándar, sus mediciones fueron precisas y no se tuvo ningún tipo de problema en su puesta en marcha.

Se ha construido un con éxito un prototipo de medidor de dióxido de carbono. Los resultados de las pruebas operativas muestran que el monitor es utilizable en condiciones de ambiente de invernadero e indica la variación de CO<sub>2</sub> interior, así como permite grabar en tiempo real las lecturas de concentración de CO<sub>2</sub> y temperatura para un análisis posterior. Tiene capacidad de presentar indicaciones locales de las dos variables mediante

un display tipo OLED, con posibilidades de autodiagnóstico en pantalla, indicando fallas en el registro o indicando claves de fallas en el medidor de CO<sub>2</sub>.

Las mediciones también demuestran que opera eficazmente en el rango previsto, hasta 3000 ppm. Por lo tanto, se puede concluir que el dispositivo construido es una opción factible como herramienta útil y práctica para la medición de CO<sub>2</sub> en invernaderos.

Todos los componentes son asequibles y fácil de conseguir, mientras que la construcción es simple y no presenta dificultades.

## **5.2. Recomendaciones**

En esta sección se indica los diferentes factores a tomar en cuenta para evitar problemas y posteriores daños en el dispositivo

### **5.2.1. Colocación del sensor**

La determinación de las ubicaciones espaciales de los sensores debe considerar la variabilidad (valores promedio, máximo y mínimo), y también ubicaciones de componentes. No debe ser instalado cerca de ventanas o ductos de extracción.

Debido a que el dióxido de carbono es más pesado que el aire, primero se acumulará a nivel del piso, luego llenará el espacio cerrado. Como ubicación vertical, la altura cerca del cultivo sería la mejor para la concentración de CO<sub>2</sub>, y deben ser variables a medida que crece el cultivo.

Las variables ambientales pueden mostrar variabilidad respecto a ubicación, dirección, tamaño y tipo de sensores, tipo de cultivos, tasas de siembra, temporada y hora.

La implementación y utilización adecuadas de la tecnología de sensores son los requisitos esenciales para el control preciso de los factores ambientales en la producción de cultivos.

Un mayor número de sensores sería mejor para monitorear condiciones cuando haya una mayor variabilidad, pero aumentaría el costo.

### **5.2.2. Mantener el sensor limpio**

El medidor de CO<sub>2</sub> no está hecho de ningún material que libere sustancias químicas nocivas o que tenga partes que fácilmente podrían aflojarse y caer en el proceso, por lo que no habría restricciones para su uso incluso en el área alimentaria. En el caso de granjas de setas, donde toda la habitación se limpia regularmente con una lavadora a presión, se debe tener el cuidado suficiente, ya que no está diseñado para soportar el agua directa.

### **5.2.3. Mantenimiento del medidor de CO<sub>2</sub>**

El medidor de CO<sub>2</sub> está construido en base al sensor K30, el cual es un sensor básicamente libre de mantenimiento en condiciones ambientales normales gracias a su algoritmo de corrección ABC implementado en el mismo.

### **5.2.4. Micro SD**

Se ha instalado con una tarjeta microSD, en la cual se graban en tiempo real archivos con el nombre lognn (ej. Log 51). La información almacena datos de día, hora,

temperatura y CO<sub>2</sub> en p.p.m en formato xlsv, el cual puede ser fácilmente convertido a formato excel, para su posterior análisis y presentación de curvas de tendencia entre otros. Se ha configurado para tomar datos cada 10 minutos, lo que significa 240 lecturas por día. Suficiente para tener curvas de tendencia representativas. Sin embargo, dada la capacidad de almacenamiento se podría inclusive configurar tiempos más cortos de toma de datos sin ningún problema durante largos períodos de tiempo

#### **5.2.5. Reloj en tiempo real**

El equipo está implementado con un reloj en tiempo real, el mismo que dispone de una pequeña batería para conservar la fecha en caso de pérdida de energía o apagado del equipo.

Un instrumento de mano separado, recientemente calibrado, se puede utilizar como medidor de referencia. La comparación entre el medidor de mano y el instrumento de medición CO<sub>2</sub> proporciona una indicación sencilla si el sensor necesita servicio.

### **5.3. Trabajo Futuro**

Con la información obtenida se podría realizar estudios sobre como incrementar la producción de cultivos por ejemplo de hongos, enfocándose en una agricultura inteligente y autónoma por parte del agricultor complementándolo con opciones de control de adición de CO<sub>2</sub> a los niveles requeridos.

Se pueden añadir funciones adicionales, que permitan incluso conexiones remotas, para monitoreo y diagnóstico.

Se puede realizar modificaciones al diseño para convertirlo en una herramienta manual, es decir operada con baterías, ampliando de esta manera su campo de aplicación y versatilidad.

## Bibliografía

- [1] J. Manzanares, «Expoflores Blog de floricultura- Ecuador.,» Clima bajo invernadero (parte 1). , 2015. [En línea]. Available: <http://expofloresflorecuador.blogspot.com/2015/10/clima-bajo-invernadero.html>.
- [2] e. a. (. Uferah Shafi, «Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications. Sensors,» 2019.
- [3] « InfoAgro.com,» El cultivo de las rosas para corte (1ª parte), 2016. [En línea]. Available: <https://www.infoagro.com/flores/flores/rosas.htm>.
- [4] «Novagric,» Martes 10 2015. [En línea]. Available: <https://www.novagric.com/es/blog/articulos/clima-invernadero-como-conseguir-temperatura-ideal>.
- [5] M. Invernaderos, «MSC Invernaderos,» 10 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://grupomsc.com/blog/invernadero/que-es-y-como-funciona-un-invernadero>.
- [6] J. C. Lopez, «Pthorticultur,» 5 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/conceptos-basicos-de-la-fotosintesis/>.
- [7] T. Blom, W. Straver, F. Ingratta, S. K. -. OMAFRA y W. B. -. OMAFRA, «Carbon Dioxide in Greenhouses,» *Replaces OMAFRA Factsheet*.
- [8] R. S. Manikandan .K, «Automatic Monitoring System for a Precision Agriculture Based On Wireless Sensor Networks,» *IJCSET*, pp. Vol 6, Issue 6, 208-211, 2016.
- [9] X. Z. X. Q. H. Y. W. W. Wengang Zheng, «The Design of Smart Wireless Carbon Dioxide Measuring Instrument Used in Greenhouse,» *National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture*.
- [10] A. Keimel, «Comparison of Low-Cost CO2 Non-Dispersive Infrared (NDIR) Sensors for Ambient Greenhouse Gas Monitoring,» *UVM Honors College Senior Theses*. 282. , 2019.
- [11] F. R. Z. Francisco Marin Thiele, *Instrumentos Científicos para la Agricultura Protegida*, San José: Ministerio de Agricultura y Ganadería Costa Rica, 2017.
- [12] C. G. G. B. Z. Z. A. G. M. D. M. C. A. G. L. Jesus Bausá Atragonés, «Sensores de Temperatura».
- [13] J. D. M. K. Y. B. Pallavi S., Remote Sensing and Controlling of Greenhouse, Bagalkot-587102, INDIA: Basaveshwar Engineering College, 2017.
- [14] «tecmikro,» 5 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://tecmikro.com/arduino/332-arduino-mega.html>. [Último acceso: 5 Novirembre 2020].

- [15] «researchgate,» 5 Noviembre 2020. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/K30-CO2-Sensor-Basic-model-and-the-location-of-the-wire-connections-Repeat-this\\_fig1\\_322625651](https://www.researchgate.net/figure/K30-CO2-Sensor-Basic-model-and-the-location-of-the-wire-connections-Repeat-this_fig1_322625651). [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [16] «hwlibre,» 5 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.hwlibre.com/lm35/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [17] «programarfacil,» 5 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ssd1306-pantalla-oled-con-arduino/>. [Último acceso: 5 Noviembre 2020].
- [18] «elecrow,» 5 Noviembre 2020. [En línea]. Available: [https://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=RTC\\_Data\\_Logger\\_Shield\\_v1.1](https://www.elecrow.com/wiki/index.php?title=RTC_Data_Logger_Shield_v1.1). [Último acceso: 5 Novirmbre 2020].
- [19] S.-O. H. D. D. & H.-H. K. C. R. R. D. C. Myong-Jin R., «Determination of Sensor Locations for Monitoring of Greenhouse Ambient Environment,» *International Society of precision Agriculture*, Vols. %1 de %2Agriculture Research & Extension Services, Republic of Korea, 2012.
- [20] J. d. E. Medina, «Estrategias de Monitorización de CO2 y otros Gases en los Estudios Análogos Naturales,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2013.
- [21] J. Cazes, *Analytical instrumentation handbook*, Marcel Dekker Inc., 2005.

## **Anexos**

## Anexo A

### Anexo I: Dispositivos de medición de CO<sub>2</sub>

Dispositivos de Medición de CO<sub>2</sub>

Técnica	Objetivos	Límites de Detección	Aplicabilidad	Limitaciones	Estado Tecnológico
Técnica de la cámara de acumulo	Detectar los flujos del suelo a través de detectores de gas infrarrojos	<p>Detecta flujos de CO<sub>2</sub> de 0,04 g*m<sup>2</sup>*d<sup>-1</sup>.</p> <p>Existe ruido en la señal por la actividad biológica.</p> <p>Necesita la realización de una línea base para comprender las variaciones locales de flujo.</p> <p>La medida de flujo se realiza en un área pequeña(cm<sup>2</sup>).</p> <p>Se puede medir CO<sub>2</sub> a tiempos preestablecidos.</p>	<p>En tierra</p> <p>Se evalúa la aplicabilidad en capas de agua</p> <p>Con el sensor adecuado se puede medir flujos de otros gases</p>	<p>La superficie de muestreo es limitada.</p> <p>Solo proporciona una medición instantánea del sistema.</p> <p>Variación estacional por condiciones climáticas o biológicas.</p> <p>Las medida</p>	Implementada por la comunidad Científica

				<p>s no son efectivas si el suelo esta húmedo o congelado.</p> <p>Detección tardía de una fuga</p>	
Análisis de aguas subterráneas y superficiales	Muestrear y medir el contenido de compuestos mayoritarios en aguas subterráneas y superficiales	El orden de pocas ppm.	<p>En tierra.</p> <p>Necesita la realización de una línea base previa a la inyección durante un tiempo prolongado para comprender las variaciones locales.</p> <p>Posible detección de fugas (CO<sub>2</sub> / salmuera) antes de grandes emisiones a la atmósfera.</p>	<p>Se debe tener presentes las variaciones en el flujo de agua.</p> <p>Detección tardía de una fuga.</p>	Implementada comercialmente
Análisis de gases del suelo	Medir CO <sub>2</sub> y otros gases en	La relación entre distintos gases	En tierra.	La superficie	Implementado por la

	<p>los niveles superficial. Realizar mediciones isotópicas de CO<sub>2</sub> y otros gases.</p> <p>Establecer los flujos de diferentes gases</p>	<p>acompañada de un análisis isotópico puede ayudar a interpretar el origen del CO<sub>2</sub>.</p> <p>Método muy adecuado como complemento al de la cámara de acúmulo.</p> <p>Se pueden instalar quipos que midan continuamente .</p>	<p>Útil para mediciones detalladas, sobre todo alrededor de puntos de emisión con flujos bajos.</p> <p>Estimación de la densidad de fracturación y de las rutas de migración de los gases hacia la atmósfera.</p>	<p>muestra es limitada.</p> <p>Suele necesitarse de bastante tiempo para la adquisición de datos.</p> <p>Detección tardía de una fuga.</p>	<p>comunidad científica.</p>
<p>Análisis de gases con Infrarrojos (IR) láser.</p>	<p>Medir los niveles de CO<sub>2</sub> cerca del suelo.</p>	<p>Necesita desarrollo.</p> <p>Está afectado por la humedad ambiente y la vegetación.</p> <p>Afectado por ruidos de otras fuentes de CO<sub>2</sub> (biológico/industrial)</p>	<p>En tierra.</p> <p>Tiene un gran potencial para cubrir varios kilómetros cuadrados con un dispositivo.</p> <p>Relativo bajo coste.</p> <p>Necesita la realización de una línea base previa a la inyección durante un tiempo prolongado</p>	<p>Mide la concentración de CO<sub>2</sub> en un trayecto largo, de modo que es necesaria la interpretación de la tomografía o un muestreo más</p>	<p>En fase de desarrollo.</p>

			para comprender la concentración atmosférica.	detallado (cámara de acumulo) para ubicar fugas de precisión.  Es difícil detectar fugas de bajo nivel contra fugas mayores.  Detección tardía de una fuga.	
Analizador de gas infrarrojo (IR) portátiles.	Mide niveles de CO <sub>2</sub> en el aire cerca del suelo.	La resolución de los dispositivos manuales pequeños para protección personal (seguridad industrial) son de 100 ppm.	En tierra y en las instalaciones de alta mar. Sirven para localizar fugas de alta concentración de CO <sub>2</sub> detectadas por métodos de búsqueda más amplios.	No es suficientemente exacta para cuantificar y monitorizar fugas de CO <sub>2</sub> .	Amplia implementación comercial.

				Solo para detección cualitativa. Detección tardía de una fuga.	
--	--	--	--	---	--

[20]

## Anexo B

### Anexo II: Evaluación de opciones unidad central

Tamaño	Arduino Uno	Raspberry pi3	Arduino Mega	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino Uno		0,5	1	2,5	0,38
Raspberry pi3	0,5		0,5	2	0,31
Arduino Mega	0,5	0,5		2	0,31
1			SUMA	6,5	1

Entradas y salidas Análogas	Arduino Uno	Raspberry pi3	Arduino Mega	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino Uno		1	0,5	2,5	0,38
Raspberry pi3	0		0	1	0,15
Arduino Mega	1	1		3	0,46
1			SUMA	6,5	1

Capacidad de Procesamiento	Arduino Uno	Raspberry pi3	Arduino Mega	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino Uno		0	0	1	0,15
Raspberry pi3	1		1	3	0,46
Arduino Mega	1	0,5		2,5	0,38
1			SUMA	6,5	1

Precio Mercado	Arduino Uno	Raspberry pi3	Arduino Mega	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino Uno		1	1	3	0,43
Raspberry pi3	0		0,5	1,5	0,21
Arduino Mega	0,5	1		2,5	0,36
1			SUMA	7	1

Capacidad de guardar en dispositivos externos	Arduino Uno	Raspberry pi3	Arduino Mega	$\Sigma+1$	Ponderación
Arduino Uno		0	0	1	0,18
Raspberry pi3	1		0,5	2,5	0,45
Arduino Mega	0,5	0,5		2	0,36
1			SUMA	5,5	1

## Anexo C

### Anexo III: Evaluación de opciones sensor de CO<sub>2</sub>

Tamaño	Sensor CO2 k30	MG811	MQ135	$\Sigma+1$	Ponderación
Sensor CO2 k30		0,5	0,5	2	0,29
MG811	1		0,5	2,5	0,36
MQ135	1	0,5		2,5	0,36
1			<b>SUMA</b>	7	1

Intervalo de Medición	Sensor CO2 k30	MG811	MQ135	$\Sigma+1$	Ponderación
Sensor CO2 k30		1	1	3	0,43
MG811	0,5		1	2,5	0,36
MQ135	0	0,5		1,5	0,21
1			<b>SUMA</b>	7	1

Conectividad	Sensor CO2 k30	MG811	MQ135	$\Sigma+1$	Ponderación
Sensor CO2 k30		1	1	3	0,43
MG811	0,5		0,5	2	0,29
MQ135	0,5	0,5		2	0,29
1			<b>SUMA</b>	7	1

Disponibilidad Mercado	Sensor CO2 k30	MG811	MQ135	$\Sigma+1$	Ponderación
Sensor CO2 k30		0,5	0,5	2	0,29
MG811	1		0,5	2,5	0,36
MQ135	0,5	1		2,5	0,36
1			<b>SUMA</b>	7	1

Presicion	Sensor CO2 k30	MG811	MQ135	$\Sigma+1$	Ponderación
Sensor CO2 k30		1	1	3	0,43
MG811	0,5		0,5	2	0,29
MQ135	0,5	0,5		2	0,29
1			<b>SUMA</b>	7	1

## **Anexo D**

### **Anexo IV: Data sheet Sensor de CO<sub>2</sub> K30**

#### **Datasheet: K-30 Sensor**

The K30 sensor is a low cost, infrared and maintenance-free transmitter module intended to be built into different host devices that require CO<sub>2</sub> monitoring data.

#### **Applications**

The K30 is an accurate, yet low cost gas sensing solution for OEMs who wish to integrate CO<sub>2</sub> gas sensing into their product without investing in their own gas sensor development. The compact sized and low powered module is intended to be an add-on component to compliment other microprocessor-based controls and equipment.

The K30 may be software customized in different ways in order to optimize the total system with respect to the OEM application.

The K30 is offered for installation in OEM IAQ sensor housings, OEM air handling units, OEM alarm sensor housings, among other applications. The only restriction for what this product can be used for is the creativity and inventiveness of the customer.

This new product version is a RoHS compliant upgrade replacing the former the K30 product, has the same key product performance, but now has an improved speed of response and a reduced spatial build-in height.

#### **Terminal Descriptions**

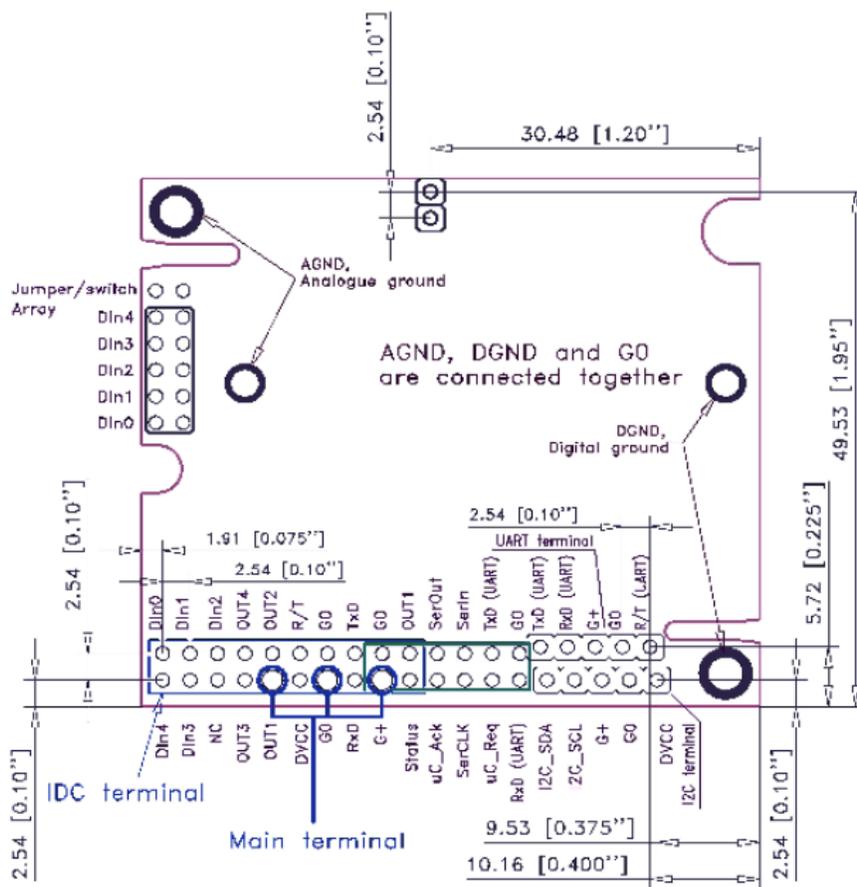
The table below specifies what terminals and I/O options are available in the general K30 platform (see also the layout picture Fig.2). Please note, however, that in the K30-STA default configuration, only OUT1, OUT2, OUT3, OUT4, Din1, Din2 and Status have any re-programmed functions. These are described in the chapter “Default Configuration”.

Functional group	Descriptions and ratings
<b>Power supply</b>	
G+ referred to G0:	Absolute maximum ratings 5.5 to 14V, stabilized to within 10% 5V to 9V preferred operating range. <b>Unprotected against reverse connection!</b>
<b>Serial Communication</b>	
UART (TxD, RxD)	CMOS, ModBus communication protocol. Logical levels corresponds 3.3V powered logics. Refer "ModBus on CO2 Engine K30 " for electrical specification.
<b>Outputs</b>	
OUT1	Buffered linear output 0..4 or 1..4VDC or 0..10V or 2..10V, depending on specified power supply and sensor configuration. ROUT < 100 W, RLOAD > 5 kW <b>Load to ground only!</b> Resolution 10mV (8.5 bits in the range 0..4V).
OUT2	Buffered linear output 0..4 or 1..4VDC or 0..5V or 1..5V, depending on specified power supply and sensor configuration. ROUT < 100 W, RLOAD > 5 kW <b>Load to ground only!</b> Resolution 5mV Can be used as alternative for OUT1, or for a second data channel, or in an independent linear control loop, such as a housing temperature stabilization
OUT3	CMOS <b>unprotected</b> . Digital (High/Low) output. High Output level in the range 2.3V min to DVDD = 3.3V. (1 mA source) Low output level 0.75V max (4 mA sink)

**Table 1.** I/O notations used in this document for the K30 platform with some descriptions and ratings.

Please, beware of **the red colored texts that pinpoint important features** for the system integration!

## General PCB Overview



**Figure 2.** K30 I/O notations, terminal positions and some important dimensions for mounting the K30 platform PCB into a host system (Top view). The blue filled pins are defined by default.



## **Installation**

The modules are factory calibrated and ready for use directly after power up. There are several alternative ways to connect the K30 to a host system (see also Figure 2):

1. Using “UART connector”, including terminals for power supply (G+ and G0), UART (TxD, RxD).
2. Using the 3 pins main terminal. Available signals are power supply (G+ and G0) and the buffered analogue output (OUT1). A variety of user selections exist for this option regarding standard 5.08 mm pitch components and mounting alternatives (top/bottom).
3. Using 20 pin connector strips, or IDC connector, most of the system information is reached.

## **Host Integration Considerations and EMI Shielding**

If an IDC connector is being used to connect the K30 module to a host PCB, this connector can in some situations be used as the only fixture. If instead fixing the K30 PCB using mechanical poles and screws, no more than 2 positions should be considered. This is because the PCB should not be exposed to any mechanical stress, and it is small and lightweight enough for just 2 attachment points. To provide means for attachments, there are 4 possible screw holes available, all of them having a collar that is electrically connected to ground (G0). These connections are, however, not totally equivalent: The two screw points in the upper left corner (having the IDC and edge connectors faced downwards, as in Figure 2) are connected to the analogue ground. They are the preferred choice for connection to some EMI shield, if so is required. This is normally necessary only if the application is such that large EMFs are foreseen. If this option is being used, precaution must be taken so as to exclude any power supply currents! Sensor reading instability is an indication of the need for shielding, or of improper enclosure system groundings. The two screw points in the right bottom corner are connected to the digital ground. Connection to some EMI housing shield is less effective when this option is used, but on the other hand the sensor may be powered via these connections.

*Note 1:* To avoid ground loops, one should avoid connecting the analogue and digital grounds externally! They are connected internally on the K30 PCB.

*Note 2:* The terminals are not protected against reverse voltages and current spikes! Proper ESD protection is required during handling, as well as by the host interface design.

## **Default Functions / Configuration**

### **Outputs**

The basic K30-STA configuration is a simple analogue output sensor transmitter signal directed to OUT1 and OUT2. Via the edge connector serial communication terminal, the CO2 readings are available to an even higher precision (Modbus protocol), together with additional system information such as sensor status, analogue outputs, and other variables.

Terminals	Output	Correspondence
OUT1	0,0...4,0 VDC	0...2,000 ppm CO2
OUT2	1,0...5,0 VDC	0...2,000 ppm CO2

**Table 2.** Default analogue output configuration for K30-STA

The basic K30-STA configuration provides digital outputs to indicate if CO2 concentration exceeds alarm threshold.

Terminals	Output	Correspondence
OUT3	Logical levels: Low < 0.75V High = 5V	<p>OUT3 700/800 ppm CO<sub>2</sub> level</p>
OUT4	Logical levels: Low < 0.75V High = 5V	<p>OUT4 900/1000 ppm CO<sub>2</sub> level</p>

**Table 3.** Default digital output configuration for K30-STA

### Calibration

The default sensor OEM unit is maintenance free in normal environments thanks to the built-in self-correcting ABC algorithm (Automatic Baseline Correction). This algorithm constantly keeps track of the sensor's lowest reading over a 7.5 days interval and slowly corrects for any long-term drift detected as compared to the expected fresh air value of 400 ppm CO<sub>2</sub>.

### Defaults

- K30 Sensors – ABC on by default
- K30 SDKs – ABC off by default
- For applications where the sensor will never read 400ppm (fresh) air, the K30 should be ordered with ABC disabled.

### Manual Calibration

Rough handling and transportation may reduce sensor reading accuracy. With time, the ABC function will tune the readings back to the correct numbers. The default “tuning speed” is however limited to about 30 ppm/week. For post calibration convenience, in the event that one cannot wait for the ABC algorithm to cure any calibration offset, or if ABC is disabled, two switch inputs - Din1 and Din2 - select of two prepared calibration codes. If Din1 is shorted to ground for a minimum of 8 seconds, the internal calibration code bCAL (background calibration) is executed, in which case it is assumed that the sensor is operating in a fresh air environment (400 ppm CO<sub>2</sub>). If Din2 is shorted for a minimum of 8 seconds, the alternative operation code CAL (zero calibration) is executed in which case the sensor is assumed to be in a gas mixture free from CO<sub>2</sub> (i.e. Nitrogen or Soda Lime CO<sub>2</sub> scrubbed air).

Input Switch Terminal (normally open)	Default function (when closed for minimum 8 seconds)
Din1	bCAL (background calibration) assuming 400 ppm CO <sub>2</sub> sensor exposure
Din2	CAL (zero calibration) assuming 0 ppm CO <sub>2</sub> sensor exposure

**Table 4.** Switch input default configurations for K30

### Manual Calibration Procedure

The 0ppm CO<sub>2</sub> calibration procedure is as follows. For fresh air, skip steps 1-2.

1. Connect the sensor on top with a tube (soft tubing 2x4 mm) and a nipple (nylon tubing 30x0.8x2.2 mm), see Figure 4 below.

There are 2 alternative positions for nipple attachment.

2. Let a gas mixture flow into the sensor through the applied tube. The flow shall be in the range of 0.3 – 1.0 liter/minute during 3 minutes. Keep the gas mixture flowing during the whole procedure.

3. Short circuit the Din2 (Din1 for fresh air) for a minimum of 8 seconds.

4. Verify the zero calibration. The meter will show 0 ppm CO<sub>2</sub> (400ppm for fresh air).

5. If zero calibration is not executed (sensor detects unstable gas concentration) wait 10 sec and repeat steps 3 and 4 again.

**Human breath** contains 300,000ppm CO<sub>2</sub>. Do not breath anywhere near the sensor, or the fresh air will be contaminated!



**Figure 5.** K30 with connected tube

### Self-Diagnostics

The system contains complete self-diagnostic procedures. A full system test is executed automatically every time the power is turned on. In addition, constantly during operation, the sensor probes are checked against failure by checking the valid dynamic measurement ranges. All EEPROM updates, initiated by the sensor itself, as well as by external connections, are checked by subsequent memory read back and data comparisons. These different system checks return error bytes to the system RAM. If this byte is not zero, the logic output terminal Status will be put into Low level state. The full error codes are available from the UART port or via I2C communication. Offset regulation error and Out of Range are the only bits that are reset automatically after return to normal state. All other error bits have to be reset after return to normal by UART overwrite, or by power off/on.

Output Terminal	Default function
Status	High level = OK ; Low level = Fault

**Table 6.** Default Logic output configured for K30

### Error Codes and Action Plan

Error codes can be read via one of communication channels.

Bit #	Error code	Error description	Suggested action
0	1	<b>Fatal Error</b>	Try to restart sensor by power OFF/ON. Contact local distributor.
1	2	<b>Offset regulation error</b>	Try to restart sensor by power OFF/ON. Contact local distributor.
2	4	<b>Algorithm Error.</b> Indicate wrong EEPROM configuration.	Try to restart sensor by power OFF/ON. Check detailed settings and configuration with software tools. Contact local distributor.
3	8	<b>Output Error</b> Detected errors during output signals calculation and generation.	Check connections and loads of outputs. Check detailed status of outputs with software tools.
4	16	<b>Self-Diagnostic Error.</b> May indicate the need of zero calibration or sensor replacement.	Check detailed self-diagnostic status with software tools. Contact local distributor.
5	32	<b>Out Of Range Error</b> Accompanies most of other errors. Can also indicate overload or failures of sensors and inputs. Resets automatically after source of error disappearance.	Check connections of temperature and relative humidity probe (if mounted). Try sensor in fresh air. Perform CO2 background calibration. Check detailed status of measurements with software tools. <i>See Note 1!</i>
6	64	<b>Memory Error</b> Error during memory operations.	Check detailed settings and configuration with software tools.
7	128	<b>Reserved</b>	

**Note 1.** *Any probe is out of range. Occurs, for instance, during over-exposure of CO2 sensor, in which case the error code will automatically reset when the measurement values return to normal. Could also indicate the need of zero point calibration. If the CO2 readings are normal, and still the error code remains, any other sensor probe mounted (if any) can be defect, or the connection to this probe is broken.*

**Remark:** *If several errors are detected at the same time the different error code numbers will be added together into one single error code!*

### **Maintenance**

The K30 is basically maintenance free in normal environments if the ABC algorithm is active. When checking the sensor accuracy, note that the sensor accuracy is defined as after 3 weeks of continuous operation.

## Anexo E

### Anexo V: Evaluación de opciones sensor de temperatura

Tamaño	LM35	DS18B20	TC74	$\Sigma+1$	Ponderación
LM35		1	0,5	2,5	0,33
DS18B20	0,5		0,5	2	0,27
TC74	1	0	1	3	0,40
	1		SUMA	7,5	1

Rango	LM35	DS18B20	TC74	$\Sigma+1$	Ponderación
LM35		1	0,5	2,5	0,33
DS18B20	1		0,5	2,5	0,33
TC74	0,5	1		2,5	0,33
	1		SUMA	7,5	1

Comunicación	LM35	DS18B20	TC74	$\Sigma+1$	Ponderación
LM35		0	0,5	1,5	0,25
DS18B20	1		0,5	2,5	0,42
TC74	0,5	0,5		2	0,33
	1		SUMA	6	1

Disponibilidad Mercado	LM35	DS18B20	TC74	$\Sigma+1$	Ponderación
LM35		1	1	3	0,43
DS18B20	0,5		0,5	2	0,29
TC74	0,5	0,5		2	0,29
	1		SUMA	7	1

Costo	LM35	DS18B20	TC74	$\Sigma+1$	Ponderación
LM35		1	0,5	2,5	0,38
DS18B20	0,5		0,5	2	0,31
TC74	0,5	0,5		2	0,31
	1		SUMA	6,5	1

## Anexo F

### Anexo VI: Evaluación de opciones pantalla

Tamaño	Display Oled 128x64	Display Oled 128x32	Pantalla Lcd 2002	$\Sigma+1$	Ponderación
Display Oled 128x64		0,5	0,5	2	0,31
Display Oled 128x32	0,5		0,5	2	0,31
Pantalla Lcd 2002	1	0,5		2,5	0,38
1			SUMA	6,5	1

Resolución	Display Oled 128x64	Display Oled 128x32	Pantalla Lcd 2002	$\Sigma+1$	Ponderación
Display Oled 128x64		1	0,5	2,5	0,36
Display Oled 128x32	1		0,5	2,5	0,36
Pantalla Lcd 2002	0,5	0,5		2	0,29
1			SUMA	7	1

Comunicación	Display Oled 128x64	Display Oled 128x32	Pantalla Lcd 2002	$\Sigma+1$	Ponderación
Display Oled 128x64		1	1	3	0,38
Display Oled 128x32	1		1	3	0,38
Pantalla Lcd 2002	0,5	0,5		2	0,25
1			SUMA	8	1

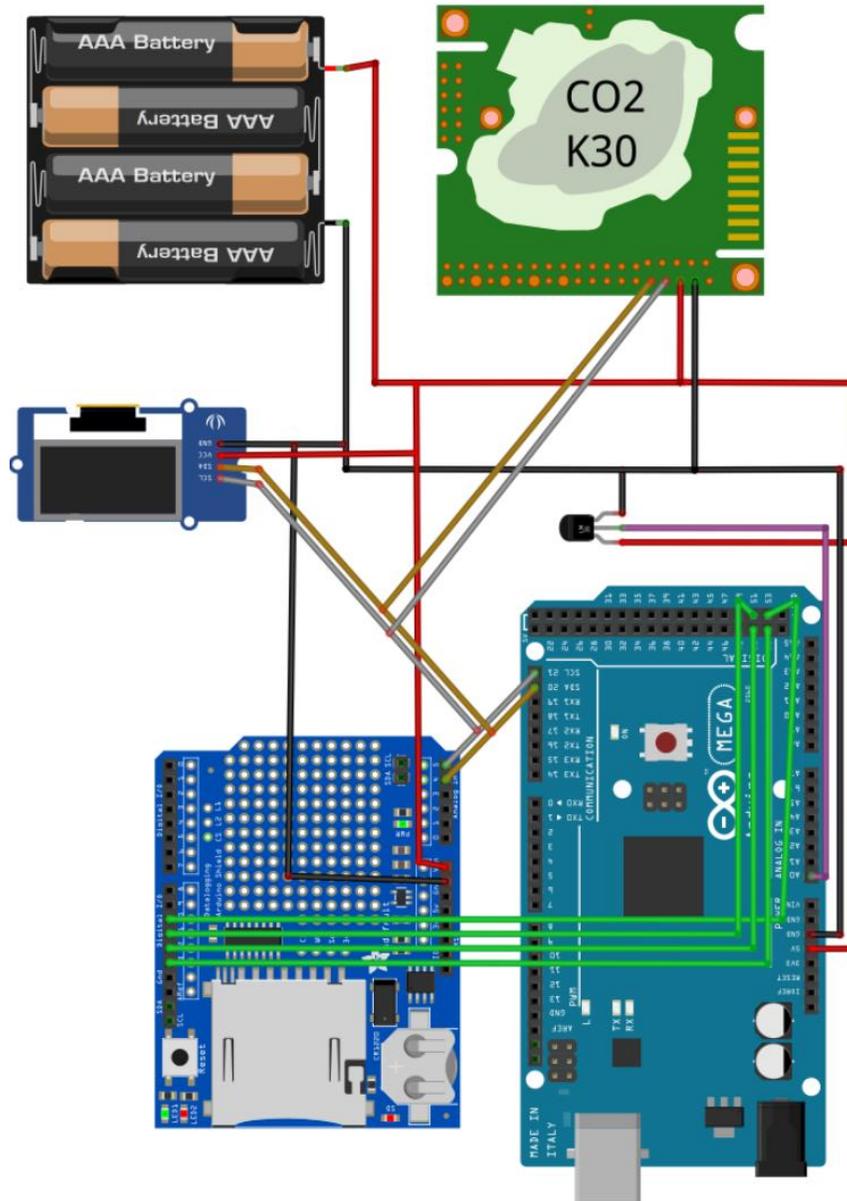
Disponibilidad Mercado	Display Oled 128x64	Display Oled 128x32	Pantalla Lcd 2002	$\Sigma+1$	Ponderación
Display Oled 128x64		0,5	0,5	2	0,33

<b>Display Oled 128x32</b>	0,5		0,5	2	0,33
<b>Pantalla Lcd 2002</b>	0,5	0,5		2	0,33
	1		<b>SUMA</b>	6	1

<b>Costo</b>	<b>Display Oled 128x64</b>	<b>Display Oled 128x32</b>	<b>Pantalla Lcd 2002</b>	<b><math>\Sigma+1</math></b>	<b>Ponderación</b>
<b>Display Oled 128x64</b>		0,5	0,5	2	0,40
<b>Display Oled 128x32</b>	0,5		0,5	2	0,40
<b>Pantalla Lcd 2002</b>	0	0		1	0,20
	1		<b>SUMA</b>	5	1

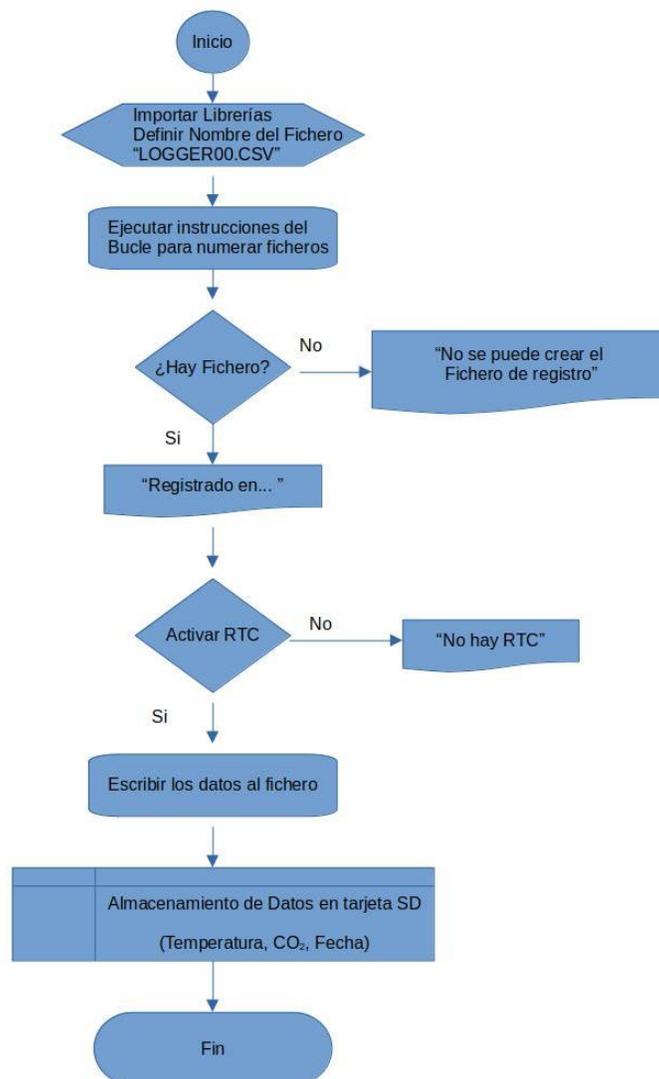
## Anexo G

### Anexo VII: Esquemático tipo proto board de conexión de Dispositivos



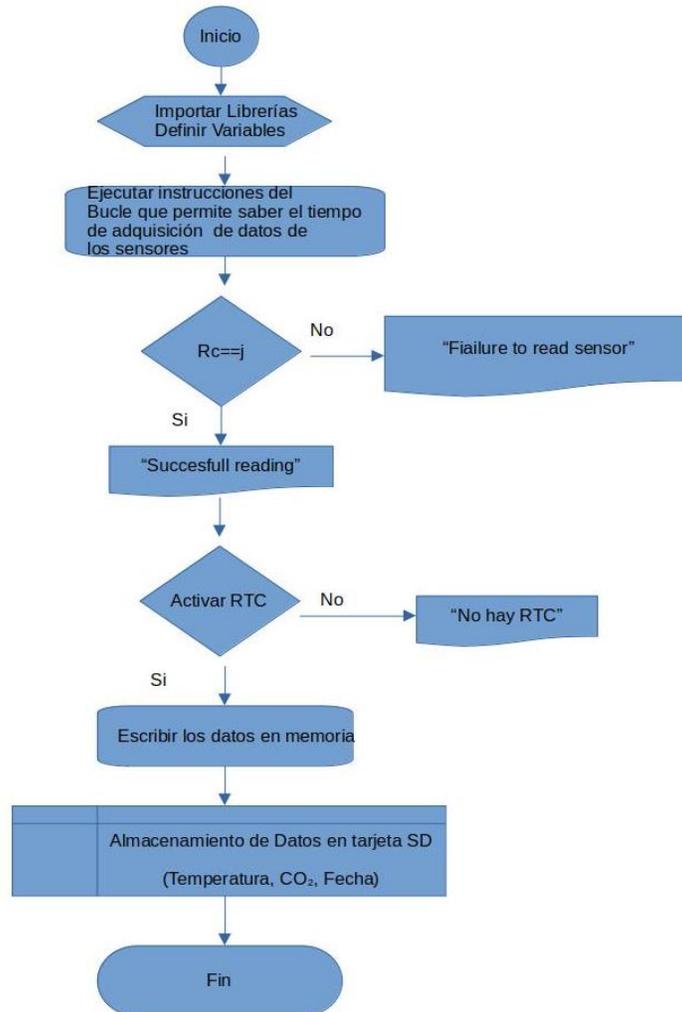
## Anexo H

### Anexo VIII: Pseudocódigo creación fichero de datos



## Anexo I

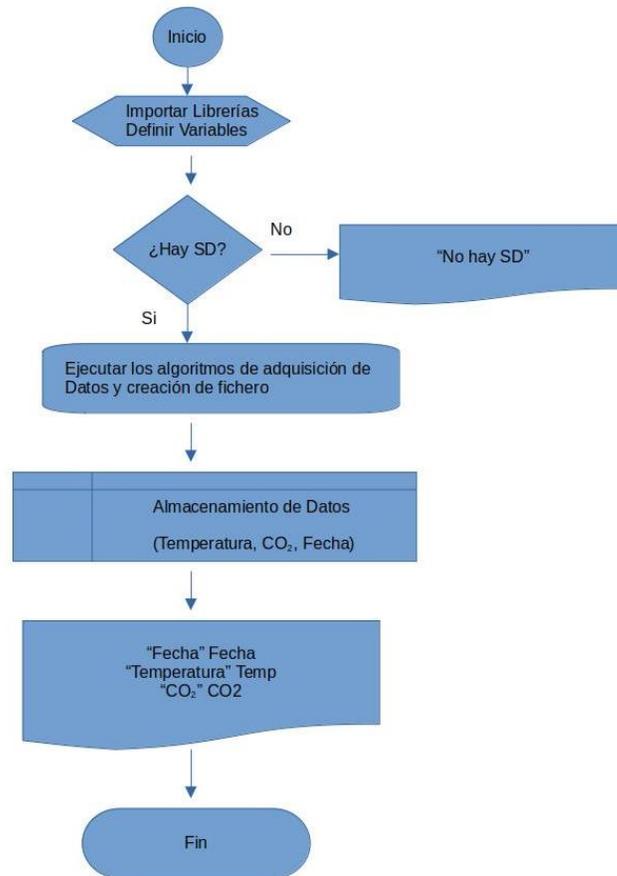
### Anexo IX: Pseudocódigo adquisición datos sensores de CO<sub>2</sub> y temperatura



## Anexo J

## Anexo X: Pseudocódigo visualización datos en la pantalla

## OLED



## Anexo K

### Anexo XI: Código Arduino

```
/* -----  
  TESIS MEDIDOR CO2 Y TEMPERATURA  
----- */  
/*librerias*/  
  
#include <K30_I2C.h> // libreria del sensor K30  
#include <SD.h>      // libreria para data logger  
#include <Wire.h>    // libreria comunicación con dispositivos I2C / TWI  
#include <SPI.h>     // libreria necesaria para la SD card  
#include "RTClib.h" //Permite el uso de RTC del data logger  
#include "U8glib.h" // libreria para el usode la pantalla oled  
  
/*-----  
 * Definir direcciones de comunicación  
* -----*/  
  
#define I2C_SLA  (0x78); // se define la dirección para la pantalla oled  
RTC_DS1307 RTC;      // Definimos el reloj en tiempo real  
File logfile;        // carga el Fichero a escribir en la SD  
U8GLIB_SSD1306_128X64 u8g(U8G_I2C_OPT_NONE); // I2C / TWI de OLED  
  
/* Definir variables y pines de activavion para los dispositivos */  
  
const int chipSelect = 53; // definir pin de seleccion para la tarjeta SD  
const bool eco = true ; // definir la variable booleana eco  
int count = 0 ; // Controla cada cuanto tiempo se vuelcan los datos a la SD  
  
const int sensorPin = A0; // se define la entrada analógica para el sensor  
float sensorValue; // variable que almacena el valor raw (0 a 1023)  
int temp; // variable tipo entera para el sensor de temperatura  
int k=0; //variable tipo entera para verificar si existe o no señal del sensor de  
co2  
  
void setup(void)
```

```

/*-----
ALGORITMOS SELECCIÓN DE DATOS TARJETA SD
-----*/
{
  Serial.begin(9600);          //inicializació del puerto Serial
  pinMode(chipSelect, OUTPUT); //selección del pin para la tarjeta SD card

  if (!SD.begin(chipSelect)) //sentencia if q permite imprimir el mensaje de error
para realizar la acción si la variable k cumple
  {
    k=1;
    error("No hay tarjeta SD.");
  }
  else //sentencia que me permite saber si la tarjeta esta inicializada
  {Serial.println("Tarjeta SD inicializada.");
  k=0;
  }
}
/*-----
CREACIÓN DEL FICHERO DE DATOS PARA LA TARJETA SD
-----*/

// Creamos el fichero de registro
char filename[] = "LOGGER00.CSV"; //se define el nombre del archivo a guardarse
en la tarjeta SD

for (uint8_t i = 0; i < 100; i++) //Bucle que permite grabar la cantidad de datos
indicada (100)
{
  filename[6] = i/10 + '0';
  filename[7] = i%10 + '0';
  if (!SD.exists(filename)) // Si no existe el fichero, lo creamos
  {
    logfile = SD.open(filename, FILE_WRITE); // sentencia que me permite
escribir sobre el archivo previamente creado
    break; // comando break para salir del ciclo
  }
}
if (!logfile)
  error("No se pudo crear el fichero de registro"); //imprimeen la pantalla que no se
puede crear el fichero

```

```
Serial.print("Registrando en: "); Serial.println(filename); //permite saber saber
mediante el puerto serial en donde esta el registro
```

```
Wire.begin(); // me permite conectarme y usar el RTC
if (!RTC.begin()) //sentencia if que me permite saber si funciona o
no el RTC t permite visualizar las demas funciones
```

```
logfile.println("No hay RTC.");
else
```

```
/*-----
ESCRIBIR LOS DATOS AL FICHERO
-----*/
```

```
Serial.println("RTC correcto. Iniciando captura de datos");
```

```
logfile.print("fecha");
logfile.print(" ");
logfile.print("hora");
logfile.print(" ");
logfile.print("Temp");
logfile.print(" ");
logfile.println("CO2");
```

```
}
```

```
/*-----
Algoritmo sensor K30
-----*/
```

```
K30_I2C k30_i2c = K30_I2C(0x7F); // dirección para el sensor k30
```

```
int co2 = 0; //definir variable entera para el sensor de co2
int rc = 1;
```

```
/** definición de variables para visualizar en pantalla OLED*/
String co2Value = "uninit";
String ppmString = " ppm";
```

```
String line1;  
String line2;  
String line3;  
String line4;  
String line5;
```

```
/*Se define la variable para el tiempo de muestreo de toma de datos*/
```

```
//int loopTime = 1000;  
    long t = 0 ; //controla el tiempo de toma de datos  
    long lapso =3000;
```

```
void loop(void)
```

```
    /*-----  
    ALGORITMO PARA LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA (LM35)  
    -----*/  
    {
```

```
    sensorValue= analogRead(sensorPin); // realizar la lectura temperatura
```

```
        int j;          // variable que me permite contar y verificar si llega señal para  
        posteriormente presentar el mensaje de error
```

```
        for(j=0;j<3;j++)
```

```
        {  
            rc = k30_i2c.readCO2(co2);      // lee sensor de CO2  
            if (j ==rc)break;              //termina el bucle
```

```
        }
```

```
        if (rc == 0)          // Sentencia que me permite saber si esta o no  
        funcionando la adquisición de datos del sensor
```

```
        {  
            Serial.print("Succesful reading\n");      // imprime en el puerto serial el mensaje  
            satisfactorio
```

```
            // Serial.print(co2);  
            //Serial.print(" ppm");  
        }
```

```
        else{  
            Serial.print("Failure to read sensor\n");      // imprime en el puerto serial el mensaje  
            de error
```

```

    }
    Serial.println("\n");

    DateTime now;                //lee el reloj
    //int err ;

    temp= sensorValue*500/1024;    //conversión de bits a grados °C

    now = RTC.now();              //RTC activado

    /*-----
    Algoritmo para escribir los datos adquiridos en la memoria SD
    -----*/

    if ((millis()-t)>lapso)

    {

        logfile.print(now.year(), DEC); // seconds since 1/1/1970
        logfile.print("/");
        logfile.print(now.month(), DEC);
        logfile.print("/");
        logfile.print(now.day(), DEC);
        logfile.print(" ");
        logfile.print(now.hour(), DEC);
        logfile.print(":");
        logfile.print(now.minute(), DEC);
        logfile.print(":");
        logfile.print(now.second(), DEC);
        logfile.print(" ");

        logfile.print(temp);
        logfile.print(" ");
        logfile.println(co2);

        if ( count++ > 4 )
        { logfile.flush(); // Para forzar la escritura en la SD
          count = 0 ;    // Cada 6 lecturas
        //}
    }

```

```

    if (eco)
    {
        Serial.print(now.month(),DEC); // seconds since 1/1/1970
        Serial.print('/');
        Serial.print(now.day(), DEC);
        Serial.print(", ");
        Serial.print(now.hour(), DEC);
        Serial.print(':');
        Serial.print(now.minute(), DEC);
        Serial.print(":");
        Serial.print(now.second(), DEC);
        Serial.print(", ");
        Serial.print(count);
        Serial.print(", ");
        Serial.print(temp);
        Serial.print(", ");
        Serial.println(co2);
    }
}

t=millis();
}

/*-----
Algoritmo para escribir los datos adquiridos en la memoria SD
-----*/

// picture loop
u8g.firstPage();
do {
    draw();
} while( u8g.nextPage() );

// rebuild the picture after some delay
//Serial.println(temp);

}

void error(char *str)

```

```

{
  Serial.print("error: ");
  Serial.println(str);

  // while(1);

  // picture loop
  // u8g.firstPage();
  do {
    draw();
  }
  while( u8g.nextPage() );

  // rebuild the picture after some delay
  //Serial.println(temp);
  //delay(loopTime);

}

/*-----
ALGORITMO PARA IMPRIMIR DATOS EN LA PANTALLA OLED
-----*/

void draw(void)
{

  // graphic commands to redraw the complete screen should be placed here
  //Inicializa la pantalla para la escritura

  u8g.setFont(u8g_font_unifont);
  u8g.setPrintPos(2, 20);
  // put your main code here, to run repeatedly:

  // rc = k30_i2c.readCO2(co2);
  //Inicia el código para imprimir en cada línea de la pantalla OLED
  if (rc == 0) {
    line1 = "CO2 :";

    line2 = String(co2) + ppmString;

```

```

line3 = String("TEMP oC:");
line4= String(temp);      }
else {
line1 = String("Fail");
line2 = String("code: " + String(rc));

}

//Sentencia if que me permite saber si está o no la tarjeta SD

if (k==1){
  line5 = String(" NO HAY sd  ");
}

// Comandos que permiten inicializar la posición de cada una de las lineas a escribirse en
la pantalla OLED
u8g.print(line1);
u8g.setPrintPos(45, 20);
u8g.print(line2);
u8g.setPrintPos(2, 40);
u8g.print(line3);
u8g.setPrintPos(70, 40);
u8g.print(line4);
u8g.setPrintPos(2, 60);
u8g.print(line5);

}

// lcd.clear();

```

## Anexo L

### Anexo XII: Especificaciones sensor de CO<sub>2</sub> K30

- Operating Principle Non-dispersive infrared (NDIR)
- • Measured gas Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>)
- • Measurement range CO<sub>2</sub> 0 to 5000 ppm / 0 to 3%vol
- • Accuracy ±30 ppm ±3% of reading
- • Dimensions 57 mm x 51 mm x 14 mm
- • Maintenance Maintenance-free\*
- • Life Expectancy > 15 years
- • Operation temperature range 0 to 50 °C
- • Operation humidity range 0 to 95% RH (non-condensing)
- • Power supply 4.5 to 14.0 V DC
- • Response time(T1/e) 20 sec diffusion time

The K-30 Sensor Module is a maintenance-free transmitter module intended to be built into different host devices that require CO<sub>2</sub> monitoring data.

The compact size, low-power requirements and multiple output options are intended to facilitate integration into analog or microprocessor-based controls and equipment.

This sensor supports I<sup>2</sup>C and serial communication (RS-232) and it can be used in Arduino and Raspberry Pi projects. Sensor ships with unsoldered connectors for I<sup>2</sup>C (or serial comm) and CO<sub>2</sub> calibration switch.

The sensor comes pre-configured for 400ppm auto-calibration (ABC calibration). If you use the sensor in a closed environment (e.g. greenhouse), we can turn off ABC calibration on your sensor, which means that you will manually perform 400ppm calibration whenever needed.

The sensor draws more than 300mA in operation. For Arduino projects you will need an external 5V power supply for your sensor. **DO NOT CONNECT ARDUINO VCC TO YOUR EXTERNAL POWER SUPPLY VCC.**

I<sup>2</sup>C connection: SCL and SDA on K30 are 3V3 pins. Most Arduinos (except Due) have 5V I<sup>2</sup>C bus, so a voltage level converter is needed (refer to figure 2 in Phillips Application Note 97055).

## Anexo M

### Anexo XIII: Datos registrados invernadero de tomates

Fecha	Hora	Temp	CO2
12/10/2020	12:21:25	32	410
12/10/2020	12:31:26	36	407
12/10/2020	12:41:26	38	373
12/10/2020	12:51:27	39	360
12/10/2020	13:01:28	41	358
12/10/2020	13:11:28	41	349
12/10/2020	13:21:29	40	348
12/10/2020	13:31:29	41	349
12/10/2020	13:41:30	38	347
12/10/2020	13:51:30	33	341
12/10/2020	14:01:31	30	337
12/10/2020	14:11:32	29	334
12/10/2020	14:21:32	29	333
12/10/2020	14:31:33	32	333
12/10/2020	14:41:33	32	334
12/10/2020	14:51:34	31	329
12/10/2020	15:01:34	29	335
12/10/2020	15:11:35	31	330
12/10/2020	15:21:35	31	330
12/10/2020	15:31:36	27	331
12/10/2020	15:41:36	25	334
12/10/2020	15:51:37	24	330
12/10/2020	16:01:37	23	334
12/10/2020	16:11:38	22	332
12/10/2020	16:21:38	21	332
12/10/2020	16:31:38	23	331
12/10/2020	16:41:39	22	333
12/10/2020	16:51:39	21	334
12/10/2020	17:01:40	21	337
12/10/2020	17:11:40	20	337
12/10/2020	17:21:41	19	339
12/10/2020	17:31:41	19	342
12/10/2020	17:41:42	17	342

12/10/2020	17:51:42	17	347
12/10/2020	18:01:42	16	350
12/10/2020	18:11:43	15	349
12/10/2020	18:21:43	14	353
12/10/2020	18:31:44	14	348
12/10/2020	18:41:44	15	349
12/10/2020	18:51:45	16	346
12/10/2020	19:01:45	14	351
12/10/2020	19:11:45	14	348
12/10/2020	19:21:46	14	348
12/10/2020	19:31:46	13	348
12/10/2020	19:41:47	15	347
12/10/2020	19:51:47	14	345
12/10/2020	20:01:47	15	344
12/10/2020	20:11:48	13	346
12/10/2020	20:21:48	14	345
12/10/2020	20:31:49	13	343
12/10/2020	20:41:49	15	344
12/10/2020	20:51:49	13	344
12/10/2020	21:01:50	12	346
12/10/2020	21:11:50	14	345
12/10/2020	21:21:51	13	345
12/10/2020	21:31:51	14	342
12/10/2020	21:41:51	11	342
12/10/2020	21:51:52	12	344
12/10/2020	22:01:52	11	345
12/10/2020	22:11:53	11	348
12/10/2020	22:21:53	11	346
12/10/2020	22:31:53	12	349
12/10/2020	22:41:54	11	348
12/10/2020	22:51:54	12	347
12/10/2020	23:01:55	14	348
12/10/2020	23:11:55	10	347
12/10/2020	23:21:55	11	348
12/10/2020	23:31:56	13	353
12/10/2020	23:41:56	12	356
12/10/2020	23:51:57	12	353
13/10/2020	0:01:57	12	349

13/10/2020	0:11:57	12	352
13/10/2020	0:21:58	14	353
13/10/2020	0:31:58	11	350
13/10/2020	0:41:58	13	355
13/10/2020	0:51:59	14	357
13/10/2020	1:01:59	12	353
13/10/2020	1:12:00	13	352
13/10/2020	1:22:00	13	349
13/10/2020	1:32:00	12	350
13/10/2020	1:42:01	11	349
13/10/2020	1:52:01	10	349
13/10/2020	2:02:01	10	350
13/10/2020	2:12:02	12	349
13/10/2020	2:22:02	10	345
13/10/2020	2:32:02	11	347
13/10/2020	2:42:03	12	343
13/10/2020	2:52:03	10	344
13/10/2020	3:02:03	10	344
13/10/2020	3:12:04	9	346
13/10/2020	3:22:04	10	348
13/10/2020	3:32:05	10	345
13/10/2020	3:42:05	9	346
13/10/2020	3:52:06	11	347
13/10/2020	4:02:06	11	349
13/10/2020	4:12:06	12	346
13/10/2020	4:22:07	9	344
13/10/2020	4:32:07	7	345
13/10/2020	4:42:07	11	347
13/10/2020	4:52:08	9	346
13/10/2020	5:02:08	9	347
13/10/2020	5:12:09	12	349
13/10/2020	5:22:09	11	344
13/10/2020	5:32:09	11	346
13/10/2020	5:42:10	8	344
13/10/2020	5:52:10	10	345
13/10/2020	6:02:11	11	341
13/10/2020	6:12:11	8	339
13/10/2020	6:22:11	12	340

13/10/2020	6:32:12	10	336
13/10/2020	6:42:12	9	334
13/10/2020	6:52:13	13	329
13/10/2020	7:02:13	10	326
13/10/2020	7:12:13	12	327
13/10/2020	7:22:14	13	323
13/10/2020	7:32:14	17	317
13/10/2020	7:42:15	18	323
13/10/2020	7:52:15	16	328
13/10/2020	8:02:16	16	329
13/10/2020	8:12:16	17	323
13/10/2020	8:22:16	17	326
13/10/2020	8:32:17	19	322
13/10/2020	8:42:17	18	321
13/10/2020	8:52:18	20	317
13/10/2020	9:02:18	20	321
13/10/2020	9:12:19	21	315
13/10/2020	9:22:19	21	318
13/10/2020	9:32:20	24	320
13/10/2020	9:42:20	25	319
13/10/2020	9:52:20	27	321
13/10/2020	10:02:21	28	324
13/10/2020	10:12:21	30	326
13/10/2020	10:22:22	31	327
13/10/2020	10:32:22	31	327
13/10/2020	10:42:23	32	328
13/10/2020	10:52:23	28	328
13/10/2020	11:02:24	30	328
13/10/2020	11:12:24	33	328
13/10/2020	11:22:24	34	329
13/10/2020	11:32:25	34	329
13/10/2020	11:42:25	34	329
13/10/2020	11:52:26	31	328
13/10/2020	12:02:26	30	330
13/10/2020	12:12:27	31	328
13/10/2020	12:22:27	33	329
13/10/2020	12:32:28	34	333
13/10/2020	12:42:28	35	332

13/10/2020	12:52:29	36	329
13/10/2020	13:02:29	38	336
13/10/2020	13:12:30	33	333
13/10/2020	13:22:31	30	334
13/10/2020	13:32:31	33	328
13/10/2020	13:42:32	30	334
13/10/2020	13:52:32	28	328
13/10/2020	14:02:33	27	330
13/10/2020	14:12:33	26	332
13/10/2020	14:22:33	24	325
13/10/2020	14:32:34	26	323
13/10/2020	14:42:34	25	323
13/10/2020	14:52:35	27	326
13/10/2020	15:02:35	25	325
13/10/2020	15:12:36	24	323
13/10/2020	15:22:36	24	323
13/10/2020	15:32:37	22	326
13/10/2020	15:42:37	22	327
13/10/2020	15:52:38	21	324
13/10/2020	16:02:38	20	324
13/10/2020	16:12:39	21	327
13/10/2020	16:22:39	20	327
13/10/2020	16:32:39	19	326
13/10/2020	16:42:40	20	322
13/10/2020	16:52:40	20	322
13/10/2020	17:02:41	19	326
13/10/2020	17:12:41	19	325
13/10/2020	17:22:42	19	328
13/10/2020	17:32:42	19	331
13/10/2020	17:42:42	18	335
13/10/2020	17:52:43	18	337
13/10/2020	18:02:43	18	338
13/10/2020	18:12:44	19	342
13/10/2020	18:22:44	17	343
13/10/2020	18:32:45	16	343
13/10/2020	18:42:45	14	344
13/10/2020	18:52:45	16	343
13/10/2020	19:02:46	15	343

13/10/2020	19:12:46	16	343
13/10/2020	19:22:46	13	344
13/10/2020	19:32:47	15	343
13/10/2020	19:42:47	13	345
13/10/2020	19:52:48	17	346
13/10/2020	20:02:48	14	345
13/10/2020	20:12:48	15	345
13/10/2020	20:22:49	14	341
13/10/2020	20:32:49	15	341
13/10/2020	20:42:50	16	342
13/10/2020	20:52:50	15	343
13/10/2020	21:02:50	16	341
13/10/2020	21:12:51	15	339
13/10/2020	21:22:51	16	343
13/10/2020	21:32:52	15	346
13/10/2020	21:42:52	14	347
13/10/2020	21:52:52	15	344
13/10/2020	22:02:53	15	344
13/10/2020	22:12:53	15	347
13/10/2020	22:22:54	14	344
13/10/2020	22:32:54	13	347
13/10/2020	22:42:54	14	346
13/10/2020	22:52:55	15	347
13/10/2020	23:02:55	16	346
13/10/2020	23:12:55	15	350
13/10/2020	23:22:56	15	350
13/10/2020	23:32:56	13	353
13/10/2020	23:42:56	15	355
13/10/2020	23:52:57	14	357
14/10/2020	0:02:57	13	356
14/10/2020	0:12:57	13	357
14/10/2020	0:22:58	13	357
14/10/2020	0:32:58	13	356
14/10/2020	0:42:59	15	355
14/10/2020	0:52:59	14	352
14/10/2020	1:02:59	16	351
14/10/2020	1:13:00	16	349
14/10/2020	1:23:00	15	350

14/10/2020	1:33:00	14	350
14/10/2020	1:43:01	14	352
14/10/2020	1:53:01	13	354
14/10/2020	2:03:02	14	356
14/10/2020	2:13:02	14	358
14/10/2020	2:23:02	14	359
14/10/2020	2:33:03	12	360
14/10/2020	2:43:03	11	365
14/10/2020	2:53:04	12	367
14/10/2020	3:03:04	13	363
14/10/2020	3:13:04	11	359
14/10/2020	3:23:05	11	357
14/10/2020	3:33:05	12	359
14/10/2020	3:43:06	12	359
14/10/2020	3:53:06	11	358
14/10/2020	4:03:06	11	357
14/10/2020	4:13:07	10	393
14/10/2020	4:23:07	13	393
14/10/2020	4:33:08	12	398
14/10/2020	4:43:08	11	390
14/10/2020	4:53:08	10	392
14/10/2020	5:03:09	12	391
14/10/2020	5:13:09	12	386
14/10/2020	5:23:10	10	382
14/10/2020	5:33:10	11	381
14/10/2020	5:43:10	10	379
14/10/2020	5:53:11	10	380
14/10/2020	6:03:11	9	380
14/10/2020	6:13:11	11	379
14/10/2020	6:23:12	11	378
14/10/2020	6:33:12	12	371
14/10/2020	6:43:13	10	370
14/10/2020	6:53:13	13	363
14/10/2020	7:03:13	13	371
14/10/2020	7:13:14	12	374
14/10/2020	7:23:14	13	368
14/10/2020	7:33:15	17	366
14/10/2020	7:43:15	17	360

14/10/2020	7:53:16	20	361
14/10/2020	8:03:16	18	355
14/10/2020	8:13:17	21	361
14/10/2020	8:23:17	20	359
14/10/2020	8:33:17	20	352
14/10/2020	8:43:18	22	352
14/10/2020	8:53:18	23	360
14/10/2020	9:03:19	24	350
14/10/2020	9:13:19	26	358
14/10/2020	9:23:19	25	355
14/10/2020	9:33:20	27	357
14/10/2020	9:43:20	27	357
14/10/2020	9:53:21	29	356
14/10/2020	10:03:21	30	358
14/10/2020	10:13:22	29	357
14/10/2020	10:23:22	31	352
14/10/2020	10:33:23	31	355
14/10/2020	10:43:23	33	356
14/10/2020	10:53:24	33	358
14/10/2020	11:03:25	34	358
14/10/2020	11:13:25	35	360
14/10/2020	11:23:25	35	360
14/10/2020	11:33:26	37	363
14/10/2020	11:43:27	36	367
14/10/2020	11:53:27	36	361
14/10/2020	12:03:28	33	362
14/10/2020	12:13:28	31	359
14/10/2020	12:23:29	33	361
14/10/2020	12:33:29	31	361
14/10/2020	12:43:30	29	361
14/10/2020	12:53:30	29	361
14/10/2020	13:03:31	29	357
14/10/2020	13:13:31	27	360
14/10/2020	13:23:32	26	361
14/10/2020	13:33:32	27	357
14/10/2020	13:43:33	26	358
14/10/2020	13:53:33	24	359
14/10/2020	14:03:33	23	359

## Anexo N

### Anexo XIV: Datos registrados en el invernadero de hongos

#### UTN

Fecha	Hora	Temp	CO2
30/10/2020	10:32:42	20	386
30/10/2020	10:42:43	19	385
30/10/2020	10:52:43	21	387
30/10/2020	11:02:43	20	391
30/10/2020	11:12:44	20	387
30/10/2020	11:22:44	20	390
30/10/2020	11:32:45	19	382
30/10/2020	11:42:45	20	383
30/10/2020	11:52:46	22	388
30/10/2020	12:02:46	20	395
30/10/2020	12:12:47	20	375
30/10/2020	12:22:47	18	372
30/10/2020	12:32:47	18	370
30/10/2020	12:42:48	18	370
30/10/2020	12:52:48	18	370
30/10/2020	13:02:49	18	368
30/10/2020	13:12:49	19	372
30/10/2020	13:22:50	19	368
30/10/2020	13:32:51	18	370
30/10/2020	13:42:51	20	366
30/10/2020	13:52:51	20	375
30/10/2020	14:02:52	20	380
30/10/2020	14:12:52	20	383
30/10/2020	14:22:53	20	383
30/10/2020	14:32:53	20	384
30/10/2020	14:42:54	20	376
30/10/2020	14:52:54	20	375
30/10/2020	15:02:54	20	384
30/10/2020	15:12:55	20	381
30/10/2020	15:22:55	20	386

30/10/2020	15:32:56	20	391
30/10/2020	15:42:56	20	390
30/10/2020	15:52:57	21	384
30/10/2020	16:02:57	20	382
30/10/2020	16:12:58	20	379
30/10/2020	16:22:58	20	375
30/10/2020	16:32:59	20	372
30/10/2020	16:42:59	20	370
30/10/2020	16:53:00	20	369
30/10/2020	17:03:00	20	372
30/10/2020	17:13:00	20	371
30/10/2020	17:23:01	20	374
30/10/2020	17:33:01	19	385
30/10/2020	17:43:02	20	380
30/10/2020	17:53:02	19	380
30/10/2020	18:03:03	19	379
30/10/2020	18:13:03	19	382
30/10/2020	18:23:04	18	378
30/10/2020	18:33:04	19	378
30/10/2020	18:43:05	18	377
30/10/2020	18:53:05	18	376
30/10/2020	19:03:05	18	377
30/10/2020	19:13:06	19	380
30/10/2020	19:23:06	18	381
30/10/2020	19:33:07	18	383
30/10/2020	19:43:07	19	380
30/10/2020	19:53:08	18	385
30/10/2020	20:03:08	18	388
30/10/2020	20:13:09	18	394
30/10/2020	20:23:09	19	394
30/10/2020	20:33:10	18	396
30/10/2020	20:43:10	18	394
30/10/2020	20:53:11	17	390
30/10/2020	21:03:11	18	388
30/10/2020	21:13:11	18	385
30/10/2020	21:23:12	18	389
30/10/2020	21:33:12	17	383
30/10/2020	21:43:13	19	377

30/10/2020	21:53:13	17	378
30/10/2020	22:03:14	18	381
30/10/2020	22:13:14	20	378
30/10/2020	22:23:15	18	383
30/10/2020	22:33:15	18	386
30/10/2020	22:43:16	18	390
30/10/2020	22:53:16	18	384
30/10/2020	23:03:17	18	380
30/10/2020	23:13:17	18	380
30/10/2020	23:23:17	18	382
30/10/2020	23:33:18	18	387
30/10/2020	23:43:18	20	380
30/10/2020	23:53:19	17	384
31/10/2020	0:03:19	18	389
31/10/2020	0:13:20	16	385
31/10/2020	0:23:20	18	381
31/10/2020	0:33:21	18	381
31/10/2020	0:43:21	18	382
31/10/2020	0:53:22	17	382
31/10/2020	1:03:22	18	383
31/10/2020	1:13:22	18	386
31/10/2020	1:23:23	17	387
31/10/2020	1:33:23	18	393
31/10/2020	1:43:24	19	394
31/10/2020	1:53:24	17	395
31/10/2020	2:03:25	17	401
31/10/2020	2:13:25	18	403
31/10/2020	2:23:26	18	396
31/10/2020	2:33:26	17	394
31/10/2020	2:43:26	18	397
31/10/2020	2:53:27	17	401
31/10/2020	3:03:27	17	404
31/10/2020	3:13:28	18	402
31/10/2020	3:23:28	17	403
31/10/2020	3:33:29	17	404
31/10/2020	3:43:29	18	404
31/10/2020	3:53:30	16	404
31/10/2020	4:03:30	16	405

31/10/2020	4:13:31	15	411
31/10/2020	4:23:31	17	415
31/10/2020	4:33:31	17	415
31/10/2020	4:43:32	17	408
31/10/2020	4:53:32	17	409
31/10/2020	5:03:33	16	402
31/10/2020	5:13:33	16	406
31/10/2020	5:23:34	15	404
31/10/2020	5:33:34	15	404
31/10/2020	5:43:35	15	403
31/10/2020	5:53:35	15	403
31/10/2020	6:03:36	14	407
31/10/2020	6:13:36	15	407
31/10/2020	6:23:37	14	401
31/10/2020	6:33:37	14	399
31/10/2020	6:43:37	16	398
31/10/2020	6:53:38	16	396
31/10/2020	7:03:38	15	395
31/10/2020	7:13:39	15	391
31/10/2020	7:23:39	15	387
31/10/2020	7:33:40	15	386
31/10/2020	7:43:40	16	388
31/10/2020	7:53:41	16	392
31/10/2020	8:03:41	17	394
31/10/2020	8:13:42	15	393
31/10/2020	8:23:42	17	399
31/10/2020	8:33:42	17	411
31/10/2020	8:43:43	17	410
31/10/2020	8:53:43	17	417
31/10/2020	9:03:44	18	423
31/10/2020	9:13:44	18	431
31/10/2020	9:23:44	18	425
31/10/2020	9:33:45	18	423
31/10/2020	9:43:45	19	428
31/10/2020	9:53:46	19	429
31/10/2020	10:03:46	18	429
31/10/2020	10:13:47	20	434
31/10/2020	10:23:47	21	439

31/10/2020	10:33:48	19	402
31/10/2020	10:43:48	20	409
31/10/2020	10:53:49	20	416
31/10/2020	11:03:49	19	417
31/10/2020	11:13:49	20	419
31/10/2020	11:23:50	20	423
31/10/2020	11:33:50	20	415
31/10/2020	11:43:51	20	416
31/10/2020	11:53:51	22	410
31/10/2020	12:03:52	21	412
31/10/2020	12:13:52	19	377
31/10/2020	12:23:53	20	373
31/10/2020	12:33:53	19	369
31/10/2020	12:43:53	19	368
31/10/2020	12:53:54	18	366
31/10/2020	13:03:55	18	366
31/10/2020	13:13:55	18	365
31/10/2020	13:23:55	18	365
31/10/2020	13:33:56	18	365
31/10/2020	13:43:56	19	365
31/10/2020	13:53:57	18	368
31/10/2020	14:03:57	18	377
31/10/2020	14:13:58	19	379
31/10/2020	14:23:58	20	384
31/10/2020	14:33:59	20	383
31/10/2020	14:43:59	19	379
31/10/2020	14:53:59	20	382
31/10/2020	15:04:00	20	380
31/10/2020	15:14:01	18	383
31/10/2020	15:24:01	20	381
31/10/2020	15:34:01	20	376
31/10/2020	15:44:02	19	373
31/10/2020	15:54:02	20	372
31/10/2020	16:04:03	19	371
31/10/2020	16:14:03	20	370
31/10/2020	16:24:04	19	371
31/10/2020	16:34:04	19	371
31/10/2020	16:44:05	20	373

31/10/2020	16:54:05	19	372
31/10/2020	17:04:05	19	371
31/10/2020	17:14:06	19	370
31/10/2020	17:24:06	18	370
31/10/2020	17:34:07	18	377
31/10/2020	17:44:07	18	374
31/10/2020	17:54:08	18	373
31/10/2020	18:04:08	18	376
31/10/2020	18:14:09	18	377
31/10/2020	18:24:09	18	377
31/10/2020	18:34:10	17	379
31/10/2020	18:44:10	18	375
31/10/2020	18:54:10	17	376
31/10/2020	19:04:11	18	377
31/10/2020	19:14:11	17	375
31/10/2020	19:24:12	17	376
31/10/2020	19:34:12	17	375
31/10/2020	19:44:13	18	379
31/10/2020	19:54:13	18	380
31/10/2020	20:04:14	18	382
31/10/2020	20:14:14	18	381
31/10/2020	20:24:15	19	383
31/10/2020	20:34:15	17	383
31/10/2020	20:44:16	17	384
31/10/2020	20:54:16	18	389
31/10/2020	21:04:16	18	392
31/10/2020	21:14:17	18	391
31/10/2020	21:24:17	18	390
31/10/2020	21:34:18	18	384
31/10/2020	21:44:18	18	383
31/10/2020	21:54:19	18	383
31/10/2020	22:04:19	17	384
31/10/2020	22:14:20	19	384
31/10/2020	22:24:20	17	394
31/10/2020	22:34:20	18	387
31/10/2020	22:44:21	18	390
31/10/2020	22:54:21	18	388
31/10/2020	23:04:22	19	386

31/10/2020	23:14:22	17	383
31/10/2020	23:24:23	17	384
31/10/2020	23:34:23	18	386
31/10/2020	23:44:24	17	392
31/10/2020	23:54:24	18	393
1/11/2020	0:04:25	17	394
1/11/2020	0:14:25	16	396
1/11/2020	0:24:26	18	399
1/11/2020	0:34:26	18	393
1/11/2020	0:44:26	17	391
1/11/2020	0:54:27	18	392
1/11/2020	1:04:27	18	394
1/11/2020	1:14:28	18	390
1/11/2020	1:24:28	18	383
1/11/2020	1:34:29	17	384
1/11/2020	1:44:29	17	384
1/11/2020	1:54:30	17	385
1/11/2020	2:04:30	17	388
1/11/2020	2:14:30	18	381
1/11/2020	2:24:31	17	384
1/11/2020	2:34:31	19	386
1/11/2020	2:44:32	17	389
1/11/2020	2:54:32	19	385
1/11/2020	3:04:33	18	382
1/11/2020	3:14:33	16	384
1/11/2020	3:24:34	18	384
1/11/2020	3:34:34	17	385
1/11/2020	3:44:35	17	383
1/11/2020	3:54:35	16	386
1/11/2020	4:04:35	17	394
1/11/2020	4:14:36	17	396
1/11/2020	4:24:36	16	390
1/11/2020	4:34:37	17	388
1/11/2020	4:44:37	18	393
1/11/2020	4:54:38	16	398
1/11/2020	5:04:38	16	397
1/11/2020	5:14:39	17	402
1/11/2020	5:24:39	17	404

1/11/2020	5:34:39	17	410
1/11/2020	5:44:40	16	411
1/11/2020	5:54:40	17	408
1/11/2020	6:04:41	16	406
1/11/2020	6:14:41	16	409
1/11/2020	6:24:42	16	415
1/11/2020	6:34:42	17	417
1/11/2020	6:44:43	16	418
1/11/2020	6:54:43	16	416
1/11/2020	7:04:43	16	414
1/11/2020	7:14:44	17	412
1/11/2020	7:24:44	16	414
1/11/2020	7:34:45	16	411
1/11/2020	7:44:45	16	414
1/11/2020	7:54:46	17	414
1/11/2020	8:04:46	17	399
1/11/2020	8:14:47	17	399
1/11/2020	8:24:47	17	399
1/11/2020	8:34:47	17	407
1/11/2020	8:44:48	19	410
1/11/2020	8:54:48	18	408
1/11/2020	9:04:49	17	415
1/11/2020	9:14:49	18	424
1/11/2020	9:24:49	18	441
1/11/2020	9:34:50	18	442
1/11/2020	9:44:50	19	445
1/11/2020	9:54:51	18	435
1/11/2020	10:04:51	19	446
1/11/2020	10:14:52	19	442
1/11/2020	10:24:52	19	437
1/11/2020	10:34:52	19	397
1/11/2020	10:44:53	19	412
1/11/2020	10:54:53	19	417
1/11/2020	11:04:54	20	425
1/11/2020	11:14:54	20	425
1/11/2020	11:24:55	22	422
1/11/2020	11:34:55	21	425
1/11/2020	11:44:56	21	423

1/11/2020	11:54:56	20	421
1/11/2020	12:04:57	21	407
1/11/2020	12:14:57	20	382
1/11/2020	12:24:57	19	377
1/11/2020	12:34:58	19	373
1/11/2020	12:44:58	19	371
1/11/2020	12:54:59	19	366
1/11/2020	13:04:59	18	367
1/11/2020	13:15:00	19	368
1/11/2020	13:25:00	19	366
1/11/2020	13:35:01	18	368
1/11/2020	13:45:01	19	369
1/11/2020	13:55:01	19	379
1/11/2020	14:05:02	19	381
1/11/2020	14:15:02	19	378
1/11/2020	14:25:03	20	382
1/11/2020	14:35:03	19	387
1/11/2020	14:45:04	20	392
1/11/2020	14:55:04	20	386
1/11/2020	15:05:05	20	389
1/11/2020	15:15:05	20	384
1/11/2020	15:25:06	20	389
1/11/2020	15:35:06	20	384
1/11/2020	15:45:07	21	379
1/11/2020	15:55:07	20	378
1/11/2020	16:05:07	20	376
1/11/2020	16:15:08	19	371
1/11/2020	16:25:08	20	376
1/11/2020	16:35:09	20	375
1/11/2020	16:45:09	20	372
1/11/2020	16:55:10	20	371
1/11/2020	17:05:10	19	372
1/11/2020	17:15:10	19	372
1/11/2020	17:25:11	19	372
1/11/2020	17:35:11	19	374
1/11/2020	17:45:12	19	376
1/11/2020	17:55:12	18	375
1/11/2020	18:05:13	18	377

1/11/2020	18:15:13	18	380
1/11/2020	18:25:14	18	380
1/11/2020	18:35:14	19	381
1/11/2020	18:45:15	18	383
1/11/2020	18:55:15	18	385
1/11/2020	19:05:16	19	387
1/11/2020	19:15:16	18	389
1/11/2020	19:25:16	19	390
1/11/2020	19:35:17	17	387
1/11/2020	19:45:17	18	387
1/11/2020	19:55:18	17	388
1/11/2020	20:05:18	17	389
1/11/2020	20:15:19	16	387
1/11/2020	20:25:19	17	392
1/11/2020	20:35:20	17	399
1/11/2020	20:45:20	18	404
1/11/2020	20:55:20	18	408
1/11/2020	21:05:21	17	408
1/11/2020	21:15:21	17	408
1/11/2020	21:25:22	18	408
1/11/2020	21:35:22	17	411
1/11/2020	21:45:23	17	401
1/11/2020	21:55:23	17	396
1/11/2020	22:05:24	17	390
1/11/2020	22:15:24	17	392
1/11/2020	22:25:25	17	397
1/11/2020	22:35:25	16	397
1/11/2020	22:45:25	17	388
1/11/2020	22:55:26	17	387
1/11/2020	23:05:26	19	391
1/11/2020	23:15:27	17	403
1/11/2020	23:25:27	17	405
1/11/2020	23:35:28	18	403
1/11/2020	23:45:28	16	397
1/11/2020	23:55:29	16	395
2/11/2020	0:05:29	17	391
2/11/2020	0:15:29	16	390
2/11/2020	0:25:30	16	388

2/11/2020	0:35:30	15	388
2/11/2020	0:45:31	14	387
2/11/2020	0:55:31	15	387
2/11/2020	1:05:32	15	386
2/11/2020	1:15:32	15	384
2/11/2020	1:25:33	14	384
2/11/2020	1:35:33	15	381
2/11/2020	1:45:34	15	382
2/11/2020	1:55:34	15	383
2/11/2020	2:05:35	15	383
2/11/2020	2:15:35	12	381
2/11/2020	2:25:35	14	382
2/11/2020	2:35:36	15	382
2/11/2020	2:45:36	13	383
2/11/2020	2:55:37	14	384
2/11/2020	3:05:37	14	383
2/11/2020	3:15:38	13	383
2/11/2020	3:25:38	15	382
2/11/2020	3:35:39	13	384
2/11/2020	3:45:39	14	383
2/11/2020	3:55:40	15	383
2/11/2020	4:05:40	12	385
2/11/2020	4:15:40	13	385
2/11/2020	4:25:41	14	385
2/11/2020	4:35:41	13	385
2/11/2020	4:45:42	14	384
2/11/2020	4:55:42	13	384
2/11/2020	5:05:42	13	384
2/11/2020	5:15:43	13	383
2/11/2020	5:25:43	13	384
2/11/2020	5:35:44	14	385
2/11/2020	5:45:44	13	386
2/11/2020	5:55:44	13	384
2/11/2020	6:05:45	13	384
2/11/2020	6:15:45	12	384
2/11/2020	6:25:45	13	387
2/11/2020	6:35:46	13	387
2/11/2020	6:45:46	13	384

2/11/2020	6:55:46	14	383
2/11/2020	7:05:47	13	381
2/11/2020	7:15:47	13	381
2/11/2020	7:25:48	12	384
2/11/2020	7:35:48	15	396
2/11/2020	7:45:48	16	408
2/11/2020	7:55:49	14	409
2/11/2020	8:05:49	15	396
2/11/2020	8:15:50	16	394
2/11/2020	8:25:50	16	402
2/11/2020	8:35:50	16	407
2/11/2020	8:45:51	15	416
2/11/2020	8:55:51	17	423
2/11/2020	9:05:52	16	425
2/11/2020	9:15:52	17	433
2/11/2020	9:25:53	16	435
2/11/2020	9:35:53	17	434
2/11/2020	9:45:54	18	437
2/11/2020	9:55:54	19	436
2/11/2020	10:05:54	18	434
2/11/2020	10:15:55	18	431
2/11/2020	10:25:55	18	431
2/11/2020	10:35:56	19	396
2/11/2020	10:45:56	19	404
2/11/2020	10:55:57	19	412
2/11/2020	11:05:57	19	411
2/11/2020	11:15:58	19	417
2/11/2020	11:25:58	20	420
2/11/2020	11:35:58	19	424
2/11/2020	11:45:59	20	415
2/11/2020	11:56:00	20	412
2/11/2020	12:06:00	19	392
2/11/2020	12:16:00	19	378
2/11/2020	12:26:01	18	371
2/11/2020	12:36:01	19	370
2/11/2020	12:46:02	18	365
2/11/2020	12:56:02	18	367
2/11/2020	13:06:03	16	368

2/11/2020	13:16:03	20	365
2/11/2020	13:26:04	18	366
2/11/2020	13:36:04	19	366
2/11/2020	13:46:04	18	366
2/11/2020	13:56:05	19	376
2/11/2020	14:06:05	19	385
2/11/2020	14:16:06	20	390
2/11/2020	14:26:06	20	397
2/11/2020	14:36:07	19	399
2/11/2020	14:46:07	20	397
2/11/2020	14:56:08	19	394
2/11/2020	15:06:08	19	389
2/11/2020	15:16:09	20	393
2/11/2020	15:26:09	19	394
2/11/2020	15:36:09	19	396
2/11/2020	15:46:10	19	397
2/11/2020	15:56:10	20	399
2/11/2020	16:06:11	20	393
2/11/2020	16:16:11	19	389
2/11/2020	16:26:12	19	386
2/11/2020	16:36:12	20	383
2/11/2020	16:46:13	19	380
2/11/2020	16:56:13	19	378
2/11/2020	17:06:13	20	377
2/11/2020	17:16:14	18	374
2/11/2020	17:26:14	19	373
2/11/2020	17:36:15	18	377
2/11/2020	17:46:15	18	374
2/11/2020	17:56:16	18	375
2/11/2020	18:06:16	18	377
2/11/2020	18:16:17	16	381
2/11/2020	18:26:17	17	378
2/11/2020	18:36:17	17	382
2/11/2020	18:46:18	17	379
2/11/2020	18:56:18	17	378
2/11/2020	19:06:19	16	373
2/11/2020	19:16:19	18	374
2/11/2020	19:26:20	18	375

2/11/2020	19:36:20	18	377
2/11/2020	19:46:21	17	378
2/11/2020	19:56:21	17	377
2/11/2020	20:06:22	18	379
2/11/2020	20:16:22	17	381
2/11/2020	20:26:23	17	380
2/11/2020	20:36:23	17	380
2/11/2020	20:46:23	16	384
2/11/2020	20:56:24	17	387
2/11/2020	21:06:24	16	390
2/11/2020	21:16:25	18	391
2/11/2020	21:26:25	16	393
2/11/2020	21:36:26	16	395
2/11/2020	21:46:26	16	393
2/11/2020	21:56:27	16	390
2/11/2020	22:06:27	16	385
2/11/2020	22:16:27	17	379
2/11/2020	22:26:28	16	384
2/11/2020	22:36:29	17	383
2/11/2020	22:46:29	17	387
2/11/2020	22:56:29	17	398
2/11/2020	23:06:30	18	391
2/11/2020	23:16:30	17	395
2/11/2020	23:26:31	15	392
2/11/2020	23:36:32	16	392
2/11/2020	23:46:32	15	385
2/11/2020	23:56:32	16	382
3/11/2020	0:06:33	16	382
3/11/2020	0:16:33	15	381
3/11/2020	0:26:34	15	379
3/11/2020	0:36:34	15	380
3/11/2020	0:46:35	13	378
3/11/2020	0:56:36	15	379
3/11/2020	1:06:36	13	379
3/11/2020	1:16:37	15	377
3/11/2020	1:26:37	14	378
3/11/2020	1:36:38	14	378
3/11/2020	1:46:38	14	377

3/11/2020	1:56:38	13	377
3/11/2020	2:06:39	13	378
3/11/2020	2:16:39	13	378
3/11/2020	2:26:39	11	377
3/11/2020	2:36:40	12	378
3/11/2020	2:46:40	13	376
3/11/2020	2:56:41	13	377
3/11/2020	3:06:41	14	378
3/11/2020	3:16:41	12	379
3/11/2020	3:26:42	12	378
3/11/2020	3:36:42	15	376
3/11/2020	3:46:43	14	374
3/11/2020	3:56:43	13	375
3/11/2020	4:06:43	12	373
3/11/2020	4:16:44	12	377
3/11/2020	4:26:44	12	377
3/11/2020	4:36:44	12	376
3/11/2020	4:46:45	11	375
3/11/2020	4:56:45	11	377
3/11/2020	5:06:46	12	377
3/11/2020	5:16:46	11	377
3/11/2020	5:26:46	11	376
3/11/2020	5:36:47	11	376
3/11/2020	5:46:47	11	376
3/11/2020	5:56:48	11	376
3/11/2020	6:06:48	12	375
3/11/2020	6:16:48	13	376
3/11/2020	6:26:49	12	374
3/11/2020	6:36:49	10	373
3/11/2020	6:46:50	12	373
3/11/2020	6:56:50	10	373
3/11/2020	7:06:50	13	373
3/11/2020	7:16:51	13	371
3/11/2020	7:26:51	13	373
3/11/2020	7:36:52	13	374
3/11/2020	7:46:52	13	379
3/11/2020	7:56:52	13	386
3/11/2020	8:06:53	14	379

3/11/2020	8:16:53	13	390
3/11/2020	8:26:53	15	401
3/11/2020	8:36:54	15	408
3/11/2020	8:46:54	16	410
3/11/2020	8:56:55	15	418
3/11/2020	9:06:55	15	424
3/11/2020	9:16:56	16	426
3/11/2020	9:26:56	16	435
3/11/2020	9:36:57	17	437
3/11/2020	9:46:57	17	443
3/11/2020	9:56:57	17	441
3/11/2020	10:06:58	17	429
3/11/2020	10:16:58	18	439
3/11/2020	10:26:59	18	440
3/11/2020	10:36:59	18	405
3/11/2020	10:46:59	17	406
3/11/2020	10:57:00	18	408
3/11/2020	11:07:00	18	409
3/11/2020	11:17:01	18	411
3/11/2020	11:27:01	18	416
3/11/2020	11:37:02	20	416
3/11/2020	11:47:02	20	418
3/11/2020	11:57:02	19	415
3/11/2020	12:07:03	19	390
3/11/2020	12:17:03	19	373
3/11/2020	12:27:04	17	371
3/11/2020	12:37:04	17	371
3/11/2020	12:47:05	19	369
3/11/2020	12:57:05	17	366
3/11/2020	13:07:06	17	364
3/11/2020	13:17:06	17	364
3/11/2020	13:27:07	17	364
3/11/2020	13:37:07	16	364
3/11/2020	13:47:07	18	365
3/11/2020	13:57:08	19	375
3/11/2020	14:07:08	19	385
3/11/2020	14:17:09	18	388
3/11/2020	14:27:09	19	389

3/11/2020	14:37:10	17	394
3/11/2020	14:47:10	19	396
3/11/2020	14:57:11	19	392
3/11/2020	15:07:11	19	395
3/11/2020	15:17:11	19	399
3/11/2020	15:27:12	19	401
3/11/2020	15:37:12	19	402
3/11/2020	15:47:13	20	401
3/11/2020	15:57:13	19	402
3/11/2020	16:07:14	19	398
3/11/2020	16:17:14	19	401
3/11/2020	16:27:15	19	395
3/11/2020	16:37:15	19	391
3/11/2020	16:47:15	19	390
3/11/2020	16:57:16	19	384
3/11/2020	17:07:16	19	383
3/11/2020	17:17:17	19	380
3/11/2020	17:27:17	19	381
3/11/2020	17:37:18	17	378
3/11/2020	17:47:18	18	382
3/11/2020	17:57:19	18	382
3/11/2020	18:07:19	17	382
3/11/2020	18:17:20	17	382
3/11/2020	18:27:20	17	383
3/11/2020	18:37:21	16	386
3/11/2020	18:47:21	16	385
3/11/2020	18:57:21	17	386
3/11/2020	19:07:22	17	383
3/11/2020	19:17:22	16	387
3/11/2020	19:27:23	17	392
3/11/2020	19:37:23	17	396
3/11/2020	19:47:24	17	397
3/11/2020	19:57:24	16	389
3/11/2020	20:07:25	18	384
3/11/2020	20:17:25	17	393
3/11/2020	20:27:26	17	389
3/11/2020	20:37:26	15	386
3/11/2020	20:47:26	16	381

3/11/2020	20:57:27	16	379
3/11/2020	21:07:27	15	381
3/11/2020	21:17:28	16	383
3/11/2020	21:27:28	16	383
3/11/2020	21:37:29	15	383
3/11/2020	21:47:29	14	383
3/11/2020	21:57:30	15	383
3/11/2020	22:07:30	14	381
3/11/2020	22:17:31	15	379
3/11/2020	22:27:31	14	380
3/11/2020	22:37:31	13	379
3/11/2020	22:47:32	14	377
3/11/2020	22:57:32	14	377
3/11/2020	23:07:33	15	380
3/11/2020	23:17:33	13	380
3/11/2020	23:27:33	13	379
3/11/2020	23:37:34	13	377
3/11/2020	23:47:34	13	375
3/11/2020	23:57:35	13	374
4/11/2020	0:07:35	13	375
4/11/2020	0:17:35	15	373
4/11/2020	0:27:36	14	375
4/11/2020	0:37:36	13	377
4/11/2020	0:47:37	14	377
4/11/2020	0:57:37	13	377
4/11/2020	1:07:37	13	378
4/11/2020	1:17:38	14	377
4/11/2020	1:27:38	13	377
4/11/2020	1:37:39	13	376
4/11/2020	1:47:39	11	374
4/11/2020	1:57:39	13	375
4/11/2020	2:07:40	13	373
4/11/2020	2:17:40	13	372
4/11/2020	2:27:40	12	371
4/11/2020	2:37:41	11	368
4/11/2020	2:47:41	12	371
4/11/2020	2:57:41	12	372
4/11/2020	3:07:42	12	372

4/11/2020	3:17:42	12	373
4/11/2020	3:27:43	11	371
4/11/2020	3:37:43	11	373
4/11/2020	3:47:43	12	373
4/11/2020	3:57:44	11	370
4/11/2020	4:07:44	12	370
4/11/2020	4:17:44	10	369
4/11/2020	4:27:45	11	371
4/11/2020	4:37:45	11	369
4/11/2020	4:47:45	11	370
4/11/2020	4:57:46	12	371
4/11/2020	5:07:46	12	373
4/11/2020	5:17:47	11	372
4/11/2020	5:27:47	11	373
4/11/2020	5:37:47	9	371
4/11/2020	5:47:48	11	370
4/11/2020	5:57:48	9	372
4/11/2020	6:07:49	9	371
4/11/2020	6:17:49	11	369
4/11/2020	6:27:49	10	370
4/11/2020	6:37:50	10	370
4/11/2020	6:47:50	11	369
4/11/2020	6:57:51	10	369
4/11/2020	7:07:51	11	370
4/11/2020	7:17:51	11	372
4/11/2020	7:27:52	12	372
4/11/2020	7:37:52	13	380
4/11/2020	7:47:53	13	389
4/11/2020	7:57:53	12	397
4/11/2020	8:07:53	14	386
4/11/2020	8:17:54	14	402
4/11/2020	8:27:54	14	413
4/11/2020	8:37:55	14	424
4/11/2020	8:47:55	14	429
4/11/2020	8:57:55	15	431
4/11/2020	9:07:56	16	434
4/11/2020	9:17:56	15	437
4/11/2020	9:27:57	16	437

4/11/2020	9:37:57	15	434
4/11/2020	9:47:58	17	432
4/11/2020	9:57:58	16	434
4/11/2020	10:07:59	17	437
4/11/2020	10:17:59	17	417
4/11/2020	10:27:59	18	396
4/11/2020	10:38:00	18	397
4/11/2020	10:48:00	18	393
4/11/2020	10:58:01	20	401
4/11/2020	11:08:01	18	402
4/11/2020	11:18:02	20	406
4/11/2020	11:28:02	20	409
4/11/2020	11:38:03	19	410
4/11/2020	11:48:03	20	407
4/11/2020	11:58:04	20	408
4/11/2020	12:08:04	19	383
4/11/2020	12:18:04	18	373
4/11/2020	12:28:05	18	373
4/11/2020	12:38:05	16	366
4/11/2020	12:48:06	18	367
4/11/2020	12:58:06	17	364
4/11/2020	13:08:07	18	363
4/11/2020	13:18:07	16	362
4/11/2020	13:28:07	16	361
4/11/2020	13:38:08	16	363
4/11/2020	13:48:08	18	361
4/11/2020	13:58:09	17	373
4/11/2020	14:08:09	19	378
4/11/2020	14:18:09	19	383
4/11/2020	14:28:10	17	387
4/11/2020	14:38:10	18	388
4/11/2020	14:48:11	18	389
4/11/2020	14:58:11	19	390
4/11/2020	15:08:12	19	387
4/11/2020	15:18:12	19	387
4/11/2020	15:28:12	18	381
4/11/2020	15:38:13	19	385
4/11/2020	15:48:13	19	385

4/11/2020	15:58:14	19	391
4/11/2020	16:08:14	19	393
4/11/2020	16:18:15	19	390
4/11/2020	16:28:15	19	388
4/11/2020	16:38:16	19	383
4/11/2020	16:48:16	19	385
4/11/2020	16:58:16	19	384
4/11/2020	17:08:17	19	379
4/11/2020	17:18:17	18	375
4/11/2020	17:28:18	19	373
4/11/2020	17:38:18	17	374
4/11/2020	17:48:19	17	374
4/11/2020	17:58:19	18	377
4/11/2020	18:08:20	17	381
4/11/2020	18:18:20	18	378
4/11/2020	18:28:21	16	379
4/11/2020	18:38:21	16	378
4/11/2020	18:48:22	16	380
4/11/2020	18:58:22	17	383
4/11/2020	19:08:22	17	385
4/11/2020	19:18:23	16	382
4/11/2020	19:28:23	17	383
4/11/2020	19:38:24	17	385
4/11/2020	19:48:24	16	386
4/11/2020	19:58:25	16	394
4/11/2020	20:08:25	17	388
4/11/2020	20:18:26	17	387
4/11/2020	20:28:26	16	392
4/11/2020	20:38:27	16	387
4/11/2020	20:48:27	16	386
4/11/2020	20:58:27	15	383
4/11/2020	21:08:28	15	381
4/11/2020	21:18:28	15	378
4/11/2020	21:28:29	15	378
4/11/2020	21:38:29	16	382
4/11/2020	21:48:30	17	381
4/11/2020	21:58:30	15	381
4/11/2020	22:08:31	15	383

4/11/2020	22:18:31	14	384
4/11/2020	22:28:32	15	389
4/11/2020	22:38:32	15	379
4/11/2020	22:48:32	15	381
4/11/2020	22:58:33	15	382
4/11/2020	23:08:33	15	382
4/11/2020	23:18:34	15	381
4/11/2020	23:28:34	16	383
4/11/2020	23:38:35	15	381
4/11/2020	23:48:35	15	380
4/11/2020	23:58:35	14	382
5/11/2020	0:08:36	15	390
5/11/2020	0:18:36	16	394
5/11/2020	0:28:37	18	392
5/11/2020	0:38:37	15	387
5/11/2020	0:48:38	16	385
5/11/2020	0:58:38	15	383
5/11/2020	1:08:39	15	382
5/11/2020	1:18:39	16	383
5/11/2020	1:28:39	16	383
5/11/2020	1:38:40	15	383
5/11/2020	1:48:40	14	385
5/11/2020	1:58:41	14	382
5/11/2020	2:08:41	14	384
5/11/2020	2:18:41	14	380
5/11/2020	2:28:42	14	380
5/11/2020	2:38:42	15	378
5/11/2020	2:48:43	15	378
5/11/2020	2:58:43	14	377
5/11/2020	3:08:44	14	385
5/11/2020	3:18:44	16	387
5/11/2020	3:28:45	16	393
5/11/2020	3:38:45	14	388
5/11/2020	3:48:45	15	386
5/11/2020	3:58:46	15	381
5/11/2020	4:08:46	15	383
5/11/2020	4:18:47	16	382
5/11/2020	4:28:47	16	382

5/11/2020	4:38:48	14	386
5/11/2020	4:48:48	13	385
5/11/2020	4:58:48	14	386
5/11/2020	5:08:49	15	386
5/11/2020	5:18:49	13	384
5/11/2020	5:28:50	15	384
5/11/2020	5:38:50	14	383
5/11/2020	5:48:50	15	384
5/11/2020	5:58:51	14	386
5/11/2020	6:08:51	15	388
5/11/2020	6:18:51	17	393
5/11/2020	6:28:52	15	392
5/11/2020	6:38:52	15	391
5/11/2020	6:48:53	15	392
5/11/2020	6:58:53	15	390
5/11/2020	7:08:54	15	392
5/11/2020	7:18:54	15	394
5/11/2020	7:28:54	15	398
5/11/2020	7:38:55	17	405
5/11/2020	7:48:55	15	419
5/11/2020	7:58:56	15	426
5/11/2020	8:08:56	15	412
5/11/2020	8:18:57	15	427
5/11/2020	8:28:57	16	435
5/11/2020	8:38:58	16	441
5/11/2020	8:48:58	17	443
5/11/2020	8:58:58	16	443
5/11/2020	9:08:59	17	438
5/11/2020	9:18:59	18	430
5/11/2020	9:29:00	18	425
5/11/2020	9:39:00	17	425
5/11/2020	9:49:01	19	425
5/11/2020	9:59:01	18	428
5/11/2020	10:09:02	19	422
5/11/2020	10:19:02	18	421
5/11/2020	10:29:02	18	421
5/11/2020	10:39:03	18	398
5/11/2020	10:49:03	19	402

5/11/2020	10:59:04	19	408
5/11/2020	11:09:04	17	411
5/11/2020	11:19:05	19	412
5/11/2020	11:29:05	19	413
5/11/2020	11:39:06	20	413
5/11/2020	11:49:06	19	416
5/11/2020	11:59:07	19	418
5/11/2020	12:09:07	19	391
5/11/2020	12:19:08	19	379
5/11/2020	12:29:08	18	375
5/11/2020	12:39:08	17	368
5/11/2020	12:49:09	18	367
5/11/2020	12:59:09	17	366
5/11/2020	13:09:10	18	364
5/11/2020	13:19:10	17	363
5/11/2020	13:29:11	17	361
5/11/2020	13:39:11	15	358
5/11/2020	13:49:12	16	364
5/11/2020	13:59:12	18	374
5/11/2020	14:09:12	18	383
5/11/2020	14:19:13	18	389
5/11/2020	14:29:13	19	392
5/11/2020	14:39:14	18	395
5/11/2020	14:49:14	18	397
5/11/2020	14:59:15	20	399
5/11/2020	15:09:15	19	399
5/11/2020	15:19:15	20	400
5/11/2020	15:29:16	19	396
5/11/2020	15:39:16	20	401
5/11/2020	15:49:17	19	400
5/11/2020	15:59:17	19	405
5/11/2020	16:09:18	20	396
5/11/2020	16:19:18	19	393
5/11/2020	16:29:19	19	391
5/11/2020	16:39:19	18	385
5/11/2020	16:49:20	18	378
5/11/2020	16:59:20	19	376
5/11/2020	17:09:21	19	378

5/11/2020	17:19:21	18	376
5/11/2020	17:29:21	19	374
5/11/2020	17:39:22	19	380
5/11/2020	17:49:22	17	378
5/11/2020	17:59:23	17	377
5/11/2020	18:09:23	18	375
5/11/2020	18:19:24	16	378
5/11/2020	18:29:24	17	377
5/11/2020	18:39:25	18	375
5/11/2020	18:49:25	16	381
5/11/2020	18:59:26	19	387
5/11/2020	19:09:26	16	387
5/11/2020	19:19:27	17	388
5/11/2020	19:29:27	17	387
5/11/2020	19:39:27	17	385
5/11/2020	19:49:28	16	390
5/11/2020	19:59:28	17	398
5/11/2020	20:09:29	17	398
5/11/2020	20:19:29	17	401
5/11/2020	20:29:30	17	396
5/11/2020	20:39:30	17	395
5/11/2020	20:49:31	16	397
5/11/2020	20:59:31	18	396
5/11/2020	21:09:32	17	388
5/11/2020	21:19:32	17	383
5/11/2020	21:29:32	16	386
5/11/2020	21:39:33	15	379
5/11/2020	21:49:33	15	380
5/11/2020	21:59:34	15	380
5/11/2020	22:09:34	17	380
5/11/2020	22:19:34	18	380
5/11/2020	22:29:35	15	381
5/11/2020	22:39:35	16	385
5/11/2020	22:49:36	17	385
5/11/2020	22:59:36	16	389
5/11/2020	23:09:36	17	392
5/11/2020	23:19:37	16	392
5/11/2020	23:29:37	16	395

5/11/2020	23:39:37	16	390
5/11/2020	23:49:38	14	388
5/11/2020	23:59:38	15	388
6/11/2020	0:09:39	15	388
6/11/2020	0:19:39	17	385
6/11/2020	0:29:40	15	383
6/11/2020	0:39:40	15	386
6/11/2020	0:49:40	16	387
6/11/2020	0:59:41	15	393
6/11/2020	1:09:41	15	391
6/11/2020	1:19:42	15	389
6/11/2020	1:29:42	14	386
6/11/2020	1:39:43	15	385
6/11/2020	1:49:43	14	385
6/11/2020	1:59:44	13	385
6/11/2020	2:09:44	13	383
6/11/2020	2:19:44	15	383
6/11/2020	2:29:45	15	423
6/11/2020	2:39:45	14	429
6/11/2020	2:49:46	16	422
6/11/2020	2:59:46	15	422
6/11/2020	3:09:47	14	421
6/11/2020	3:19:47	15	422
6/11/2020	3:29:47	14	420
6/11/2020	3:39:48	14	422
6/11/2020	3:49:48	14	426
6/11/2020	3:59:49	14	425
6/11/2020	4:09:49	14	420
6/11/2020	4:19:50	15	416
6/11/2020	4:29:50	15	417
6/11/2020	4:39:50	13	417
6/11/2020	4:49:51	13	418
6/11/2020	4:59:52	14	417
6/11/2020	5:09:52	14	415
6/11/2020	5:19:52	15	417
6/11/2020	5:29:53	15	421
6/11/2020	5:39:53	14	422
6/11/2020	5:49:54	14	423

6/11/2020	5:59:54	15	425
6/11/2020	6:09:55	15	424
6/11/2020	6:19:55	14	423
6/11/2020	6:29:55	14	431
6/11/2020	6:39:56	15	439
6/11/2020	6:49:56	15	448
6/11/2020	6:59:57	14	436
6/11/2020	7:09:57	17	436
6/11/2020	7:19:57	15	445
6/11/2020	7:29:58	16	455
6/11/2020	7:39:58	15	455
6/11/2020	7:49:59	15	453
6/11/2020	7:59:59	16	470
6/11/2020	8:10:00	16	440
6/11/2020	8:20:00	16	447
6/11/2020	8:30:00	15	462
6/11/2020	8:40:01	18	479
6/11/2020	8:50:01	17	486
6/11/2020	9:00:02	17	486
6/11/2020	9:10:02	17	479
6/11/2020	9:20:02	17	481
6/11/2020	9:30:03	18	480
6/11/2020	9:40:03	18	472
6/11/2020	9:50:04	19	471
6/11/2020	10:00:04	18	470
6/11/2020	10:10:05	19	467
6/11/2020	10:20:05	19	464
6/11/2020	10:30:05	20	452
6/11/2020	10:40:06	20	444
6/11/2020	10:50:06	20	424
6/11/2020	11:00:07	21	412
6/11/2020	11:10:07	22	409
6/11/2020	11:20:08	22	406
6/11/2020	11:30:08	21	402