

**PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN Y MONITORIZACIÓN DE DIÓXIDO DE  
CARBONO BASADO EN LA PLATAFORMA DE DESARROLLO DEL SISTEMA  
TMP DE LA EMPRESA SCHÜLER WEAGE**



CORPORACION UNIVERSITARIA  
**AUTONOMA**  
DEL CAUCA

**ANA MARÍA MUÑOZ VELASCO**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
AGOSTO DE 2017**

**PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN Y MONITORIZACIÓN DE DIÓXIDO DE  
CARBONO BASADO EN LA PLATAFORMA DE DESARROLLO DEL SISTEMA  
TMP DE LA EMPRESA SCHÜLER WEAGE**



CORPORACION UNIVERSITARIA  
**AUTONOMA**  
DEL CAUCA

**ANA MARÍA MUÑOZ VELASCO**

**Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera Electrónica**

**Director**

**MSc. Daniel Rodrigo Ortega Alegría**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
AGOSTO 2017**

## **NOTA DE ACEPTACIÓN**

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca para optar por el título de Ingeniero Electrónico.

---

**Msc. Daniel Rodrigo Ortega A.**  
**Director**

---

**Msc. Julián Andrés Caicedo M.**  
**Jurado 1**

---

**Msc. Juan Pablo Diago R.**  
**Jurado 2**

Popayán, Agosto 2017.

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios y a la Virgen María por todas las bendiciones recibidas.*

*A mis padres Carlos y Lily por su amor, comprensión y ejemplo, a mi hermano Juan José por su apoyo y cariño, gracias a Ustedes, mi familia, hoy culmino esta etapa, son Ustedes quienes han sido el soporte de mi vida llenándola de amor y esperanza.*

*A mi novio Julián por su amor, apoyo, amistad y comprensión, acompañándome en cada paso de este camino.*

*A mi director el Ingeniero Daniel gracias por su confianza, guía y colaboración para el desarrollo de este proyecto.*

*A los integrantes de Schüler Weage por su paciencia, ayuda y enseñanzas, un equipo de trabajo del que cada día se aprenden cosas nuevas.*

*A mis amigos y compañeros porque cada uno de Ustedes fue parte fundamental de este proyecto, con su cooperación y ayuda logré culminar esta meta.*

*A los jurados por su tiempo en las revisiones, sus correcciones y recomendaciones en pro de mejorar este trabajo.*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	11
ABSTRACT .....	11
CAPÍTULO 1: CONTEXTO GENERAL.....	12
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2 OBJETIVOS .....	13
1.2.1 Objetivo general.....	13
1.2.2 Objetivos específicos .....	13
1.3 Enfoque metodológico.....	14
CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL .....	16
2.1 Marco conceptual.....	16
2.1.1 Técnicas de medición.....	16
2.1.2 Dióxido de carbono.....	17
2.1.2.1 Metodologías para la medición de dióxido de Carbono.....	17
2.1.3 Sensor de dióxido de carbono.....	21
2.1.4 Sistema Tarjeta Multi-Parámetro (TMP).....	21
2.1.5 Interfaz .....	22
2.2 Estado actual del conocimiento .....	23
2.2.1 Trabajos relacionados .....	24
2.3 Generalidades del proyecto .....	26
CAPÍTULO 3: DISEÑO PROTOTIPO DIÓXIDO DE CARBONO.....	28
3.1 Diseño.....	29
3.1.1 Sistema de sensado.....	30
3.1.2 Mecanismo de adaptación .....	33
3.1.3 Sistema TMP .....	44
3.1.4 Interfaz HMI.....	48
CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN .....	55
4.1 Sistema de sensado .....	56
4.2 Mecanismo de adaptación .....	56

4.2.1 Módulo firmware .....	57
4.2.2 Módulo Software .....	57
4.3 Sistema TMP .....	58
4.4 Interfaz HMI .....	59
4.4.1 Interfaz gráfica Java para consulta de datos de manera local.....	59
4.4.2 Aplicativo remoto .....	61
4.4.3 Sistema TMP .....	65
CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN .....	67
5.1 Escenario de pruebas .....	67
5.2 Pruebas técnicas para el funcionamiento del sensor Dióxido de Carbono ..	68
5.3 Evaluación del aplicativo de acceso local – Desarrollo Java .....	79
5.4 Evaluación aplicativo de acceso remoto – Desarrollo Java- SpringTools....	81
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
6.1 Conclusiones .....	85
6.2 Recomendaciones .....	85
6.3 Trabajos futuros .....	85
Bibliografía.....	87
ANEXOS.....	92
Anexo 1. Requerimientos para el diseño del prototipo de CO2.....	92
Anexo 2. Carta Aval de la empresa.....	93
Anexo 3. Manual de Usuario Equipo medidor de Dióxido de Carbono.....	94

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de sensores de gases. Fuente: [8].....	19
Tabla 2. Trabajo relacionados del subsistema electrónico.....	24
Tabla 3. Características sensores CO2.....	26
Tabla 4. Comparación de características.....	27
Tabla 5. Características del sensor CM1102- Especificaciones técnicas.....	31
Tabla 6. Caracteres de la trama de dióxido de carbono.....	42
Tabla 7. Descripción de los terminales usados de la tarjeta principal del sistema TMP 3.6. Fuente: Schüler Weage. ....	46
Tabla 8. Captura y transformación de información enviada por el sensor a través del aplicativo de consulta local (Aplicativo Java).....	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Estructura metodológica. ....	14
Figura 2-1. Absorción de CO <sub>2</sub> de IR y algunos otros gases. Fuente: [29].....	20
Figura 2-2. Principio de funcionamiento sensor NDIR.....	20
Figura 2-3. Sistema TMP. Fuente: Schüler Weage. ....	22
Figura 3-1. Conjunto de elementos del prototipo medidor de dióxido de carbono. 28	
Figura 3-2. Elementos Sensor - HMI .....	29
Figura 3-3. Sensor Dióxido de Carbono .....	30
Figura 3-4. Esquema conexión módulo sensor. ....	32
Figura 3-5. Estructura mecanismo de adaptación. ....	33
Figura 3-6. Diagrama entradas y salidas firmware. ....	34
Figura 3-7. Diagrama módulo firmware. ....	34
Figura 3-8. Conexión elementos HMI-Sensor .....	36
Figura 3-9. Diagrama de flujo para la adquisición de datos del sensor CM1102... 36	
Figura 3-10. Diagrama de flujo diseño Web para adquisición de los datos. ....	38
Figura 3-11. Diagrama estructura adquisición de datos. ....	39
Figura 3-12. Diagrama de entradas y salidas adquisición de datos. ....	39
Figura 3-13. Estructura de adquisición y procesamiento de datos. ....	40
Figura 3-14. Diseño de la estructura de la aplicación de dióxido de carbono..... 41	
Figura 3-15. Diagrama procesos ejecución del programa. ....	43
Figura 3-16. Diagrama de estados para el manejo de los modos de operación del sistema. Fuente: Tomado de: Manual de usuario TMP Control. ....	44
Figura 3-17. Diagrama componente sistema TMP. Fuente Propia.....	44
Figura 3-18. Sistema SW HW TMP 3.4-PDA-IP66. ....	45
Figura 3-19. Diagrama Entrada/Salidas Conversor Voltaje. Fuente Propia.....	47
Figura 3-20. Diagrama Comunicación.....	48
Figura 3-21. Diagrama validación de usuario. ....	49
Figura 3-22. Diagrama para Ingreso al sistema .....	49
Figura 3-23. Diagrama para Programar medición .....	50
Figura 3-24. Selección opción Obtener datos .....	51
Figura 3-25. Diagrama opción "Obtener Datos" .....	51
Figura 3-26. Componentes principales página WEB. ....	52
Figura 3-27. Diagrama LOGIN. ....	53
Figura 3-28. Diagrama módulo adquisición. ....	53
Figura 3-29. Diagrama módulo visualización.....	54
Figura 4-1. Componentes Prototipo medidor Dióxido de Carbono. ....	55
Figura 4-2. Circuito de Comunicación. ....	56
Figura 4-3. Estructura firmware principal.....	57



Figura 4-4. Módulos utilizados Tarjeta Principal.....	58
Figura 4-5. Ventana ingreso al sistema.....	59
Figura 4-6. Ventana ingreso al sistema.....	60
Figura 4-7. Ventana obtener datos.....	60
Figura 4-8. Ventana opción Programar datos.....	61
Figura 4-9. Página principal.....	62
Figura 4-10. Página principal cuerpo.....	62
Figura 4-11. Menú de navegación.....	63
Figura 4-12. Página de validación usuario.....	63
Figura 4-13. Página de inicio mediciones sensor.....	64
Figura 4-14. Toma de datos.....	65
Figura 4-15. Visualizador de datos en el terminal de TMPControl.....	66
Figura 5-1. Elementos escenario de prueba.....	67
Figura 5-2. Esquema conexiones físicas.....	67
Figura 5-3. Conexión prueba Sensor.....	68
Figura 5-4. Respuesta del sensor en el software GTKTerm.....	69
Figura 5-5. Trama de respuesta sensor.....	69
Figura 5-6. Analizador de señales.....	70
Figura 5-7. Respuesta Analizador de señales.....	70
Figura 5-8. Respuesta sensor cada 60 Segundos.....	71
Figura 5-9. Aumento de concentración de CO2 cada minuto.....	72
Figura 5-10. Ajuste polinomial grado 2 descriptor del comportamiento del sensor de CO2.....	73
Figura 5-11. Aumento de mediciones en la concentración de CO2.....	74
Figura 5-12. Regresión lineal para comportamiento del sensor CO2 ante incrementos de concentraciones del gas durante 20 minutos.....	75
Figura 5-13. Análisis del comportamiento en saturación del sensor CM1102.....	76
Figura 5-14. Visualización del punto de saturación.....	77
Figura 5-15. Ventana de bienvenida del aplicativo local (Java).....	79
Figura 5-16. Módulos disponibles para medición con el sensor CO2.....	79
Figura 5-17. Adquisición de datos puntuales de CO2, Temperatura y Humedad a través del aplicativo local.....	80
Figura 5-18. Medición de las tres variables disponibles por el sensor programadas cada minuto.....	81
Figura 5-19. Aplicativo web desarrollado durante el proyecto.....	82
Figura 5-20. Medición de CO2 a través del aplicativo de consulta remota.....	83
Figura 5-21. Página web para conexión remota con el sensor.....	83
Figura 5-22. Consulta remota al sensor CM1102 a través del aplicativo Web desarrollado en el proyecto.....	84

## **Lista de anexos**

Anexo 1. Requerimientos para el diseño del prototipo de CO2.....	92
Anexo 2. Carta Aval de la empresa.....	93
Anexo 3. Manual de Usuario Equipo medidor de Dióxido de Carbono.....	94

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se evidencia la implementación de un prototipo medidor de dióxido de carbono basado en la plataforma de desarrollo de la empresa Schüler Weage en la ciudad de Popayán.

Este documento muestra el diseño e implementación de un prototipo capaz de realizar mediciones en condiciones ambientales ásperas mediante una plataforma de desarrollo de una empresa privada, donde se hace una descripción detallada del desarrollo del software, estructura y posterior adquisición de los datos después de implementar y poner en funcionamiento el prototipo.

**Palabras Clave:** Dióxido de carbono, prototipo, software.

## **ABSTRACT**

In this paper the implementation of a prototype carbon dioxide meter was carried out based on the development platform of the company Schüler Weage of the city of Popayán.

This document shows the design and implementation of a prototype capable of performing measurements in harsh environmental conditions through a development platform of a private company, where a detailed description of software development, structure and subsequent data acquisition after implementation and put the prototype into operation.

**Keywords:** Carbon dioxide, prototype, software.

# CAPÍTULO 1: CONTEXTO GENERAL

## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia existen 20 volcanes activos a lo largo de la cordillera central del país, de los cuales 8 presentan cambios o alteraciones en el comportamiento de la actividad volcánica y los 12 restantes se encuentran en un estado activo y de comportamiento estable [1]. La monitorización de dichos volcanes se realiza mediante diferentes metodologías de vigilancia, entre ellas, la Geoquímica que recurre a muestreos sistemáticos de las diferentes emanaciones de fluidos como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que contribuye en mayor proporción en el efecto invernadero de larga duración [2].

En la ciudad de Popayán, ubicada en el Departamento del Cauca, la empresa Schüler Weage realiza proyectos de investigación y desarrollo relacionados con la instrumentación y telemetría para la monitorización en zonas de actividad volcánica bajo normas industriales, cumpliendo con los requisitos medio ambientales que demanda una zona con estas características; su principal producto es el sistema Tarjeta Multi-Parámetro (TMP) que permite de una forma versátil procesar medidas de inclinación, flujo magnético, potencial espontáneo, emisión de gas radón, temperatura, detección de flujos de lodo. Lo anterior mediante una configuración de hardware y software donde el sistema se encarga de adquirir los datos, procesarlos y enviarlos a un ordenador, utilizando un protocolo de comunicación adaptado por la empresa para mejorar la recepción de información suministrada por el sistema TMP, protocolo de comunicación denominado GEODATA [3], el cual facilita al usuario final, el estudio y procesamiento de los datos adquiridos mediante un software de visualización.

El sistema TMP actualmente no cuenta con una técnica de medición de dióxido de carbono que sea compatible con los requerimientos que demanda el sistema y la zona de monitorización. En consecuencia, este trabajo de grado propone implementar una técnica que comprenda una estructura software y hardware para realizar la medición de dióxido de carbono en una zona volcánica. Lo que se podría lograr mediante la selección, calibración y caracterización de un módulo de medición de dióxido de carbono que al efectuar una comunicación haciendo uso del protocolo GEODATA sea adaptable a la estructura software del sistema TMP, permitiendo la medición y monitorización de parámetros de dióxido de carbono en una zona volcánica.

Por consultas previas realizadas con el ánimo de investigar profundidad el tema sobre el cual se quiere profundizar, se estableció que, existen dispositivos en el mercado que tienen un costo elevado de importación, licencias privadas, altos costos de soporte, mantenimiento y no son de fácil adaptación a otros sistemas ya

que tienen un software privado que no permite realizarle variaciones [4]. Por lo tanto surge la siguiente pregunta ¿Cómo implementar una técnica para la medición de dióxido de carbono que cumpla los requerimientos de la empresa Schüler Weage y sea adaptable al sistema TMP?

Para responder a esta pregunta de investigación, a continuación se presentan los objetivos de este proyecto.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Proponer una técnica para la medición y monitorización de dióxido de carbono en zonas de actividad volcánica basado en la plataforma de desarrollo del sistema TMP de la empresa Schüler Weage.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Diseñar los esquemas del sistema electrónico del prototipo, bajo los requerimientos mecánicos, eléctricos y ambientales que demanda el funcionamiento en zonas de actividad volcánica.
- Diseñar un mecanismo de adaptación e interfaz software entre el módulo de dióxido de carbono y sistema TMP.
- Implementar el sistema de medición y monitorización de dióxido de carbono.
- Evaluar el funcionamiento del prototipo respecto a un equipo de referencia IRC-TX alphasense.

La presente investigación se inscribe dentro de la modalidad de monografía dado que de este modo resulta más práctico exponer los resultados y avances investigativos. Esta monografía está estructurada de la siguiente manera: en el primer capítulo del documento se realiza una descripción de las bases teóricas que se tuvieron en cuenta durante el desarrollo del proyecto, de igual manera se muestra un análisis de cada componente y principales características que componen el sistema.

En el segundo capítulo se hace una descripción del prototipo especificado en los elementos que lo componen: mecanismo de adaptación, interfaz software y los componentes que en conjunto con los demás permiten implementar la técnica de medición. Cada elemento es descrito detalladamente para brindar y construir el sentido sobre el cual se desarrolla esta investigación.

En el tercer capítulo del documento se realiza la implementación de los diseños estipulados en el capítulo 2 teniendo en cuenta la interacción usuario final y sistema. Una prueba que apuesta abiertamente la viabilidad de la investigación mediante la usabilidad.

En el cuarto capítulo se realiza la evaluación de funcionamiento de los diseños e implementaciones antes descritas, mostrando las pruebas y resultados obtenidos en el proyecto.

### 1.3 Enfoque metodológico

En este apartado se expone de modo claro y preciso los procedimientos que se llevaron a cabo para dar cuenta y razón de los objetivos trazados. La metodología planteada para el desarrollo del proyecto titulado Prototipo para la Medición y Monitorización de Dióxido de Carbono basado en la Plataforma de Desarrollo del Sistema TMP de la empresa Schüler Weage. Se estructura del siguiente modo: fase preparativa, fase descriptiva, fase de interpretación, fase construcción teórica y fase de extensión y publicación; fases fundamentales que sirvieron para el análisis investigativo que buscaba resolver el objetivo general del proyecto, proponiendo una técnica para la medición y monitorización de dióxido de carbono en zonas de actividad volcánica basado en la plataforma de desarrollo del sistema TMP de la empresa Schüler Weage. A continuación se muestra el esquema seguido (Figura 1-1) con el ánimo de organizar un mapa mental para el desarrollo del proyecto.

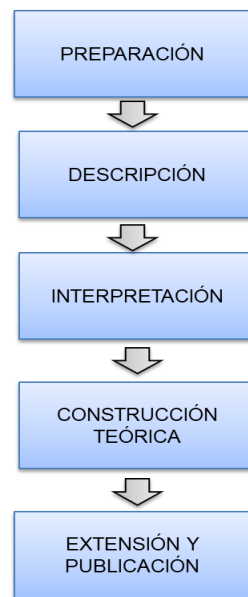


Figura 1-1. Estructura metodológica.  
Fuente: Adaptado de: [5]

Las fases metodológicas que se abordaron se realizaron de la siguiente manera:

- Fase preparatoria: esta fase orientó el estudio del tema central del proyecto y sus núcleos temáticos donde se hizo un estudio de los elementos principales, el

concepto impartido por diferentes autores acerca de su funcionamiento, características, y aspectos importantes de cada núcleo temático. En esta fase es de marcada importancia la investigación bibliográfica por lo cual se recurrió a fuentes informativas en la Web y en publicaciones en bases de datos internacionales y nacionales buscando que los trabajos consultados generaran aportes al proyecto como indicadores y guías para su desarrollo. Con la información recopilada, se realizan los diferentes filtros basados en los requerimientos de la empresa para la selección del sensor, escogiendo el sensor idóneo que cumplió con las características técnicas y presupuestales comparándolo con otros sensores en el mercado que tenían características similares. Para el desarrollo del proyecto a partir de dicha selección (Sección 2.2 Generalidades del proyecto Tabla 4 ) se inicia el proceso de diseño del sistema electrónico del prototipo. De igual manera el sensor y los elementos del mismo cumplen con el objetivo para desarrollar un trabajo investigativo a nivel de pregrado cuyos resultados pueden ser escalados a un sector comercial, investigativo y científico.

- La fase descriptiva: comprende el trabajo de campo que se realiza con el fin de dar cuenta de los diferentes tipos de estudios que se han efectuado sobre el tema central. En esta etapa se aborda en detalle los procedimientos que permitieron abarcar el tema central que radica en proponer una técnica de medición y monitorización de dióxido de carbono en zonas de actividad volcánica basado en la plataforma de desarrollo del sistema TMP de la empresa Schüler Weage, presentando las técnicas y tecnologías utilizadas para el desarrollo del prototipo. Es en esta etapa donde la investigación exhibe las herramientas, procedimientos y secuencias orientadas de la elaboración de las mismas.
- Fase de interpretación: esta fase amplía el estudio utilizado, la información recolectada en la fase anterior con el fin de proporcionar nuevos avances con la integración de cada uno de los núcleos temáticos abordando aspectos teóricos y prácticos que se unifican en el transcurrir investigativo.
- La fase de construcción teórica global comprende la etapa de la investigación donde los conceptos como las técnicas de medición, las zonas de la actividad volcánica, sistema TMP, se relacionan para construir a partir de los estudios realizados una técnica de medición usando la plataforma de desarrollo de la empresa Schüler Weage para la medición de dióxido de carbono, teniendo en cuenta los requerimientos de la empresa, el diseño y construcción del prototipo.
- La fase de extensión y publicación consiste en la divulgación de los resultados del proyecto de investigación. En este caso la divulgación se realiza mediante la presente monografía. [5]

## **CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL**

En este capítulo se abordan las bases teóricas, científicas y tecnológicas que dan soporte al desarrollo del proyecto, abarcando el área de estudio y sus necesidades. El capítulo está dividido en dos secciones: marco conceptual y estado actual del conocimiento. En el marco conceptual se trabajan las principales áreas que tienen relación con el proyecto, es decir, conceptos que necesitan ser tenidos en cuenta para un seguimiento consiente e informado de la investigación. En la segunda sección, se trabaja el estado actual del conocimiento que aborda la actualidad del conocimiento en relación con las áreas y trabajos principales que se han desarrollado en torno al tema central de este proyecto.

### **2.1 Marco conceptual**

En la actualidad es importante para las empresas proporcionar una solución más rentable y versátil para la recepción, control y registro de datos adquiridos de sensores o equipos especializados en la toma de muestras. Debido a esto exigen que los equipos de adquisición de datos sean precisos, de buena resolución, económicos y tengan mayor facilidad de maniobra en el momento de su operación. En la industria se busca comercializar dispositivos que tengan una combinación equipo-usuario mediante interfaces gráficas o mediante servicios que hagan que la interacción humano/dispositivo sea más eficiente mejorando la experiencia por parte del usuario [6].

Una de las áreas que presenta mucha demanda y poca oferta, por la que los equipos existentes son de alto costo, es el área de la vulcanología y geofísica, donde existe la necesidad de instrumentos portátiles para cuantificar el dióxido de carbono volcánico [7]. El resultado de esta investigación permite dar una solución a esta necesidad, teniendo en cuenta factores costo/beneficio, además de ofrecer el servicio de toma de muestras de CO<sub>2</sub> de forma remota y reduciendo riesgos en el momento de realizar el monitoreo por parte de personal en la zona.

Existe documentación y terminología concerniente a diferentes tipos de sensores de dióxido de carbono con características, costos y aplicaciones [8], que nutren el contenido de la investigación en tanto aportan elementos que construyen la comprensión de los resultados. A continuación, se muestran diferentes tipos de metodologías para la medición de gases de dióxido de carbono, sistema software y otros puntos adicionales que fueron importantes para el diseño del prototipo.

#### **2.1.1 Técnicas de medición**

Se entiende por una técnica el conjunto de procedimientos o saberes prácticos para obtener un resultado. El procedimiento es la descripción detallada de una serie de tareas o teorías que se llevan a cabo con un fin. [9]



### **2.1.2 Dióxido de carbono**

El dióxido de carbono es un gas tóxico que en exposición a concentraciones elevadas puede representar un riesgo de vida. Debido a que el CO<sub>2</sub> es inodoro e incoloro, resulta difícil detectar las fugas o anomalías visibles en los cambios de concentración [10]. Cada volcán presenta manifestaciones físicas y químicas específicas, lo que genera su propia forma de comportamiento. La mayoría de las erupciones volcánicas vienen precedidas y están acompañadas por cambios geofísicos del terreno, geoquímicos del agua y los gases asociados al edificio volcánico [11]. Durante una erupción volcánica se emiten a la atmósfera cantidades indeterminadas de gases y ceniza, que son impulsadas a grandes distancias por la onda de energía térmica (calor) y la presión confinada en el magma. Estos productos son depositados temporalmente en la estratósfera y tropósfera, mientras son dispersados por la acción del viento y la lluvia. [12], generando diferentes cambios físicos en el terreno por lo cual se realiza un monitoreo constante de las variables físicas para diseñar planes de acción para evitar catástrofes.

Existen diferentes tipos de monitoreo y vigilancia volcánica, entre ellos los más utilizados son la visual, sísmico, geodésico y geoquímico, ayudándose de la vigilancia instrumental que consiste en utilizar equipos científicos capaces de detectar cambios en el comportamiento físico-químico del sistema magmático del volcán, cambios que generalmente son imperceptibles para los técnicos encargados de realizar los controles [13]. La vigilancia de un volcán consiste en la observación continua y permanente por medio de instrumentación especializada con la finalidad de detectar oportunamente alguna variación importante de su actividad y de ser posible anticipar alguna condición anómala precursora de un proceso eruptivo, con el objetivo de usar la información obtenida por las entidades correspondientes en el proceso de medidas de seguridad.

En el caso de la medición de dióxido de carbono se realiza un monitoreo geoquímico que se refiere al análisis químico de concentrados y elementos en gases de zonas volcánicas. La utilización de equipos para la adquisición de las muestras aplica metodologías de medida que se detallan a continuación:

#### **2.1.2.1 Metodologías para la medición de dióxido de Carbono**

La liberación de gases en zonas volcánicas, se emite en forma de fumarolas o desgasificación difusa de los suelos, esto puede dar una idea para la comprensión más profunda de la dinámica volcánica, además de conocer su impacto en el cambio climático y las actividades humanas [14] [15]. El CO<sub>2</sub> es, por tanto, el mejor indicador de magma profundo, debido a que su aumento de la

concentración y el flujo en la planta refleja el aumento de exsolución<sup>1</sup> [15] de fuentes profundas. Además, ya que el CO<sub>2</sub> es con mucho el componente de gas más abundante en los fluidos volcánicos, la relación entre CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O representa de cerca la relación de gas / agua en los acuíferos, que es sensible al aumento de la temperatura en los sistemas más profundos, que puede resultar, por ejemplo, por el aumento de fluidos calientes o magma [16]. Actualmente el monitorización tiene tres categorías principales: análisis de muestras en laboratorio, teledetección y monitoreo continuo de gas.

La teledetección por satélite o percepción remota es una alternativa que a menudo es útil [17] [18] debido a que brinda la posibilidad de realizar mediciones de características biofísicas de amplias regiones, permitiendo adquirir información de zonas con difícil acceso y/o topografías agrestes, minimizando los costos que implican llevar y tener en la zona a un equipo de personas para captura de datos en campo.

La percepción remota es la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie de la tierra desde sensores instalados en plataformas satelitales [19], lo anterior brinda ventajas representativas en el análisis de extensas zonas pero también tiene restricciones para la captura de la información. Las principales restricciones y/o desventajas que se tienen en dicha técnica están basadas en la resolución espacial de las imágenes, su calibración espectral y la presencia de coberturas nubosas [18]. Las imágenes de acceso libre como: Landsat [20], MODIS [21] y GOES [22] generan un conjunto de información para mediciones relacionadas con la clasificación de coberturas terrestres [23], medición de CO<sub>2</sub> [24] y estudios atmosféricos [25] de todo el planeta.

Con respecto a la medición de CO<sub>2</sub> usando percepción remota se puede decir que los resultados están enmarcados en trabajos con satélites ópticos-pasivos [26], es decir, satélites que capturan el espectro electromagnético y pasivos porque dicha radiación es proveniente del sol; estas mediciones están restringidas a la resolución espacial y temporal de estos tipos de satélites: Landsat (resolución espacial de 30 metros) y Modis (resolución espacial de 500m), su resolución temporal es de 15 días.

Aunque es posible abarcar extensas zonas las mediciones sólo podrían ser realizadas durante periodos de tiempo quincenales lo que conlleva a no ser considerada una medición en tiempo real.

El monitoreo continuo de gas se realiza mediante equipos especializados que tienen diferentes técnicas de medición. A continuación se indican los tipos de sensores, las ventajas y desventajas las cuales son presentadas en la Tabla 1.

---

<sup>1</sup> Exsolución, separación de minerales al enfriarse el mineral que los contenía.

Tabla 1. Tipos de sensores de gases. Fuente: [8]

Tipo de Sensor	Ventajas	Desventajas
Catalítico	Simple, mide la inflamabilidad de los gases y es de bajo costo	Requiere aire u oxígeno para trabajar. Puede ser afectado por plomo, cloro y siliconas.
Térmico	Construcción robusta pero sencilla. Fácil de operar en ausencia de oxígeno. El rango de medición es muy amplio.	Reacción dependiente al alambre de calefacción.
Electroquímico	Mide los gases tóxicos en cantidades relativamente bajas concentraciones. Una amplia gama de gases puede ser detectados	Los modos fallos no son revelados a menos que se utilice una técnica de monitorización avanzada.
Óptico	Fácil de operar en ausencia de oxígeno. No afectado por interferencia electromagnética. El área de monitoreo es muy amplia.	Afectado por la interferencia de la luz ambiente.
Infrarrojo	Usa sólo la técnica física. No hay modos de falla invisibles. Puede utilizarse en atmósferas inertes o ásperas.	No todos los gases tienen absorción de IR.
Semiconductores	Mecánicamente robusto, funciona bien a una altura con constante condición de humedad.	Susceptible a contaminantes y cambios debido a las condiciones ambientales.
Superficie Onda acústica	Podría utilizarse para aplicaciones inalámbricas. Puede ser colocado en piezas duras y giratorias.	Debido a su pequeño tamaño, es de difícil fabricación.

El dióxido de carbono tiene una banda de absorción característica en la región infrarroja (IR) a una longitud de onda de 4,26  $\mu\text{m}$  (Ver Figura 2-1) [27]. Esto significa que cuando la radiación IR atraviesa un gas que contiene CO<sub>2</sub>, parte de la radiación se absorbe. En consecuencia, la cantidad de radiación que atraviesa el gas depende de la cantidad de CO<sub>2</sub> presente, y esto puede detectarse con un detector IR. La detección de IR es la tecnología más aplicada para la detección de CO<sub>2</sub> [27] [28]. Los sensores de IR presentan muchos beneficios respecto de los sensores químicos, sobre todo por su estabilidad y alta selección del gas medido. Adicionalmente, los sensores de IR tienen un ciclo de vida extenso debido a que el gas medido no interactúa en forma directa con el sensor, soportan la humedad alta, el polvo, la suciedad y otras condiciones hostiles.

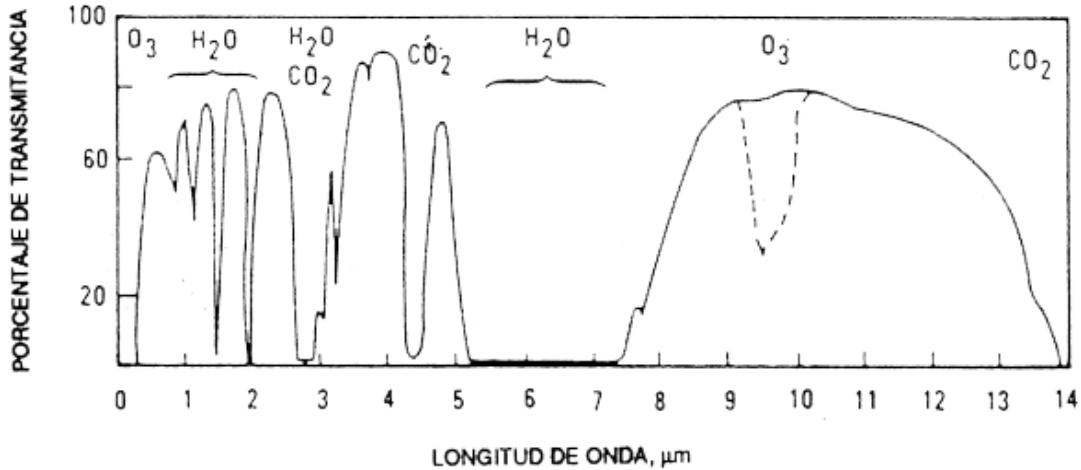


Figura 2-1. Absorción de CO2 de IR y algunos otros gases. Fuente: [29]

Para la medición de dióxido de carbono se utiliza la técnica NDIR (*Non-Dispersive Infrared*), esta técnica es usada principalmente para determinar las concentraciones de CO, CO2 e hidrocarburos, hace uso del principio de las moléculas de gas que absorben bandas discretas de energía infrarroja [30]. El análisis de gases que realiza la técnica NDIR se basa en medir la concentración de una muestra de gas mediante la determinación de la cantidad de absorción de la luz que se produce en longitudes de onda que normalmente se seleccionan para coincidir con una banda de absorción relativamente fuerte que es característica del gas a medir.

La radiación infrarroja se hace pasar a través de una celda conteniendo el gas de muestra que se desea analizar, y la absorción cuantitativa de energía por el gas es medida por un detector apropiado en el fenómeno no dispersivo. Se utiliza un doble haz de radiación infrarroja que pasa a través de dos celdas, una es la de medición llena con el gas de muestra y la otra, de referencia, llena con un gas no absorbente [31] [32] como se muestra en la siguiente figura (Ver Figura 2-2 ).

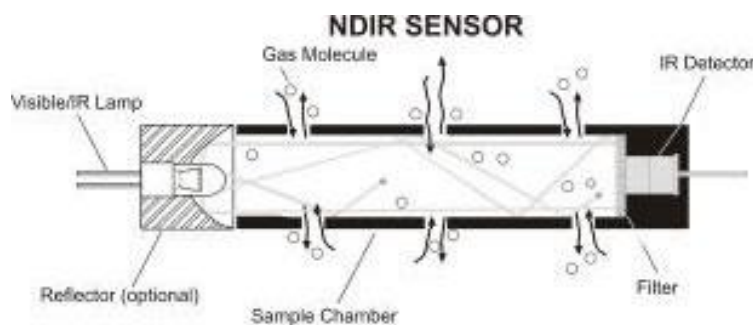


Figura 2-2. Principio de funcionamiento sensor NDIR.

### **2.1.3 Sensor de dióxido de carbono**

Un sensor es un dispositivo analítico capaz de detectar determinadas especies químicas de manera continua y reversible, el cual consta de un transductor acoplado a una fase de reconocimiento o químicamente selectiva [33] [34]. En la zona de reconocimiento del sensor, la información química se transforma en una forma de energía medible por el transductor. Este dispositivo es capaz de transformar la energía que lleva la información química de la muestra en una señal analítica utilizable. En este caso el sensor de dióxido de carbono utiliza una técnica que aprovecha la propiedad de muchos gases que absorben radiación en una zona de luz infrarroja determinada. Estas absorciones muestran características únicas para cada uno de los gases.

Algunos sensores necesitan órdenes para poder iniciar su medida, estas órdenes se envían mediante software, en la mayoría de los sensores la señal de salida obtenida de los sensores no es apta para su procesamiento por lo que se necesita adaptarla y procesarla antes de hacer uso de los datos adquiridos por el sensor.

### **2.1.4 Sistema Tarjeta Multi-Parámetro (TMP)**

El sistema TMP es un sistema electrónico compuesto por partes hardware y software, capaz de procesar diferentes señales físicas, en la adquisición de datos de diferentes sensores conectados al tiempo, control y monitorización de parámetros medio-ambientales de forma remota, ofreciendo toma de muestras en tiempo real para zonas vulcanológicas. El sistema incluye un software especializado de gestión que almacena la información en una base de datos localizada en un servidor, generando las alarmas necesarias ante eventos que propicien posibles riesgos relacionados con la actividad volcánica [35]. El sistema TMP (Figura 2-3) es un sistema integral que se puede personalizar según las necesidades del campo de estudio, es un sistema muy versátil y fácil de operar.



Figura 2-3. Sistema TMP. Fuente: Schüler Weage.

El sistema TMP cuenta con la capacidad de procesar medidas de inclinación, flujo magnético, potencial espontáneo, emisión de gas radón, temperatura y detección de flujos de lodo, mediante su configuración hardware y software se convierte en una herramienta muy versátil en el momento de realizar monitoreo remoto debido a que su diseño fue pensado de forma modular, razón por la cual logra abarcar un amplio rango de aplicaciones [35].

### **2.1.5 Interfaz**

La interfaz de usuario es una superficie de contacto entre quienes interactúan y las funciones a realizar organizando una inclusión que genera un balance de poder y control [36]. Es importante darse cuenta en un primer nivel de que la interfaz refleja las cualidades físicas de las dos partes de la interacción. Se encuentran dos conceptos básicos que se deben tener en cuenta al momento de diseñar una interfaz. El primero, la visibilidad que sirve para hacer perceptible un objeto que realiza alguna acción. El segundo la comprensión intuitiva, o propiedad de ser evidente es la facilidad que proporciona la interfaz para que el usuario sepa que acción realizar y como hacerla.

## 2.2 Estado actual del conocimiento

Se realizó un mapeo sistemático basado en la metodología propuesta en el capítulo 1 sección 1.3, con el fin de obtener una visión general del área de investigación y localizar brechas y aportes para el proyecto. Los temas de interés fueron los siguientes: técnicas de medición de dióxido de carbono, principio de funcionamiento de sensores, interfaz gráfica, desarrollo de páginas web y sistema TMP.

Para realizar este mapeo se consultaron las siguientes bases de datos de investigación científica IEEE Xplore y Scopus. Entre las dos bases de datos se obtuvieron artículos relacionados con los temas de investigación entre los años 1989 hasta 2017. Cabe mencionar que el anterior resultado se limitó mediante el uso de palabras claves, aportes y brechas para el desarrollo del proyecto, encontrando diferentes aportes de los autores para la selección del sensor, metodologías existentes para la monitorización de dióxido de carbono cada uno indicando las brechas entre los autores y el proyecto desarrollado, generando claridad en el momento de realizar las selecciones de tecnologías y orientando el trabajo sobre los procedimientos a seguir.

Todas las investigaciones revisadas son resumidas teniendo en cuenta aspectos de implementación, resultados y conclusiones, a continuación se resaltan los principales trabajos relacionados con el desarrollo del proyecto.

En [37] los autores indican el uso de enlaces ópticos únicos con mediciones de tiempo continuo para investigar los mecanismos de descarga y difusión de CO<sub>2</sub> en la atmósfera con múltiples manifestaciones. Esto es particularmente útil por ejemplo para comprobar el riesgo para la salud de seres humanos y animales, el CO<sub>2</sub> tiende a acumularse en la superficie del suelo.

El funcionamiento del sensor NDIR se basa en la absorción de la luz infrarroja debido a la presencia del gas a detectado. Dependiendo de la concentración del gas, la intensidad luminosa que llega a un sensor foto detector cambia, dando así información sobre la presencia y concentración del gas [38].

Los dispositivos con que utilizan la técnica NDIR, se caracterizan por su bajo consumo de energía comparado con el sensor de gas convencional y la posibilidad de ser polarizados en rangos de baja tensión. Es por ello que este método no dispersivo se utiliza cada vez más para medir la concentración de CO<sub>2</sub>. [39].

En [40] los autores implementan una red de bajo costo que consiste en medir la absorción de CO<sub>2</sub> mediante un Applet JAVA y programas cliente lenguaje C, los autores exhiben diferentes tecnologías utilizadas en el momento del desarrollo de

su proyecto, con la información obtenida de este artículo se orientó para la selección de la tecnología a utilizar de acuerdo a las limitaciones, usos y existencia de las tecnologías usadas por los autores.

Ahora bien, esta investigación no tendría sentido si sus avances y propósitos redundaran sobre planteamientos ya abordados, por lo que se hace necesario la búsqueda y documentación bibliográfica sobre textos y artículos desarrollados alrededor del objetivo de la presente investigación.

### 2.2.1 Trabajos relacionados

En la siguiente tabla se encuentran los trabajos investigativos que fueron de gran aporte al desarrollo del proyecto, estos fueron parte de la documentación que permitió conocer aspectos importantes en el momento de realizar la estructura del diseño y la implementación de cada uno de los componentes. A continuación se encuentran clasificados estos trabajos en la Tabla 2.

Tabla 2. Trabajo relacionados del subsistema electrónico

Ítem	Título	Enfoque	Aporte	Brechas
1	Diseño y construcción de un prototipo portátil de monitoreo ambiental, mediante un sistema de adquisición de datos portátil con comunicación USB hacia un PC [41]	El proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de detección de variables, que contaminan el medio ambiente	La adquisición de las señales de los sensores acondicionados se realiza a través de varios protocolos de comunicación	Protocolos de comunicación basados en la plataforma TMP



2	Estudio sobre sensor de CO2 basado en NDIR para el monitoreo de la calidad de aire a distancia	Evaluar los sensores de CO2 en base NDIR para verificar potencialidades aplicables de ellos en un sistema de monitoreo de la calidad del aire a distancia.	Características de los sensores	El sistema se encontrará en un ambiente no controlado
3	Nodo autónomo para la medida ambiental de CO2, temperatura y humedad [42]	La medida ambiental del nivel de CO2, temperatura y humedad.	El sistema de alimentación incorpora un convertidor DC-DC elevador que minimiza el consumo de las pilas.	El sistema propuesto tiene una fuente de alimentación fija
4	Operación de Redes Telemétricas de baja potencia en ambientes severos [43]	Los principales problemas relacionados con el mantenimiento del equipo electrónico en volcanes o en ambientes severos	Materiales idóneos a utilizar en ambientes severos	Sistema medidor de CO2
5	Diseño de un sistema digital de monitoreo de lahares en tiempo real [44]	Desarrollo de una interfaz que mide las variaciones producidas por el paso de un lahar.	Metodología utilizada en la comunicación de la estación remota y la estación base	La comunicación es entre el prototipo y un sistema existente

## 2.3 Generalidades del proyecto

Uno de los pasos esenciales para el desarrollo de este proyecto fue la selección del sensor a utilizar dado que los requerimientos de la empresa eran especiales, así que después de realizar un estudio de los requerimientos técnicos de la empresa (Anexo 1) y las especificaciones técnicas de los sensores existentes en el mercado (Tabla 3), se realizó una tabla comparativa respecto a las características técnicas solicitadas por la empresa para realizar la correcta selección del sensor donde se observan similitudes y diferencias entre los mismos. Para ello, se verifican y comparan las aplicaciones de los sensores, la tecnología con la que toman los datos, la accesibilidad en el manejo, la comunicación con otros dispositivos, la potencia y alcance de toma de muestras, el costo y la adaptación a diferentes plataformas. Teniendo en cuenta que muchas plataformas son propietarias, para el proyecto se hace necesario un sensor con una plataforma de medición abierta y adaptable al sistema TMP. Para la selección del sensor se consideran las características de: rango de medida, variables medidas, potencia, temperatura de operación, método de comunicación.

Tabla 3. Características sensores CO2.

<b>SENSORES/ CARACTERISTICAS</b>	Board IRC- A1 CARBON DIOXIDE	K33 CO2 METER	CM1102 WUHAN CUBIC	LI-COR LI- 8100
Rango de medida	5,000ppm	0- 10,000ppm	0-10,000ppm	0-20,000ppm
Variables medidas	CO2	CO2 , Temperatura, humedad	CO2 , Temperatura, humedad	CO2 , Temperatura, humedad, Presión
Potencia	0.26W	3W	0,6W	36W
Temp. operación	(-20 a 50 °C)	0 a 50°C	0-50°C	(-20 a 45°C)
Tiempo de respuesta	< 40s	<25s	60s	40s
Comunicación	USB/RS232 Adap SW 19,200bps TTL 4v	I2C / RS232 TTL 3,3v	RS232 - TTL,0-4v	57,600 bps

Tras estudiar el funcionamiento de algunos de los sensores disponibles en el mercado, se observa que algunos de ellos tienen limitaciones en la adaptación con otras plataformas, debido a que sus fabricantes no facilitan a través de interfaces y/o protocolos de comunicación la capacidad de adaptación con plataformas desarrolladas por terceros, por el contrario, la adquisición de los datos es exclusiva mediante el uso de software propietario, lo que se hace inadecuado para cumplir los requerimientos de la empresa Schüler Weage, en cuyo caso se requiere de un sensor que tenga propiedades de adaptabilidad con la TMP y que la adquisición de los datos sea abierta. De acuerdo con las características de los sensores expuestos en la Tabla 3 y los requerimientos técnicos de la empresa (Anexo 1), se realiza una comparación incluyendo la característica costo/beneficio mostrado en la siguiente tabla (Tabla 4).

Las casillas marcadas en la Tabla 4 indican los cumplimientos de los requerimientos solicitados por la empresa Schüler Weage, contemplando el costo de los sensores para ser incluido en el presupuesto del sistema TMP completo. En consecuencia al estudio previo de las características de los sensores en el mercado, se seleccionó el sensor CM1102, que cumple con los requerimientos técnicos y presupuestales.

Tabla 4. Comparación de características

<b>SENSORES/ CARACTERISTICAS</b>		Board IRC-A1 CARBON DIOXIDE	K33 CO2 METER	CM1102 WUHAN CUBIC	LI-COR LI-8100
Características	Requerimientos				
Rango de medida	0 - 10,000 ppm		x	x	x
Variables medidas	CO2,T,H		x	x	x
Potencia	< 0,7W	x		x	
Temp. operación	0-50°C	x	x	x	x
Tiempo de respuesta	< 60s	x	x	x	x
Comunicación	Serial	x	x	x	
Costo	< \$300,000 COP			x	

## CAPÍTULO 3: DISEÑO PROTOTIPO DIÓXIDO DE CARBONO

En este capítulo se mencionan los diseños lógicos para el planteamiento y desarrollo de una técnica para la medición y monitorización de dióxido de carbono presentando los elementos y procedimientos para el diseño del prototipo basado en la plataforma de desarrollo de la empresa Schüler Weage. Para mayor claridad se presenta el diagrama en la Figura 3-1 de los elementos que componen el prototipo de dióxido de carbono.

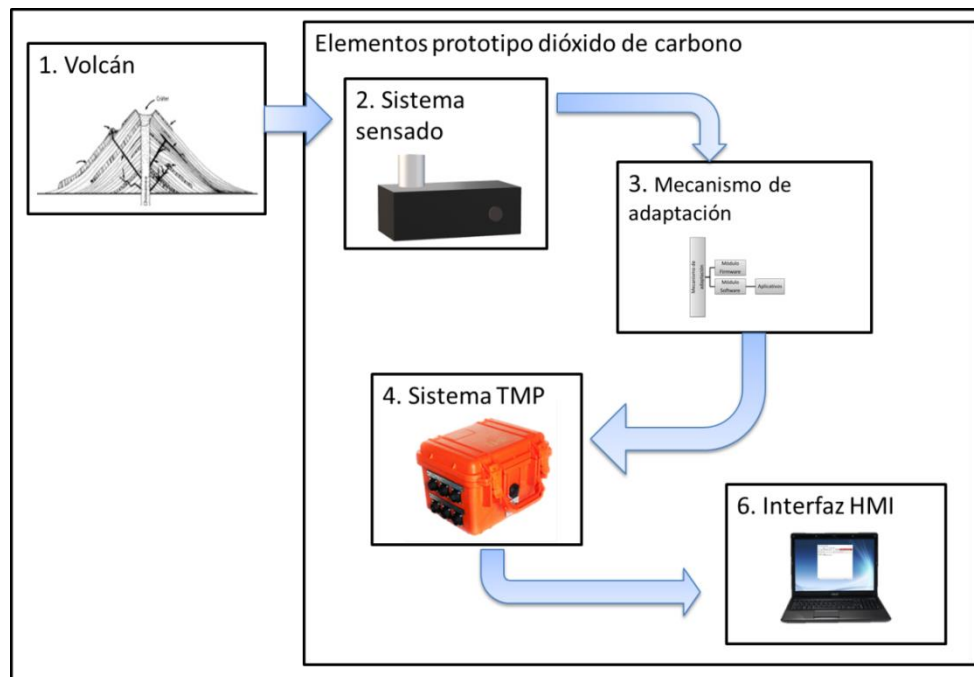


Figura 3-1. Conjunto de elementos del prototipo medidor de dióxido de carbono.

En la Figura 3-1, se muestran los elementos que hacen parte de la técnica utilizada para la medición y monitorización en el prototipo medidor de dióxido de carbono donde:

1. Volcán: Es la fuente o ambiente de toma de muestras, donde el prototipo final funciona.
2. Sistema sensado: Es el sistema de sensado que se divide en el sensor de dióxido de carbono y el circuito de comunicación.
3. Mecanismo de adaptación: Se encuentra el mecanismo de adaptación que se divide en dos módulos. Primero, el firmware que indica el diseño de la estructura principal de adaptación entre el sensor y el dispositivo conectado a él. Segundo, el módulo software que indica el diseño de los aplicativos desarrollados para complementar la técnica para la medición y monitorización de dióxido de carbono.

4. Sistema TMP: Se comenta sobre el sistema TMP, sus características y elementos utilizados para el proyecto.
5. Interfaz HMI: Se detalla la interfaz software o HMI diseñada para la comunicación usuario dispositivo. Anexo a esto se realizó la interacción sensor- HMI de forma directa como se muestra en la Figura 3-2.

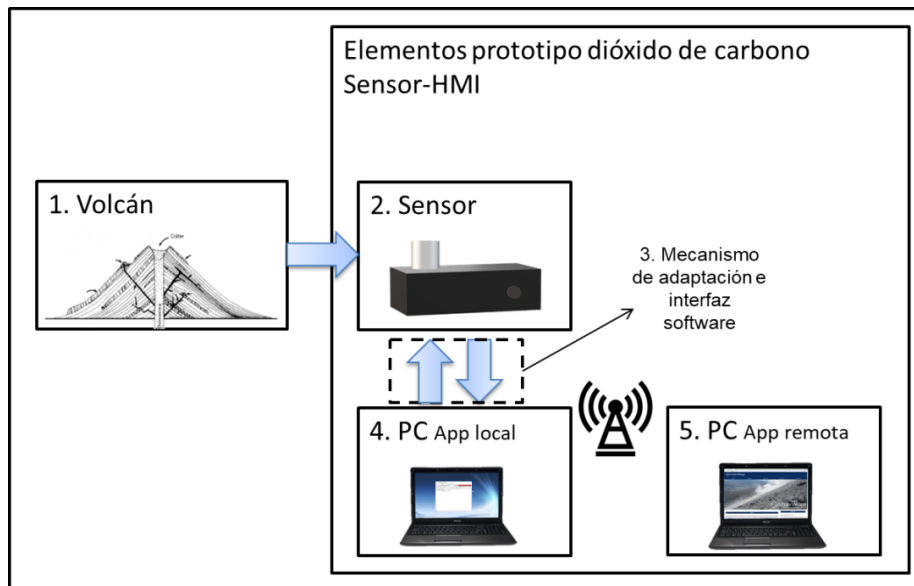


Figura 3-2. Elementos Sensor - HMI

En la Figura 3-2, se indica los elementos que hacen parte de la configuración de medición entre el sensor y la interfaz de usuario. En 1, se encuentra la fuente de los datos o zona de monitorización. En 2, se encuentra el sensor de dióxido de carbono y el circuito de comunicación. En 3, se indica el mecanismo de adaptación interno del sensor y la interfaz de usuario que se despliega en 4 y 5, teniendo en cuenta que en 4 se encuentra la aplicación local y en 5 se pueden visualizar y monitorizar los datos desde la plataforma web de la empresa.

### 3.1 Diseño

Para el prototipo a desarrollar se hace necesario diseñar un conjunto de procedimientos que se acoplen entre sí para el planteamiento de una técnica de medición y monitorización de dióxido de carbono. A continuación, se presenta el diseño de los elementos que hacen parte del prototipo medidor de dióxido de carbono.

Para el diseño del prototipo se tienen en cuenta tres clases de requerimientos:

Ambientales, electrónicos y mecánicos. Con respecto a los requerimientos ambientales el sensor seleccionado cumple con el rango de medida de operación en zonas volcánicas, su rango de medición esta entre 0 y 10.000 ppm lo que es

suficiente para detectar las variaciones producidas por el volcán. Su resolución temporal para medición o adquisición de muestras es 1 minuto [45], lo suficiente para realizar la monitorización del dióxido de carbono, además, en la práctica de la medición de dióxido de CO<sub>2</sub> con un muestreo horario es suficiente.

Con respecto al requerimiento electrónico el sensor y los elementos que componen el proyecto están diseñados para tolerar temperaturas entre 0°C y 2°C, característicos en la cima del volcán. El empaquetado superficial del sistema está diseñado de forma hermética para evitar filtraciones de agua que causen daños en los componentes electrónicos. El sistema cumple con la norma IP66.

### 3.1.1 Sistema de sensado

De acuerdo con los requerimientos proporcionados por la empresa, (Anexo1) se realizó un estudio para elegir el sensor más conveniente para la medición de dióxido de carbono y que cumpliera con los parámetros definidos. Teniendo en cuenta su costo, fácil manipulación y plataforma de medición abierta, los estudios pertinentes se encuentran en la sección 1.3 Generalidades del proyecto.

#### 3.1.1.1 Sensor de dióxido de carbono

El sensor de dióxido de carbono debe cumplir con los requerimientos designados por la empresa (Anexo1), después de una comparación de características: físicas, consumo de potencia, rangos de operación, nivel de adaptabilidad, precios y disponibilidad en el mercado se propone la compra del sensor CM1102 Figura 3-3, que adopta la tecnología infrarroja no dispersiva (NDIR), proporcionando las variables necesarias para realizar la medición y teniendo la facilidad de adaptación a diferentes sistemas, las características técnicas del sensor se muestran en la Tabla 5.



Figura 3-3. Sensor Dióxido de Carbono

Tabla 5. Características del sensor CM1102- Especificaciones técnicas.

<b>Tabla de características</b>	
Tecnología	NDIR
Rango	0-2000ppm hasta 0-10000ppm
Exactitud	+/- (40ppm + 2% Leyendo)
Tiempo de respuesta	60s
Sensor de Temperatura	-10°C a 50°C Resolución:0.1°C Exactitud: 0.5°C
Sensor de humedad	5~99%RH Resolución: 0.1%RH Exactitud: 5% RH
Rango de temperatura	0°C – 50°C

- **Comunicación**

El módulo CM1101, utiliza el protocolo de comunicación serial, por medio de petición de datos, en el momento que se desea calibrar o solicitar un dato, se le envía un comando en formato hexadecimal y el sensor responde con una cadena hexadecimal. La trama de datos para el correcto funcionamiento del sensor es presentada a continuación:

Trama: [IP] [LB] [CMD] [DF] [CS]

Dónde:

[IP]= Dirección (Fijado en 11).  
 [LB]= Longitud de Byte.  
 [CMD]=Comando  
 [DF]= Parámetros con comando (Opcional).  
 [CS]=  $CS=100-(IP+LB+CMD+DF)$ .

Enviando la siguiente trama de datos al sensor (IP=11, LB=01, CMD=01, CS=03), se estará pidiendo al CM1102 que se active y que adquiera datos, para lo cual el sensor responderá con la siguiente cadena: [ACK] [LB] [CMD] [DF] [CS].

La cadena que el sensor envía como respuesta a la petición, está en formato hexadecimal y tiene codificada todas las variables medidas. Al estudiar la hoja de características del sensor, se observa que la cadena debe ser separada por tramas de datos (bits) más pequeñas y posteriormente convertidas a valores reales de variables físicas mediante el uso de modelos matemáticos proporcionados por el fabricante.

- **Modelo matemático generado por el fabricante**

Indicador	Datos	Valor decimal	Valor correspondiente	Múltiplo
CO2	[DF1][DF2]	0-5000	0 – 5000 ppm	1
Temperatura	[DF3][DF4]	0 – 700	0 – 70 °C	10
Humedad	[DF5][DF6]	50 - 990	5 – 99.0%	10

Las medidas son expresadas en dos bytes la medición es (Ver Ecuación ( 1 )):

$$X = (DF_n * 256 + DF_{n+1}) / y \quad (1)$$

Donde

X= La variable medida (CO2, Temperatura, Humedad)

DFn= Dato de la cadena.

Y= Divisor.

- **Adaptador de comunicación**

Para el diseño del adaptador de comunicación se hace necesario que tanto en la transmisión como en la recepción se utilice un circuito de adaptación por lo que el integrado es alimentado con 3.3v para que sea compatible con la salida de comunicación del sensor de dióxido de carbono, por lo que en el mercado se encuentra el integrado de comunicación MAX3232 que tiene como entrada de alimentación desde 3.3V [46], seguido a esto se realiza la implementación del circuito de comunicación indicado en la Figura 3-4.

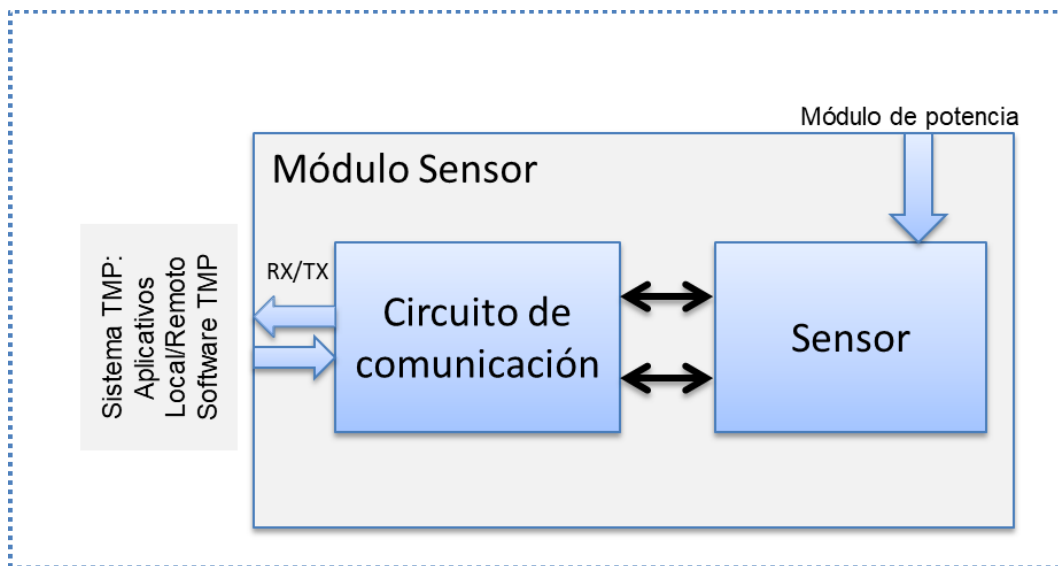


Figura 3-4. Esquema conexión módulo sensor.



### 3.1.2 Mecanismo de adaptación

El mecanismo de adaptación del prototipo medidor de dióxido de carbono se divide en módulos presentados en la Figura 3-5.

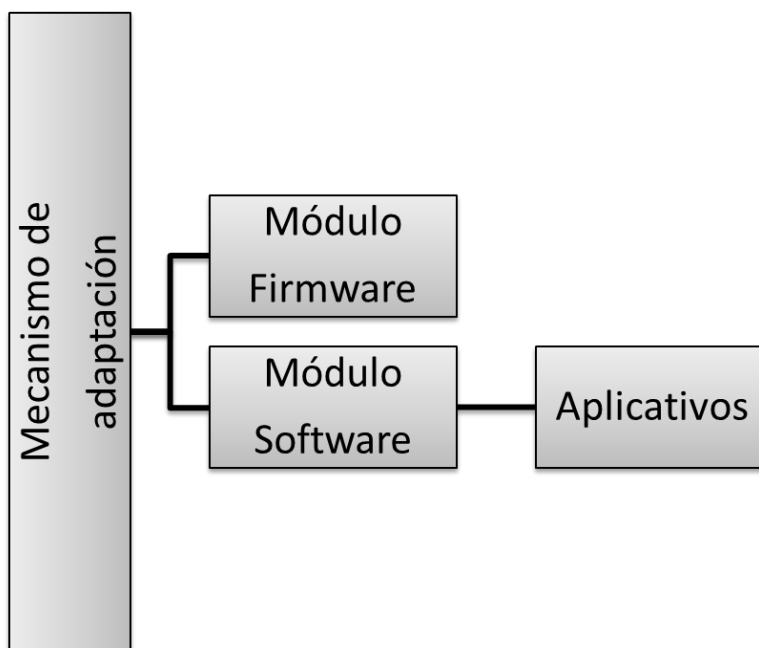


Figura 3-5. Estructura mecanismo de adaptación.

#### 3.1.2.1 Módulo Firmware

En este apartado se diseña la estructura firmware (Figura 3-7), del mecanismo de adaptación del prototipo medidor de dióxido de carbono para la adquisición de datos del sensor seleccionado en la sección 1.3 Generalidades del proyecto.

Una vez finalizada la configuración hardware del sistema, se procede a realizar la configuración software tanto de sistema TMP 3.6 como del equipo donde se vayan a recibir los datos, para el correcto funcionamiento de estos equipos se tiene en cuenta las características de: Alimentación de entrada, capacidad de procesamiento, voltaje y corriente de salida del microcontrolador, además del tipo de comunicación externa mostrado en la Figura 3-6.

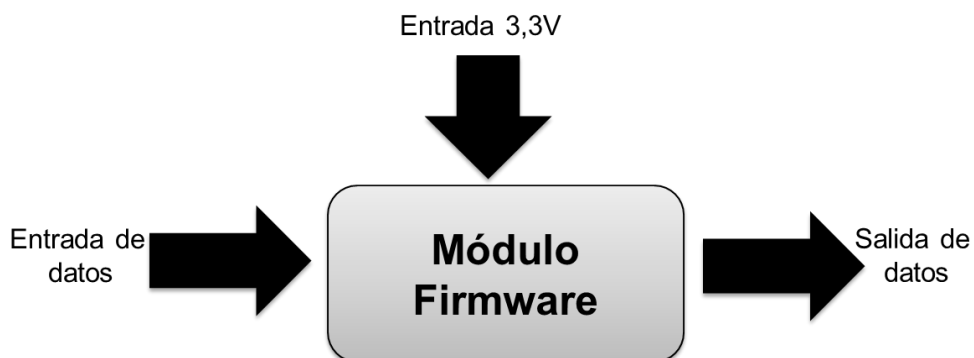


Figura 3-6. Diagrama entradas y salidas firmware.

La señal de alimentación 3,3V es el voltaje necesario para permitir la energización del dispositivo y correcto funcionamiento del controlador donde está programado el firmware del mecanismo de adaptación (Figura 3-7), como señal de salida se encuentran los comandos de petición al sensor enviadas mediante el protocolo de comunicación RS232 (Recommended Standard 232) y la utilización de un circuito electrónico (Ver Figura 4-2) de fácil conexión, bajo consumo de energía, bajo costo, tipo de encapsulado y tamaño [46], que facilita la comunicación entre el sistema TMP o la interfaz HMI y el sensor.

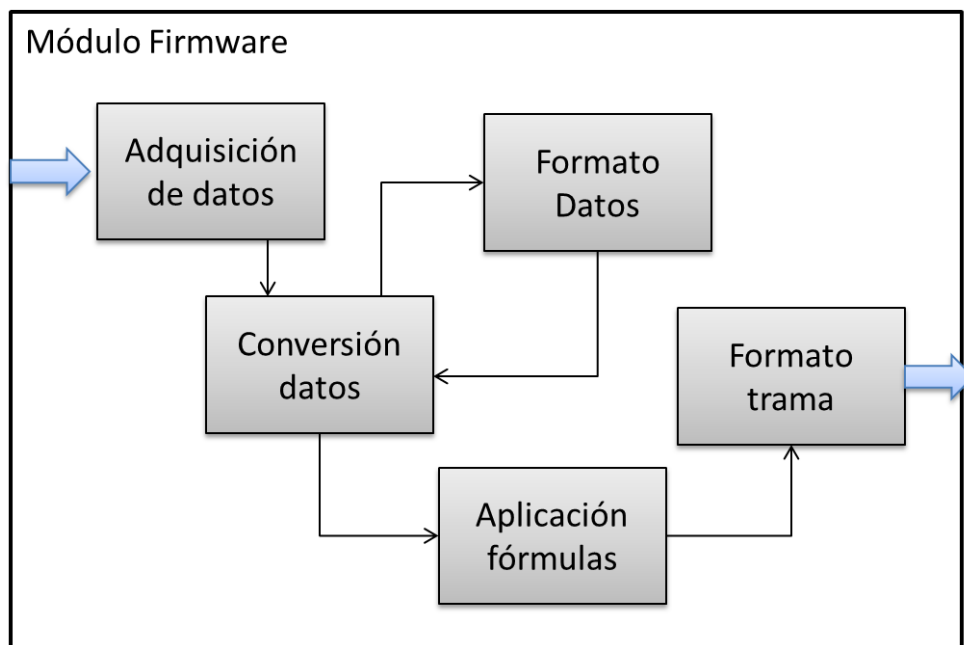


Figura 3-7. Diagrama módulo firmware.

El módulo firmware está separado lógicamente en componentes, el componente de adquisición de datos se encarga de enviar la solicitud de los datos al sensor, dar un tiempo de espera mientras el sensor responde y leer los datos generados por el mismo. Una vez se tengan los datos se realiza un filtro para seleccionar los

datos de interés. Para el proyecto estos datos sirven como entrada al componente de conversión de datos que se encarga de convertirlos en caracteres trabajables para su manipulación. El componente formato de datos es el encargado de separar y adecuar la información recibida volviendo a enviar la información al componente de datos para la adecuación y envío al componente de aplicación de fórmulas otorgadas por el fabricante para obtener las medidas en función de partes por millón (ppm) para el CO<sub>2</sub>, grados centígrados (°C) para temperatura y porcentaje de humedad (%). Después del componente de aplicación de fórmulas la información se envía al componente formato trama para ser convertido y organizado para el manejo en el módulo HMI.

### **3.1.2.2 Módulo Software**

En el módulo software se analiza la integración de las tecnologías necesarias para el desarrollo de un sistema que permita la adquisición y posterior procesamiento de los datos.

Dentro de las características funcionales del sistema, se tiene que este sea comprensible y cómodo para el usuario final, prestando los servicios de adquisición y manipulación de los datos por medio del sistema TMP o HMI-sensor.

Se realizan las aplicaciones de desarrollo de adaptación entre el sensor y el sistema TMP o directamente con la interfaz HMI de manipulación directa donde se utiliza un lenguaje de programación Java y el IDE Netbeans. Este tipo de tecnología y ambiente de desarrollo se enfocan en ofrecer un entorno cómodo para los desarrolladores, poniendo a disposición diferentes herramientas que facilitan el diseño y la creación de interfaces gráficas para el manejo de datos. Por otro lado se hace uso del programa Spring Tools para realizar la conexión entre una plataforma web y el controlador del dispositivo de sensado. De igual manera se desarrolla la aplicación de dióxido de carbono para la manipulación a través del sistema TMP, utilizando el lenguaje de programación C, haciendo uso del compilador C30 y un entorno de desarrollo integrado MPLABX. A continuación, se habla de forma más detallada sobre el diseño de cada una de estas estructuras:

- **HMI -Sensor:**

Para el diseño de la conexión entre el módulo del sensor y el módulo HMI, en primer lugar, se plantea que este sea comprensible y cómodo para el usuario final, para ello se hace uso del protocolo de comunicación RS232 para realizar la conexión física entre los elementos (Figura 3-8), posteriormente implementando el diseño firmware se accede a los datos de forma local o desde la plataforma web de la empresa. El usuario podrá acceder a los datos, extraerlos y programar su medición en un rango de tiempo predeterminado.



Figura 3-8. Conexión elementos HMI-Sensor

- **Aplicativo de Acceso Local:**

Para el diseño del firmware de consulta local de los datos, se hizo uso del lenguaje de programación JAVA con su IDE Netbeans. Al realizar el diseño de la estructura software, se plantearon mecanismos que facilitaron la interacción del usuario con el equipo medidor de dióxido de carbono, como se muestra en la Figura 3-9.



Figura 3-9. Diagrama de flujo para la adquisición de datos del sensor CM1102.

El diagrama de la Figura 3-9 muestra la secuencia lógica que realiza el proceso de adquisición de datos del sensor. El sistema inicia su funcionamiento validando si el usuario se encuentra registrado en el sistema, si el usuario no está registrado aparece un mensaje de error y vuelve a solicitar llenar los campos. Si el usuario si está registrado en el sistema se ejecuta el programa de adquisición de datos, la primera acción al tener acceso al programa es seleccionar el puerto donde está conectado el sensor si no se realiza la selección del puerto el sistema no procede a realizar la conexión por lo que se queda a la espera de la selección del puerto, si se selecciona el puerto que tiene conectado el sensor el programa abre el puerto de comunicación por lo que queda habilitado y en se puede solicitar los datos, seguido a esto se espera la respuesta del sensor he internamente se realiza el procesamiento de los datos, después de visualizarlos se puede guardar la información en un archivo .txt.

- **Aplicativo de acceso remoto**

El diseño del firmware de consulta remota de los datos es implementado con el API de las librerías Spring Tools, es un entorno de desarrollo basado en Eclipse que se especializa para el desarrollo de aplicaciones web. Proporciona un entorno para implementar, depurar, ejecutar y desplegar las aplicaciones de Spring, incluyendo integraciones para Pivotal tc Server, Pivotal Cloud Foundry, Git, Maven, AspectJ y viene en las últimas versiones de Eclipse [47]. Al realizar la estructura del firmware, se plantean pasos que suministren la fácil interacción del usuario con el equipo medidor de dióxido de carbono. Figura 3-10.

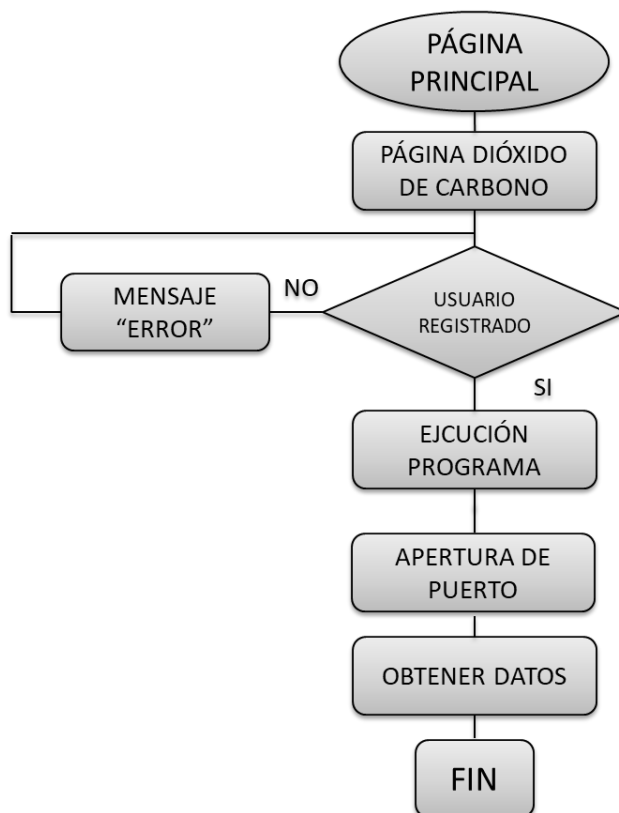


Figura 3-10. Diagrama de flujo diseño Web para adquisición de los datos.

En la Figura 3-10 se muestra el diagrama de flujo del diseño de la página web para acceder a la adquisición de datos de forma remota, al iniciar con el proceso se tiene que se ingresa a la página web, después de esto se ingresa a la opción de dióxido de carbono ubicados en esa página el programa pide identificación del usuario para poder acceder a visualizar los datos después de validar la información del usuario y si está registrado en la base de datos de la empresa se ejecuta el programa y abre el puerto de comunicaciones establecido en el momento de realizar la conexión en el computador principal, seguido a esto se puede solicitar los datos e inmediatamente se podrán visualizar en la página.

- **Módulo Adquisición de datos**

Para iniciar con el diseño de la adquisición de datos HMI-sensor se plantea una estructura software tanto en el aplicativo local, como en el aplicativo remoto, donde el programa revisa la lista de puerto habilitados, se escoge el puerto donde está conectado el equipo, posterior a esto se hace la apertura del puerto configurando los parámetros de comunicación, seguido a esto se hace la solicitud de datos para que el sensor o el equipo responda la solicitud enviada, utilizando el modelo maestro-esclavo de uso público como se muestra en la Figura 3-11.

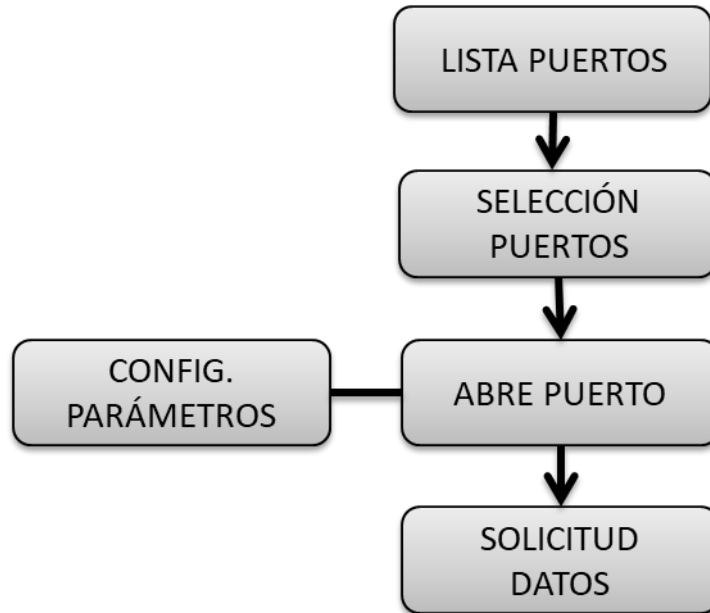


Figura 3-11. Diagrama estructura adquisición de datos.

La solicitud de datos se realiza enviando por el puerto serial comandos otorgados por el fabricante, los cuales se encuentran en la hoja de datos del equipo. Para realizar el correcto envío de comandos se debe implementar un circuito de acoplamiento entre el computador y el sensor para que la señal se transmita correctamente. Los elementos de la petición de datos se pueden visualizar en la Figura 3-12.

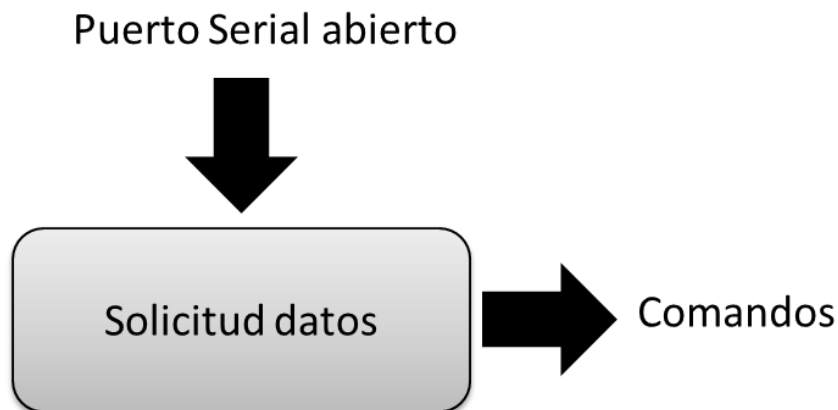


Figura 3-12. Diagrama de entradas y salidas adquisición de datos.

Teniendo el puerto serial abierto se procede a realizar la solicitud de los datos al sensor, esto se hace enviando una trama de comandos especificando en la cadena hexadecimal los parámetros establecidos por el fabricante.

- **Módulo procesador de Datos**

En el diseño del módulo procesador de datos, el firmware después de recibir los datos del sensor de Dióxido de carbono realiza un procesamiento de la trama (Ver Figura 3-13) que constituye en primer lugar, hacer una conversión de hexadecimal a string para después dividir en subcadenas de interés y así calcular los valores deseados a través de los modelos matemáticos proporcionados por el fabricante, después se realiza la presentación de los datos a través de las tres interfaces gráficas disponibles al usuario y de igual manera se guardan en un archivo de texto para que el usuario pueda procesar, observar históricos en las medidas y en general usar la información en futuros trabajos.



Figura 3-13. Estructura de adquisición y procesamiento de datos.

Como indica la Figura 3-13 al recibir la respuesta del sensor el programa realiza la lectura de los datos que están en el puerto serial, con los datos se realiza una conversión para tener seguridad de la cantidad y veracidad de los datos, posteriormente se realiza la selección de los datos a utilizar realizando una división de la cadena para poder ingresar los valores a las formulas otorgadas por el fabricante al obtener los datos de cada variable se imprime para que el usuario lo visualice.

Siguiendo un procedimiento se obtiene los datos generados por el sensor para su procesamiento



- **Aplicación de dióxido de carbono.**

El diseño de la aplicación de dióxido de carbono para el sistema TMP es basado en el software de desarrollo de medición del sistema, el programa debe funcionar bajo los esquemas de diseño del software TMP y generar un mecanismo de medición de dióxido de carbono que realice la lectura de datos del sensor la lectura del estado de la batería que alimenta el sistema y la lectura de la temperatura interna y externa, para ello se diseña una estructura para la implementación del código como se muestra en la Figura 3-14.

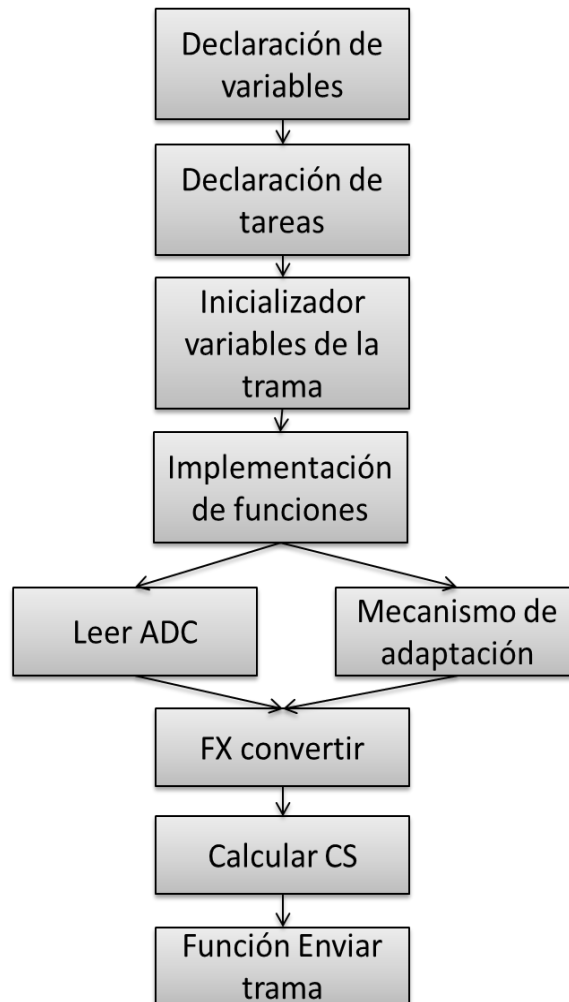


Figura 3-14. Diseño de la estructura de la aplicación de dióxido de carbono

En la Figura 3-14 se diseña la estructura base de la aplicación de dióxido de carbono iniciando con la declaración de las variables que guardan los datos que son mostrados en el Terminal del TMP Control, seguido a lo anterior se declaran las tareas necesarias para realizar el procesamiento de los datos y su

visualización, posterior a esto, se realiza la inicialización de las variables de la trama en 0 y con sus respectivos indicadores de separación teniendo el orden indicado en la Tabla 6 basado en el protocolo de comunicación GEODATA de la empresa Schüler Weage, asimismo se implementan las funciones para el desarrollo del programa donde la función de leer el ADC se revisa el valor que tiene los pines indicados del microcontrolador donde se encuentra la medida de la batería la lectura de los valores de temperatura interna y externa del sistema TMP, en la función leer sensor CO2 se adquiere la medida de las variables de dióxido de carbono, temperatura del sensor y la humedad, después de tener todos los datos se ingresan a la función convertir donde se realiza el pre procesamiento de los datos convirtiendo en valores calculables para las ecuaciones otorgadas por el fabricante del sensor CM1102 con lo anterior se calcula el valor del Cheksum y se envía la trama todo lo anterior hace parte del archivo .hex el cual es el archivo de aplicación que se carga y ejecuta desde la aplicación TMP control para que el sistema funcione junto con algunas configuraciones.

Tabla 6. Caracteres de la trama de dióxido de carbono

<b>Carácter</b>	<b>Número de caracteres</b>	<b>Descripción</b>
S	1	Carácter de inicio de trama
00	2	Contador de trama
32	2	Versión de la trama
NetName	6	Nombre de la Red
EstName	6	Nombre de la estación
CO	2	Nombre de la metodología
SERI	4	Serial de la tarjeta
D5	2	Indicador
+00000	6	Concentración de CO2
+000	4	Temperatura de sensor CO2
+000	4	Humedad de sensor CO2
+0000	5	Temperatura Externa Sistema TMP
+0000	5	Batería del sistema
+0000	5	Temperatura interna en la TMP
Csum	4	Cheksum
W	1	Final de la trama

El sistema TMP inicia mediante la ejecución del aplicativo TMPControl, utilizando la opción de configuración se sintonizan los parámetros iniciales para realizar la comunicación sensor-TMP-PC. Posteriormente se carga el archivo .hex en la memoria del sistema que contiene las instrucciones para la medición de dióxido de carbono, el proceso continua y el sistema habilita tres modos de funcionamiento como se muestra en la Figura 3-15.

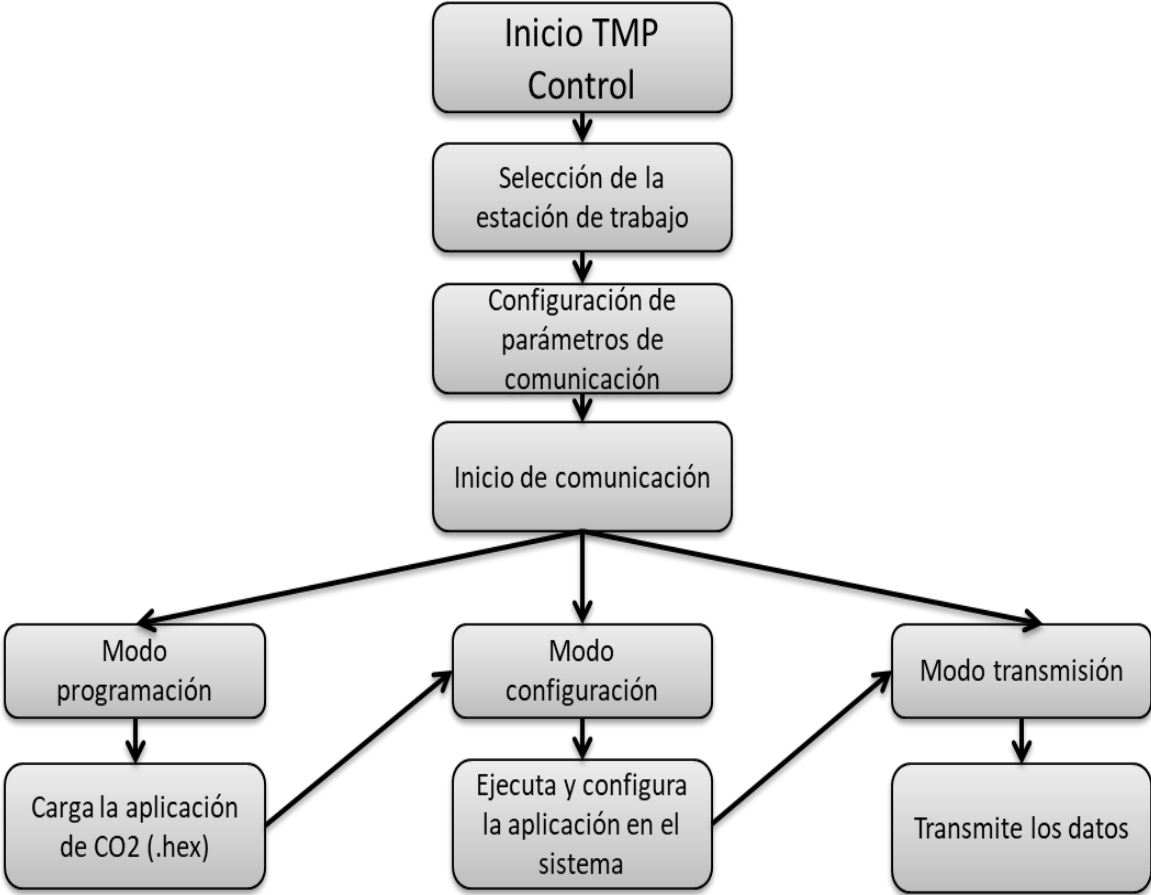


Figura 3-15. Diagrama procesos ejecución del programa.

A continuación se detalla los modos de operación y se indican los comandos utilizados para cambiar de estados (Ver Figura 3-16) donde programación (PP) es el modo que permite obtener información básica del sistema, como cambiar las licencias y cargar las aplicaciones, configuración (CC): en este modo de funcionamiento el sistema permite realizar la configuración de la aplicación que se encuentre funcionando en el momento y en el modo transmisión (TT) el sistema va

a estar ejecutando las rutinas de medición, procesamiento y transmisión de la información requerida por la aplicación instalada.

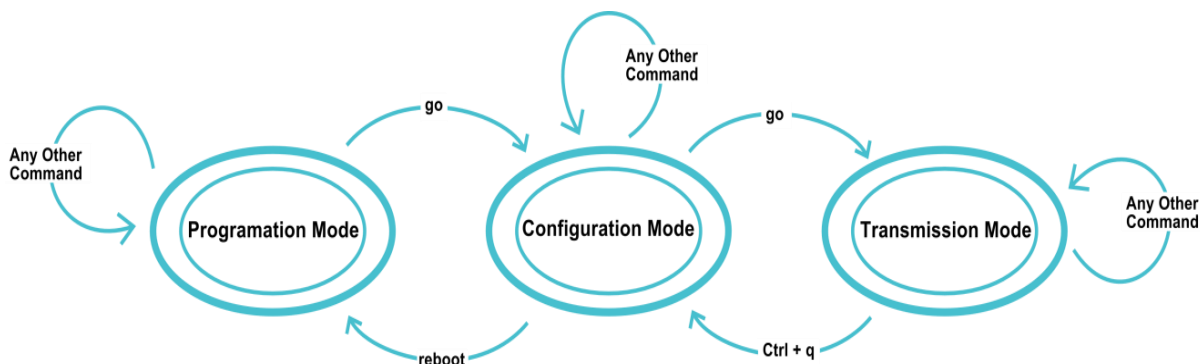


Figura 3-16. Diagrama de estados para el manejo de los modos de operación del sistema. Fuente: Tomado de: Manual de usuario TMP Control.

### 3.1.3 Sistema TMP

En este apartado se aborda el sistema Multipropósito desarrollado por la empresa Schüler Weage. Se realiza una descripción general sobre su funcionamiento, tipo de protocolo de comunicación utilizado y aplicaciones, el diagrama de las partes a utilizar del sistema TMP se muestran en la Figura 3-17.

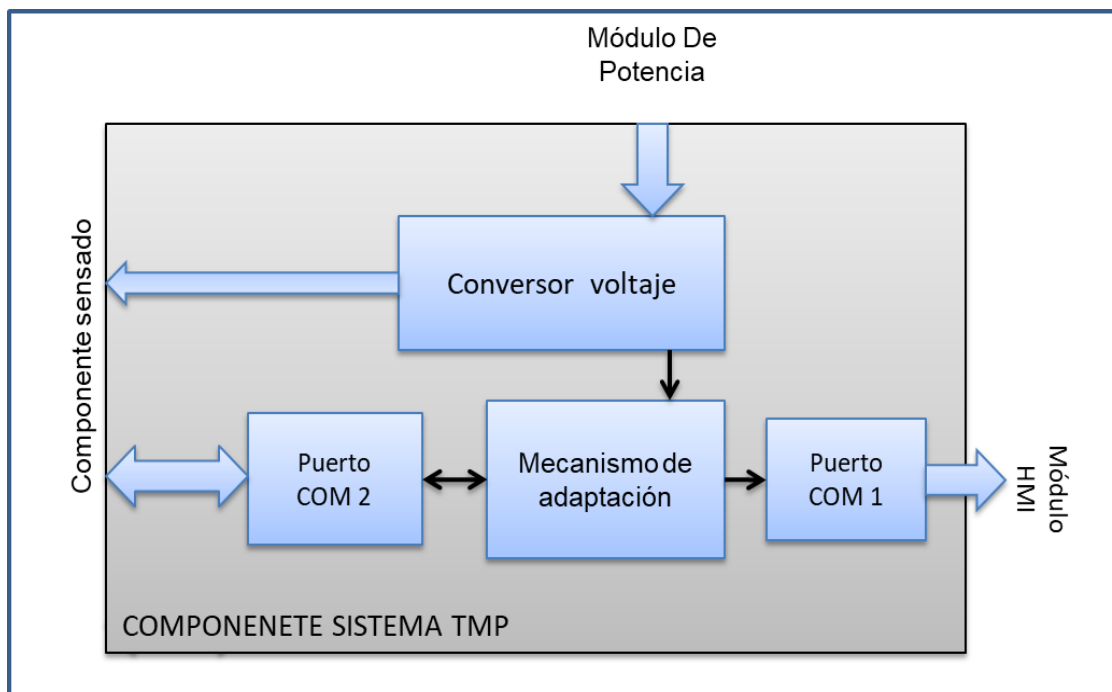


Figura 3-17. Diagrama componente sistema TMP. Fuente Propia

### 3.1.3.1 Sistema TMP (Tarjeta Multipropósito)

El sistema TMP es una herramienta versátil para obtener la información generada de diferentes tipos de sensores. Para que el sistema TMP funcione y tenga la capacidad de trabajar con la aplicación de monitoreo de emisiones de CO<sub>2</sub>, es necesario que contenga la tarjeta principal, por lo que en su caja protectora se encuentran un juego de conectores, ubicados en la parte izquierda del empaquetado superficial, como se ilustra en la Figura 3-18.



Figura 3-18. Sistema SW HW TMP 3.4-PDA-IP66.

Los conectores a utilizar para el proyecto se mencionan y describen en la Tabla 7, describiendo su funcionalidad, el número de pines de cada conector de salida y la funcionalidad de los pines a usar, como se muestra en la Figura 3-18 los conectores utilizados son de tipo industrial los cuales son diseñados para trabajar en ambientes severos y cumplen con las normas para el uso en el ambiente de destino.

Tabla 7. Descripción de los terminales usados de la tarjeta principal del sistema TMP 3.6. Fuente: Schüler Weage.

Nombre	Descripción	# Pines	Pines
VIN	Mediante este terminal se conecta la fuente de alimentación (Batería) al sistema.	2	IN-BAT: canal positivo de la fuente de alimentación GND-BAT: GDN de la fuente de alimentación del sistema
COM1	Terminal principal de comunicación serial del sistema (RS-232).	3	RX: Receptor de datos. TX: Transmisor de datos. GND: Tierra del sistema.
COM2	Terminal secundario de comunicaciones del sistema.	3	RX: Receptor de datos. TX: Transmisor de datos. GND: Tierra del sistema.
VOUT-MIS	Salida de voltajes regulados del sistema (3.2V, 3.3V y 5V)	6	GND-3.2V: tierra de 3.2V +3.2V: salida regulada de 3.2V GND-3.3V: tierra de 3.3V +3.3V: salida regulada de 3.3V GND-5V: tierra de 5V +5V: salida regulada de 5V
TEMP-INT	Terminal para conectar un sensor LM35 para medir la temperatura del sistema.	3	VIN: pin de alimentación del sensor VOUT: pin de salida del sensor GND-T: tierra del sensor
TEMP-EXT	Terminal para conectar un sensor LM35 para medir la temperatura externa al sistema	3	VIN: pin de alimentación del sensor VOUT: pin de salida del sensor GND-T: tierra del sensor

### 3.1.3.2 Conversor de voltaje

El módulo de conversor de voltaje, se constituye de una entrada de potencia conectada a una batería de 12v que alimenta el sistema, a partir de esta entrada se realiza mediante configuraciones hardware, las diferentes conversiones de voltaje a los componentes internos del sistema TMP, en la Figura 3-19 se indican las entradas y salidas que tiene el módulo conversor.

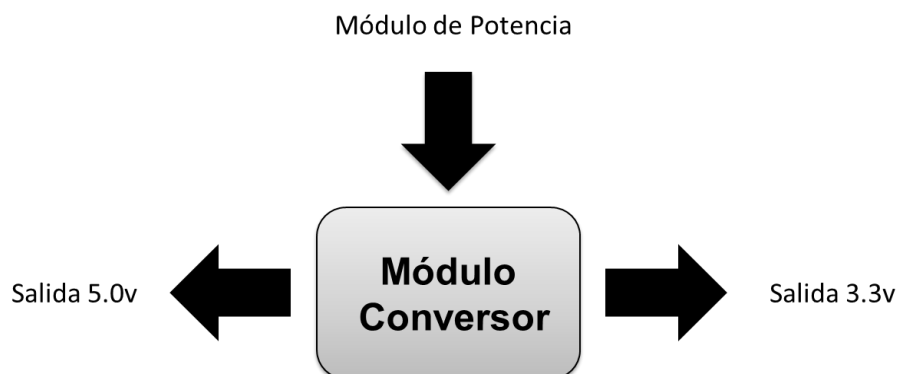


Figura 3-19. Diagrama Entrada/Salidas Conversor Voltaje. Fuente Propia

El sistema internamente tiene la versatilidad de proporcionar a través de un módulo conversor de voltaje diferentes salidas para alimentar su sistema interno y los sensores conectados a él. Teniendo un manejo seguro de las diferentes fuentes de alimentación genera el voltaje necesario para alimentar el sensor seleccionado de dióxido de carbono y el adaptador de comunicación.

### 3.1.3.3 Comunicación puerto COM

En el módulo de comunicación, se establece el medio de comunicación entre el sistema TMP 3.6 y el computador receptor de la información, para iniciar la comunicación se realizan las conexiones respectivas como se muestra en el diagrama de la Figura 3-20.

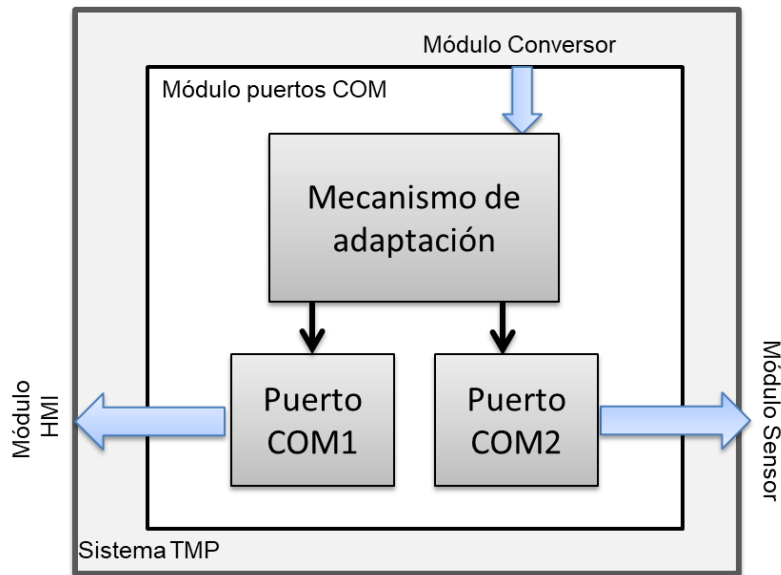


Figura 3-20. Diagrama Comunicación.

El módulo de comunicación implementa la comunicación microcontrolador/sensor y microcontrolador/HMI, como se muestra en la Figura 3-20 . El bloque Puerto COM2 cumple la función de transmitir las señales provenientes del microcontrolador y enviarlas al sensor encargado de la interpretación y ejecución de las acciones pertinentes para retornar una respuesta en el tiempo estimado, enviando la señal por el mismo puerto. El bloque Puerto COM1 es el encargado de transmitir la información desde el microcontrolador hasta la interfaz donde se realiza el procesamiento de los datos obtenidos y se muestra en una interfaz gráfica al usuario final.

### 3.1.4 Interfaz HMI

Entre los requerimientos de la empresa Schüler Weage está poner a disposición del usuario final, diversas aplicaciones para la interacción usuario/sensor de dióxido de carbono. Se plantean dos aplicaciones adicionales correspondientes a: una aplicación local diseñada en Java que es instalada en el computador del cliente y una aplicación web para consulta remota sobre el sensor ingresando por medio de la página de la empresa.

Una interfaz de usuario asistida por ordenador, conocida con interfaz hombre máquina (HMI), es el punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina [48] interactuando en este caso por medio de una interfaz gráfica apoyada en el lenguaje de programación Java, ejecutando un firmware que puede manipular el sensor. Teniendo en cuenta que la interfaz va a ejecutarse desde un ordenador, se debe elegir un PC con requerimientos mínimos para soportar el programa, mostrados a continuación:



- Computador con puerto serial o puerto USB.
- Sistema operativo Windows o Linux.
- Procesador mínimo de 1GHz
- Memoria RAM de 512MB.
- Teclado.
- Mouse.

La interfaz gráfica desarrollada bajo la plataforma Java, incluye una autenticación para ingresar al sistema, como se muestra en la Figura 3-21. Solicita un usuario y una clave asignados por la compañía.

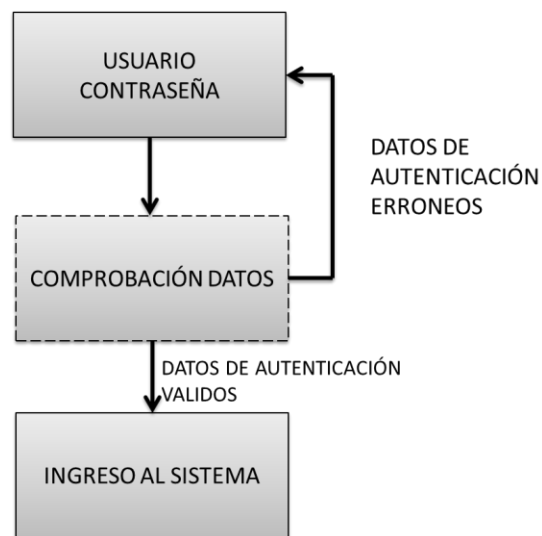


Figura 3-21. Diagrama validación de usuario.

Después de autenticar el usuario, se ingresa al sistema donde se puede elegir entre obtener datos inmediatos o programar la obtención de datos por intervalos de tiempo según las necesidades del usuario, el diagrama de funcionamiento se muestra en la Figura 3-22.



Figura 3-22. Diagrama para Ingreso al sistema

Si resulta más eficiente para el usuario programar la medición, el usuario puede realizar una selección de la opción “Programar medición”, el sistema enlaza a una pantalla (ver Figura 3-23), lo primero que se debe hacer es seleccionar el puerto, teniendo en cuenta que el programa está articulado para manejar periféricos del computador, de esta manera se debe encontrar y seleccionar el puerto COM donde está conectado el sensor, inmediatamente se conecta, el estado cambia de desconectado a conectado, a continuación se debe configurar el intervalo de tiempo para la toma de los datos, el sistema automáticamente ingresará y mostrará en una tabla con fecha y hora, los datos adquiridos, además, se puede guardar la información en archivos .txt o .xls para futuros análisis o recopilar datos históricos de las mediciones.

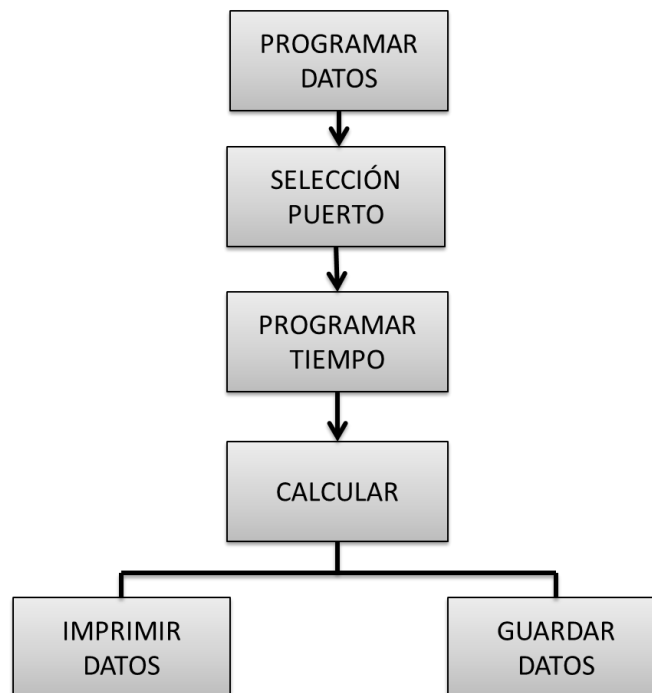


Figura 3-23. Diagrama para Programar medición

La otra opción del sistema es llamada “Obtener Datos” (Ver Figura 3-24 ), esta opción es para obtener los datos adquiridos del sensor de forma directa, en esta opción se selecciona el puerto donde está conectado el sensor, el sistema encuentra por medio de manejo de periféricos el puerto COM y lo habilita para la transmisión de datos, así su estado pasa de desconectado a conectado y en el momento de presionar el botón calcular obtendrá la medida del sensor en ese momento, los datos se guardan en un archivo .txt, para que posterior a esto el usuario los puede exportar.

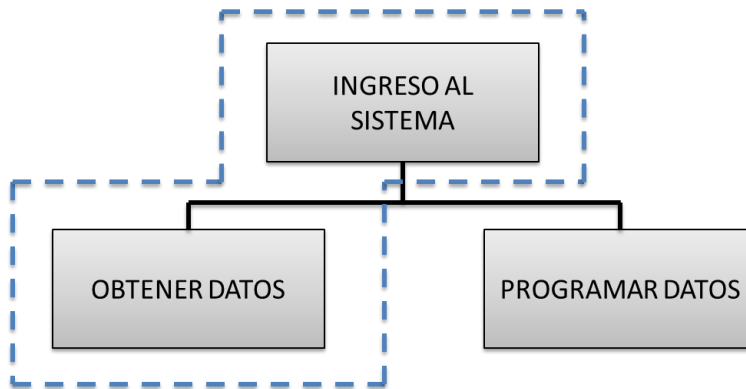


Figura 3-24. Selección opción Obtener datos

Después de ingresar en la opción 1 “obtener datos” el sistema se dirige a la interfaz de comunicación. El primer paso es seleccionar el puerto COM en el que se encuentra conectado el dispositivo, al seleccionar el puerto indicado la etiqueta que indica si está o no habilitado el puerto cambia de estado de desconectado a conectado. Seguido a esto se puede solicitar la medición y el programa envía un comando al sensor y queda en espera de la respuesta con la cadena de información. Al obtener la cadena internamente el programa realiza el procesamiento de los datos y los despliega en las casillas para ser visualizados por el usuario, el usuario tiene la opción de guardar en un archivo .txt en la Figura 3-25 se muestra el orden del diseño de lo descrito.



Figura 3-25. Diagrama opción "Obtener Datos"

Con el objetivo de brindar un mayor servicio, relacionado con la consulta de los datos adquiridos por el sensor de dióxido de carbono y pensando en las necesidades actuales de consulta vía web, se desarrolla una aplicación web mediante el uso del *framework* empresarial *Spring Tools* [49]. Este *framework* es seleccionado porque proporciona una alta modularidad permitiendo que el desarrollo inicial se constituya en una base que permita aumentar la funcionalidad a medida que aumente el apoyo y desarrollo de la aplicación.

A continuación se explica detalladamente el diseño estructural de la página web, junto con el diagrama descriptivo de sus módulos en la Figura 3-26.

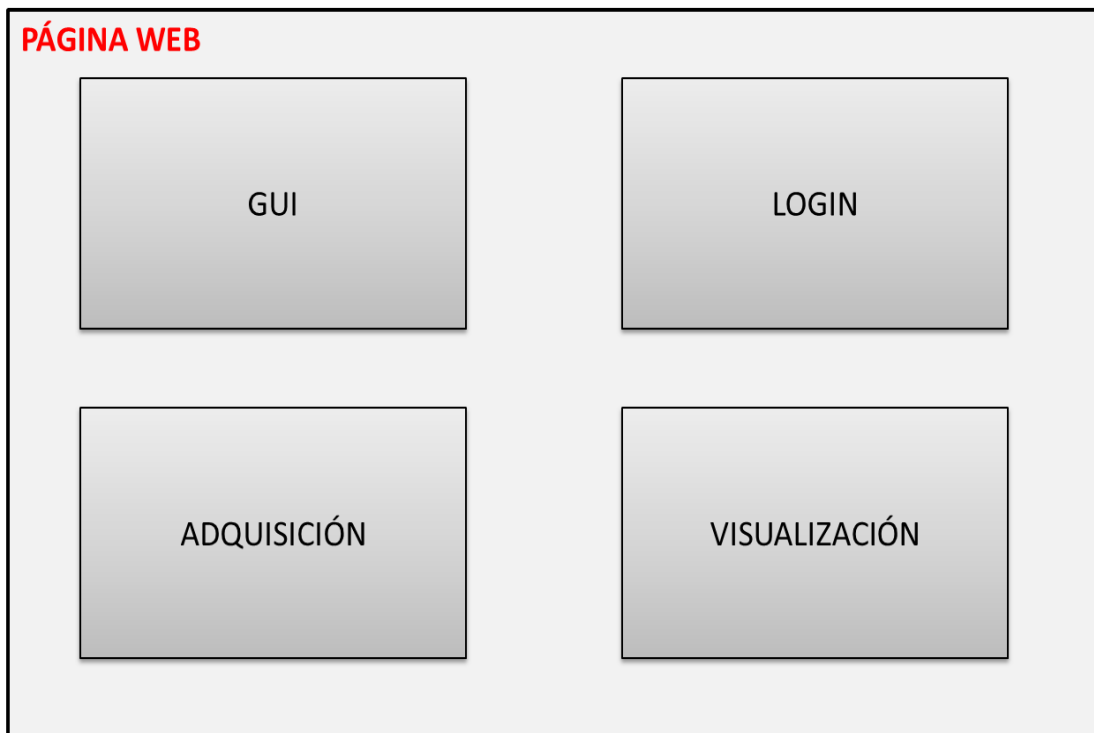


Figura 3-26. Componentes principales página WEB.

El componente GUI hace referencia al diseño visual que se le presenta al usuario para brindarle una navegación cómoda a través de la página, donde se encuentra información relacionada con la empresa, los productos ofrecidos, los proyectos en desarrollo. El usuario tiene la posibilidad de descargar los paquetes software necesario para manejar los diferentes sensores que soporta la empresa, y además, encontrará un formulario de contacto.

Para el uso del programa de manejo del sensor de dióxido de carbono es requerido que el usuario a través del componente LOGIN, para este proceso es necesario que se posea un usuario y una clave suministrada por la empresa en el momento de la compra del dispositivo, por medio de este podrá acceder a la manipulación del sensor en el componente de adquisición (Figura 3-27).

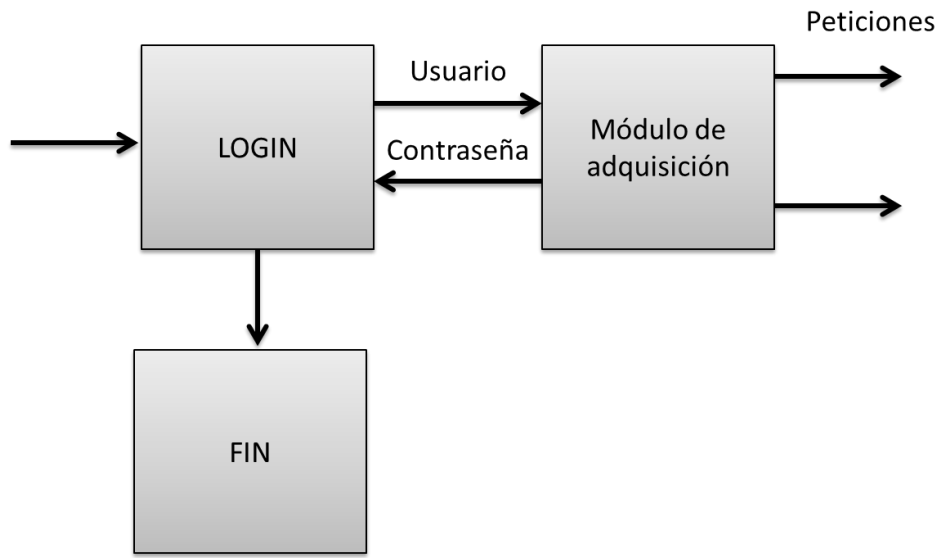


Figura 3-27. Diagrama LOGIN.

El desarrollo web tiene la capacidad de hacer peticiones para la lectura de datos con el sensor de dióxido de carbono, mediante el uso de librerías incluidas en el paquete de desarrollo web Spring Tools, permitiendo la selección, apertura y configuración de la comunicación con el puerto serial utilizado por el sensor como se muestra en la Figura 3-28.

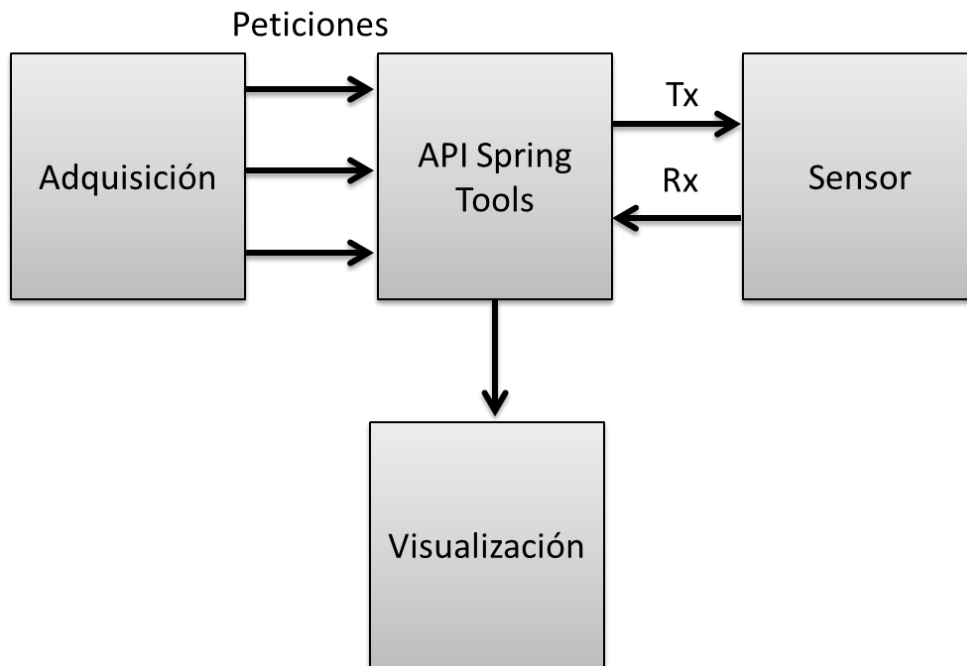


Figura 3-28. Diagrama módulo adquisición.

La página web tiene la capacidad de presentar de forma visual al usuario, la información adquirida por el sensor CM1102. El componente encargado de hacer dicha tarea es llamado: Visualización. A través de una comunicación interna entre la página web y la máquina virtual de Java, el sensor responde a las peticiones enviadas por el usuario a través de la página Web. El componente de visualización presenta de forma organizada en tablas la información adquirida del sensor de dióxido de carbono (Figura 3-29).

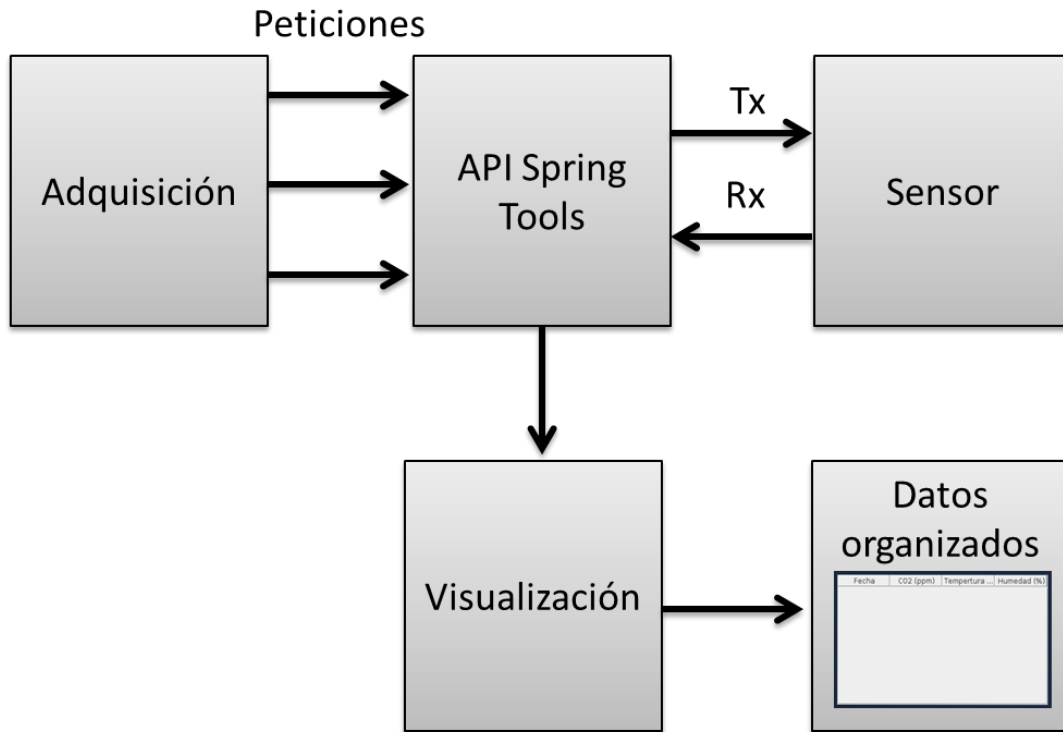


Figura 3-29. Diagrama módulo visualización.

## CAPÍTULO 4: IMPLEMENTACIÓN

Durante la implementación del proyecto de medición de Dióxido de Carbono mediante el uso del sensor CM1102 se tuvo en cuenta los requerimientos propuestos por la empresa. Se realizó los estudios pertinentes sobre el sensor. En la siguiente figura (Ver Figura 4-1) se indican los componentes del prototipo medidor de dióxido de carbono.



Figura 4-1. Componentes Prototipo medidor Dióxido de Carbono.

El prototipo contó con diferentes fases, permitiendo llevar un orden en el desarrollo. La fase inicial de este proyecto es la fase preparativa que consta del estudio completo del sensor seleccionado, cómo funciona, qué datos son los que envía, tipo de operación, accionar en saturación, conexión y posterior aplicación software.

A continuación, se explicará detalladamente los pasos llevados a cabo para la finalización del proyecto, la estructura de este capítulo consta de las siguientes etapas: Pruebas técnicas del funcionamiento del sensor, desarrollo para la adquisición, procesamiento y visualización de los datos mediante el uso de la plataforma propietaria TMP(Schüler Weage), Java y Aplicativo Web.

## 4.1 Sistema de sensado

En la implementación del módulo de sensado se realizó un estudio del sensor sus características y sus salidas para realizar la comunicación entre el sensor y otros dispositivos. Se hizo necesario la implementación de un dispositivo de comunicación para ello se hizo uso del integrado MAX3232, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante [50] se realiza el montaje del circuito Figura 4-2 complementado el sistema de sensado ya que el sensor no tiene un sistema de comunicación integrado se implementó el circuito para poderlo conectar con otros dispositivos en el caso de este proyecto se puede realizar la comunicación vía serial con el sistema TMP o directamente con un computador que tenga instalado el aplicativo local o que pueda acceder al servidor de la empresa. A continuación se muestra el circuito de comunicación (Ver Figura 4-2).

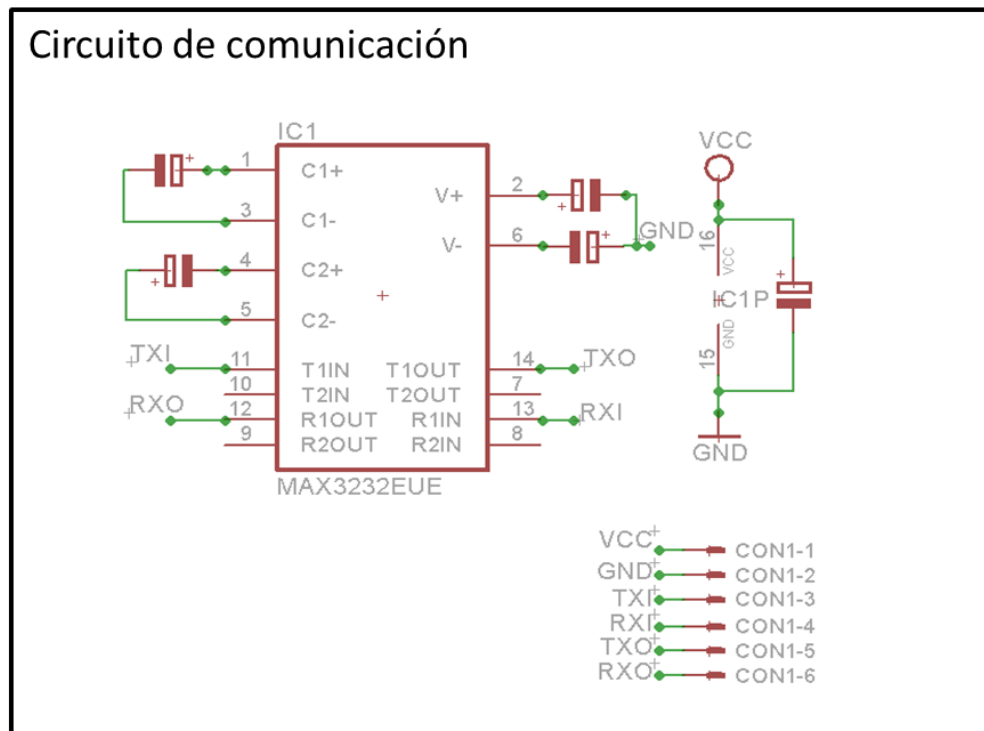


Figura 4-2. Circuito de Comunicación.

Donde en el momento de realizar la implementación del sistema de sensado se hace uso de una caja plástica para proyectos de color negra en la que se ubican el sensor de dióxido de carbono y el circuito de comunicación.

## 4.2 Mecanismo de adaptación

Para el mecanismo de adaptación se hizo uso de la lógica conceptual para realizar el firmware principal del sistema basado en este firmware se realiza la



implementación del módulo software donde el sistema es capaz de realizar la conexión y procesamiento de datos mediante el sistema TMP o directamente conectado el sensor a un computador que tenga lo programas instalados que se indican para el funcionamiento del sistema.

#### 4.2.1 Módulo firmware

Para el modulo firmware se realiza la implementación de código donde se programan tareas de solicitud de datos, lectura de datos, conversión de trama, aplicación de fórmulas obtenidas del fabricante y posterior envío de datos a el equipo que lo solicite como se indica en la Figura 4-3.

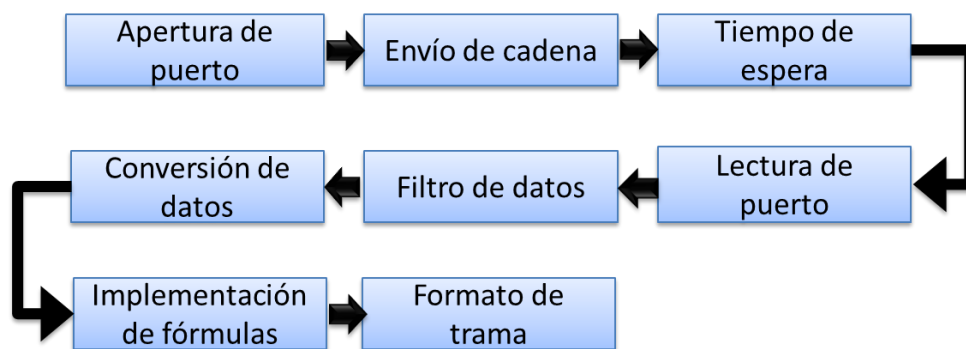


Figura 4-3. Estructura firmware principal.

#### 4.2.2 Módulo Software

Para la implementación del código en la configuración con el sistema TMP se hace uso del lenguaje de programación C con las librerías de FreeRTOS para implementación de tareas, Uart.c para manejo de periféricos e interrupciones. En el desarrollo de este código se hace uso de la plataforma de desarrollo de la empresa Schüler Weage donde se realiza la adaptación en el sistema usando los parámetros y configuraciones establecidas por la empresa, se realizó un firmware que estuviera sujeto al formato de codificación utilizado en la plataforma de Schüler Weage sujeto a este firmware se implementaron las medidas requeridas por la tarjeta como lo son medidor de batería, medidor de temperatura interna y externa del sistema para el despliegue de la trama de información se siguió el formato de la empresa.

En el diseño del firmware para los aplicativos local y remoto se hace uso de la estructura principal del firmware Figura 4-3. Para la implementación del software HMI-Sensor se hace uso del lenguaje de programación JAVA con el compilador JAVA y el IDE Netbeans que mediante su complemento de interfaz gráfica se

realizó la conexión con el firmware principal programado en JAVA, para realizar la conexión con los periféricos del equipo se utilizó la librería JSSC que se puede descargar en la siguiente dirección <https://code.google.com/archive/p/java-simple-serial-connector/>, con la ayuda de la librería se realiza exitosamente la conexión entre el computador y el sistema de sensado.

Para implementar el firmware del aplicativo remoto se utilizó el programa SpringTools que es un entorno de desarrollo basado en eclipse que hace el desarrollo de aplicaciones fácil [49]. SpringTools combina su infraestructura con la estructura de Java, Web y herramientas Java EE desde eclipse facilitando la implementación en la web haciendo uso de un controlador interno para realizar la conexión con el sensor.

### 4.3 Sistema TMP

Para la implementación del sistema de monitorización de dióxido de carbono se hizo uso de algunos elementos de la tarjeta principal del sistema TMP como se muestra en la Figura 4-4. Donde en el microcontrolador y con la ayuda del programa TMPControl se hace la programación del firmware del mecanismo de adaptación. La empresa cuenta con la ficha técnica de la tarjeta TMP, en donde aparecen los esquemas eléctricos, digitales y mecánicos, esta documentación hace parte de los activos de la empresa por lo que en este trabajo se habla de su existencia mas no se publica debido a que son diseños privados.

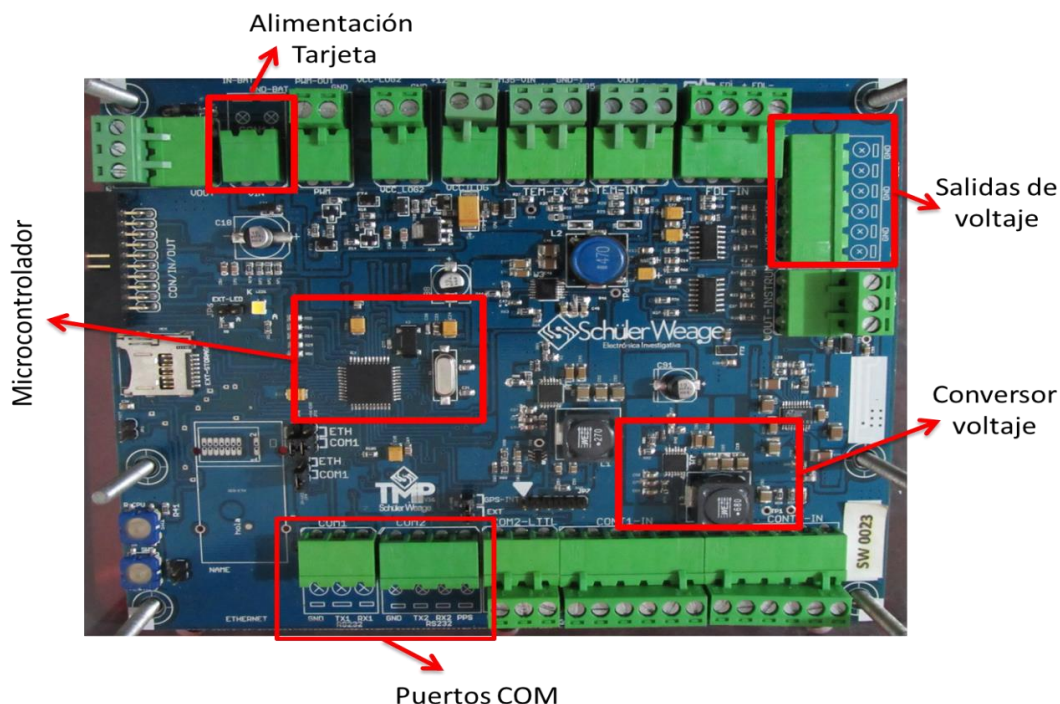


Figura 4-4. Módulos utilizados Tarjeta Principal.

## 4.4 Interfaz HMI

### 4.4.1 Interfaz gráfica Java para consulta de datos de manera local

La interfaz desarrollada con el lenguaje de programación Java y el IDE Netbeans, cuenta con una ventana de inicio, como se muestra en la Figura 4-5, para ingresar al sistema se necesita un usuario y una contraseña generados por la empresa como se muestra en la Figura 4-5. Para realizar la implementación de la interfaz se hizo uso de los complementos de Java para el diseño y la implementación de una interfaz gráfica haciendo uso de botones, etiquetas de texto, paneles, campos de texto para la recepción y visualización de la información, configuraciones de campos y características.



Figura 4-5. Ventana ingreso al sistema

Después de ingresar con el usuario y contraseña asignados, se pueden visualizar dos opciones de monitoreo, la primera opción es “Obtener datos” y la segunda opción es programar la medición de datos: “Programar medición” (Ver Figura 4-6).

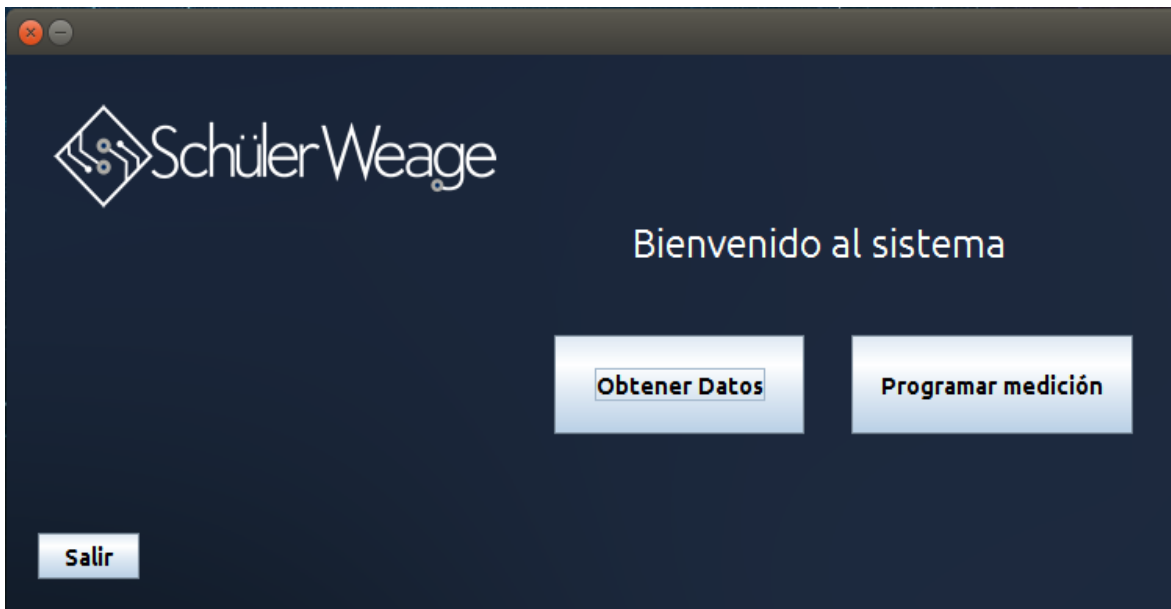


Figura 4-6. Ventana ingreso al sistema.

Al elegir la opción “Obtener Datos”, se despliega una ventana (Figura 4-7) donde se elige el puerto donde está conectado el sensor, al dar clic en el botón conectar, la etiqueta de estado cambia de desconectado a conectado, posteriormente, al dar clic en el botón “calcular” automáticamente los campos de texto de las variables medidas se llenan con la información adquirida por el sensor. En la barra de menú se encuentran las opciones Archivo y Editar. En Archivo se despliega un menú de opciones donde se puede exportar los datos a un archivo .txt, además, ofrece la opción de salir del aplicativo. En el menú Editar se puede borrar los campos de las variables.

Archivo Editar

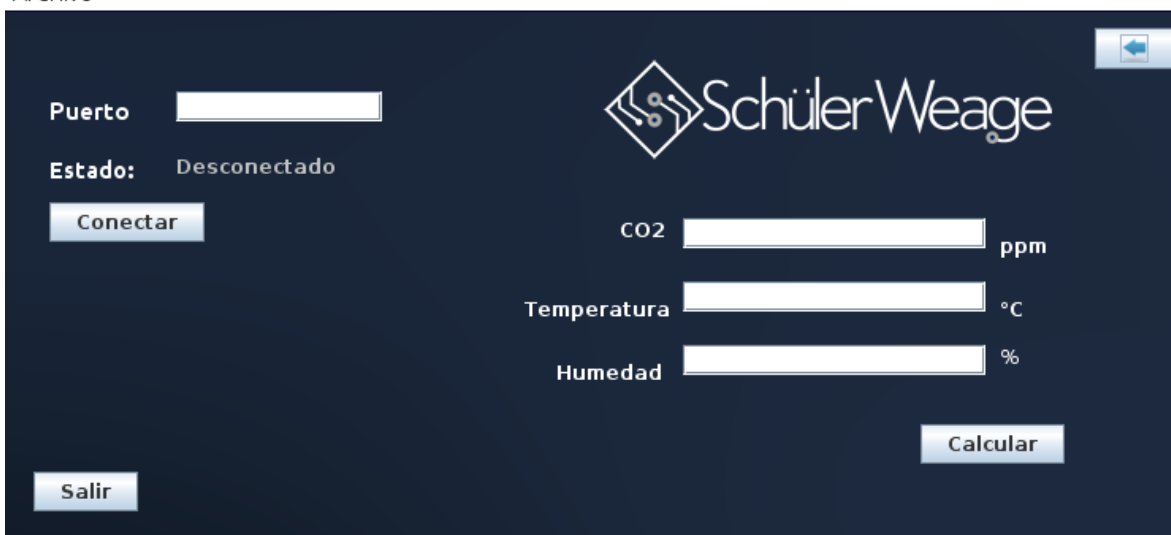


Figura 4-7. Ventana obtener datos.

El sistema ofrece la opción “Programar medición”, en esta ventana (Figura 4-8), se selecciona el puerto COM y se da clic en el botón conectar, si el puerto es el correcto la etiqueta de estado cambia de desconectado a conectado. En la casilla de configuración del tiempo se puede seleccionar el intervalo de tiempo que desea que el software se active y adquiera los datos, es decir, permite la configuración del muestreo. Posteriormente, dando clic en el botón Iniciar, inmediatamente se llenan los campos de texto ubicados en la parte inferior izquierda de la ventana con los datos adquiridos por el sensor, pasado el tiempo sintonizado en la aplicación, otra muestra de datos es adquirida y automáticamente llena la tabla ubicada a la derecha de la ventana con la fecha, hora y datos disponibles por el sensor: CO2, Temperatura y Humedad.



Figura 4-8. Ventana opción Programar datos.

#### 4.4.2 Aplicativo remoto

El aplicativo remoto tiene una página principal donde se encuentra un menú de navegación que permite ir a los productos desarrollados por la empresa, página de contacto, galería de imágenes, proyectos en curso, como se muestra en la Figura 4-9. La información de la empresa como su visión, misión y las noticias más recientes se muestran en el cuerpo de la página principal como indica la Figura 4-10. Para la implementación del aplicativo remoto se hizo uso de SpringTools para el diseño gráfico de la página se utilizó HTML y hoja de estilos CSS para la ubicación y diseño de la página, de igual forma se hizo uso de las librerías de HIGHCHARTS (modo demo) para graficar los datos adquiridos por el sensor.

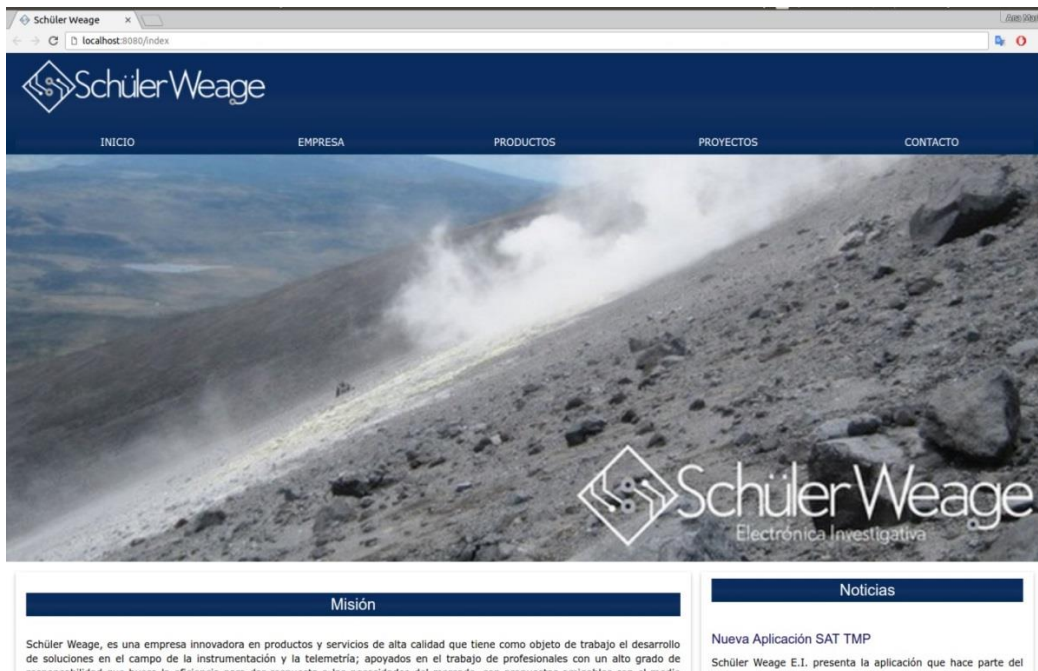


Figura 4-9. Página principal.

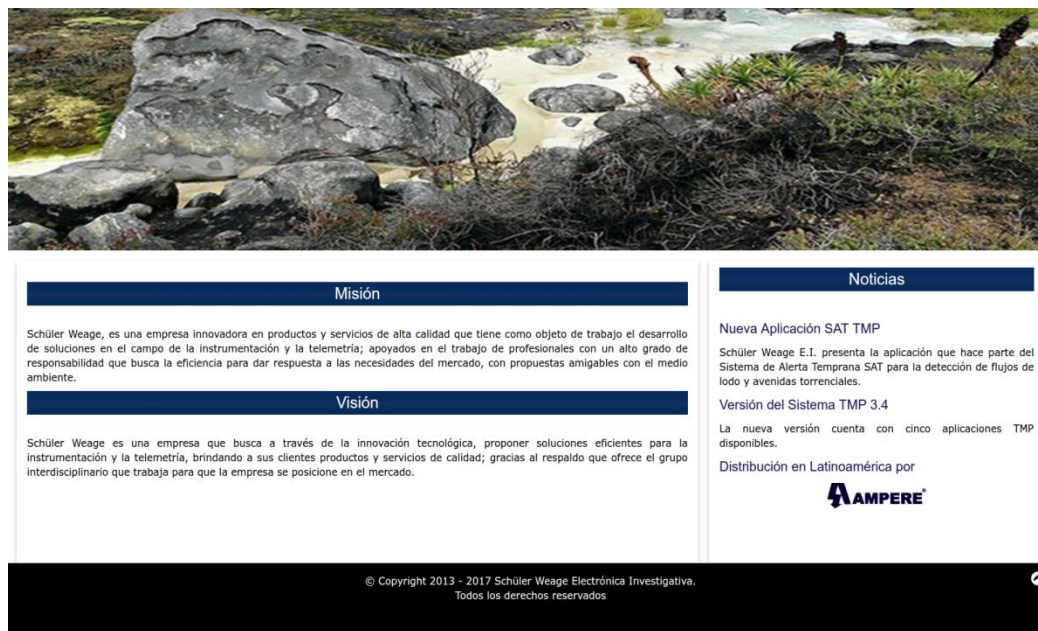


Figura 4-10. Página principal cuerpo.

Al pasar por el menú de navegación, en la parte de proyecto se despliega un menú donde se encuentra información del proyecto TMP y el proyecto Dióxido de carbono (Ver Figura 4-11).



Figura 4-11. Menú de navegación.

Sobre esta sección, el aplicativo web redirige al menú desplegable Dióxido de carbono, este panel es de exclusivo acceso para los usuarios registrados. El usuario se puede registrar únicamente llamando a la empresa para que le sea asignado un nombre de usuario y una contraseña, la página de acceso o validación de usuario se muestra en la Figura 4-12.

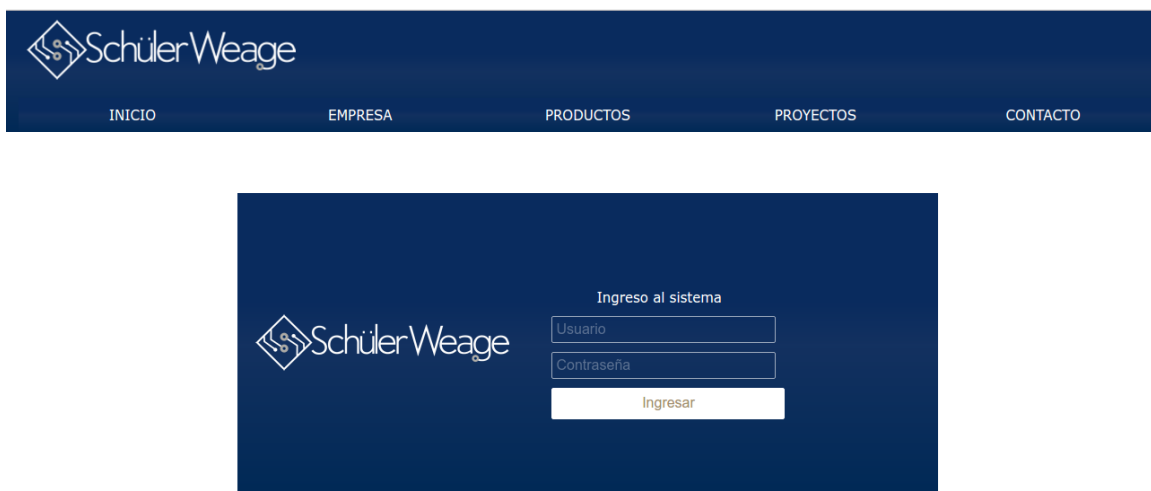


Figura 4-12. Página de validación usuario.

Una vez el registro del usuario es exitoso, es conectado con la página web que automáticamente se enlaza al servidor realizando una conexión interna al sistema y activando el puerto serial para realizar la comunicación, los datos son adquiridos por el sensor y sus mediciones son válidas para la zona donde se encuentre ubicado. En la siguiente Figura 4-13, se muestra como es la aplicación de medición de dióxido de carbono, donde se encuentra el panel vertical izquierdo opciones como: inicio, opción de toma de datos y descargas.

En la primera opción de inicio, se habla acerca de los servicios prestados por la empresa como se muestra en la figura siguiente:



Figura 4-13. Página de inicio mediciones sensor.

En la segunda opción de menú se encuentra Toma de Datos, donde al dar clic en calcular el sistema realiza la conexión y adquiere los datos del sensor CM1102 (Ver Figura 4-14), a medida que se va tomando los datos el sistema guarda los datos y los grafica para mostrarlos al usuario.



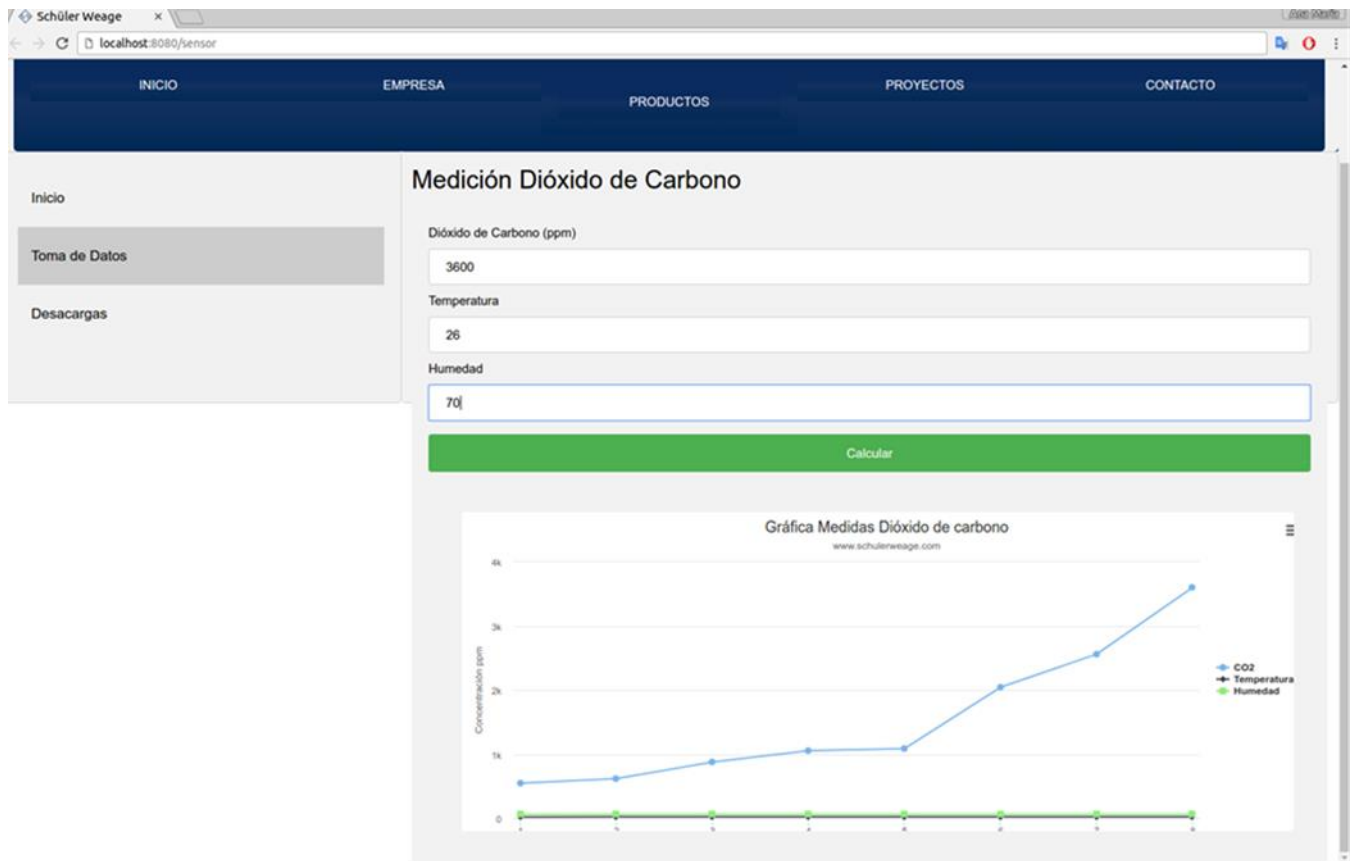


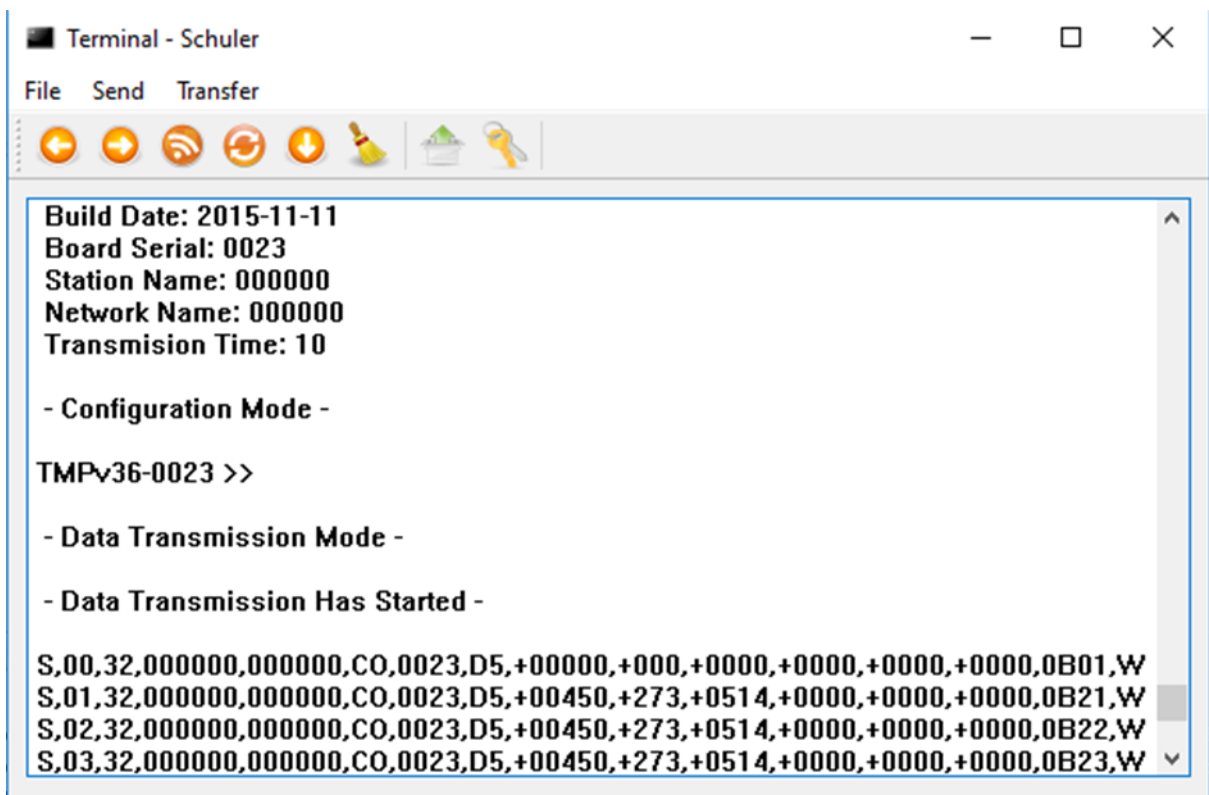
Figura 4-14. Toma de datos.

#### 4.4.3 Sistema TMP

Para la implementación del prototipo medidor de CO<sub>2</sub>, se realizaron los siguientes pasos:

- a) Establecer un medio de comunicación entre el sistema TMP 3.6 y el PC receptor de los datos mediante una comunicación serial utilizando el protocolo RS232.
- b) Se configuro el software del sistema TMP.
- c) Cargar aplicación de monitoreo de CO<sub>2</sub> al sistema TMP 3.6.
- d) Configurar la aplicación de monitoreo CO<sub>2</sub> del sistema TMP 3.6.
- e) Correr la aplicación de monitoreo de CO<sub>2</sub> en el sistema TMP 3.6.
- f) Configuración software en el PC para recepción y despliegue grafico de datos.
- g) Para realizar los pasos para la conexión del sensor CM1102 a través de un conversor serial al sistema TMP se necesita tener la aplicación de escritorio TMP Control V3.6, que soporta las aplicaciones de versiones 3.6 o anteriores.

Haciendo uso del mecanismo de adaptación al sistema TMP de la empresa Schüler Weage se realiza la implementación de la aplicación de dióxido de carbono implementado con el IDE MPLABX, donde se implementan funciones para la adquisición de la información y procesamiento de la misma, siguiendo el formato estructural de la empresa, posterior a esto se siguen los pasos para la conexión, se carga la aplicación, se configuran los parámetros de comunicación en TMPControl, y en el modo transmisión se despliega la información como se muestra en la Figura 4-15.



```
Terminal - Schuler
File Send Transfer
Build Date: 2015-11-11
Board Serial: 0023
Station Name: 000000
Network Name: 000000
Transmission Time: 10

- Configuration Mode -

TMPv36-0023 >>

- Data Transmission Mode -

- Data Transmission Has Started -

S,00,32,000000,000000,CO,0023,D5,+00000,+000,+0000,+0000,+0000,+0000,0B01,W
S,01,32,000000,000000,CO,0023,D5,+00450,+273,+0514,+0000,+0000,+0000,0B21,W
S,02,32,000000,000000,CO,0023,D5,+00450,+273,+0514,+0000,+0000,+0000,0B22,W
S,03,32,000000,000000,CO,0023,D5,+00450,+273,+0514,+0000,+0000,+0000,0B23,W
```

Figura 4-15. Visualizador de datos en el terminal de TMPControl.

# CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN

## 5.1 Escenario de pruebas

Para realizar la prueba y caracterización del sensor se usaron dos contenedores, el primer contenedor acumula dióxido de carbono, el segundo contiene aire, se construye un contenedor con un recipiente plástico para encerrar el gas y así lograr que el sensor pueda capturar las muestras simulando una cámara de acumulación, con la ayuda de los contenedores se hace la inyección del dióxido de carbono en la cámara de acumulación, al realizar las pruebas y determinar el comportamiento del sensor se lleva al punto de saturación, se registra en la Tabla 8 su comportamiento y utilizando el contenedor de aire se libera el gas de la cámara de acumulación y se procede a reiniciar los valores de muestreo del sensor (Ver Figura 5-1).

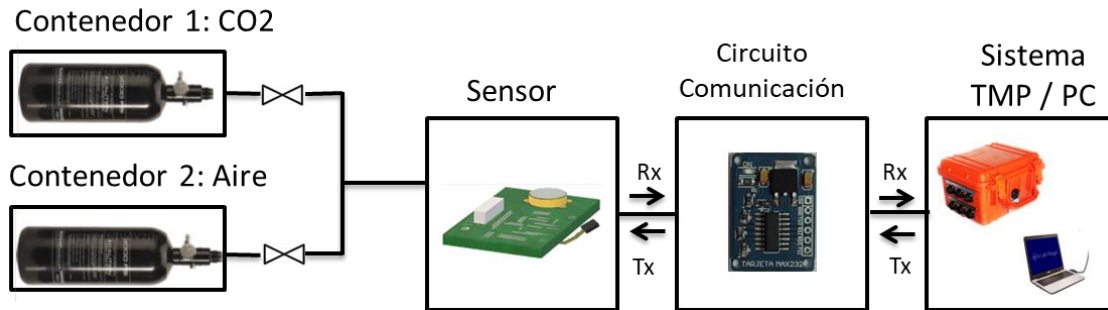


Figura 5-1. Elementos escenario de prueba.

Las conexiones hardware utilizadas son la mostradas en la Figura 5-2.

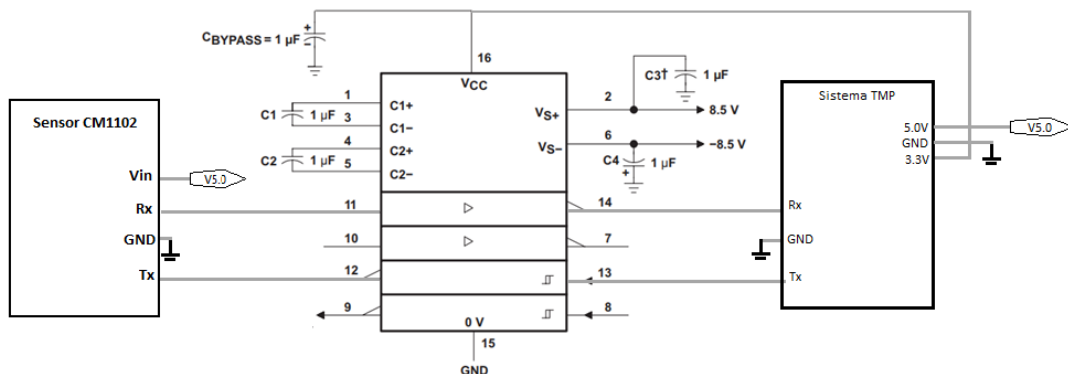


Figura 5-2. Esquema conexiones físicas.

En la Figura 5-2, se especifica la estructura de conexión entre los componentes del proyecto. A través del integrado max232 se realiza la comunicación entre el sensor y el sistema TMP o un computador. Los pines TTL son conectados a los terminales de comunicación del sensor y los pines RS232 del integrado max232 son conectados de forma cruzada al sistema TMP o al conversor DB9-USB. Después de realizar la conexión física entre los componentes se inicia la comunicación, en este caso con un computador y la aplicación local desarrollada en JAVA, se inicia la comunicación, se selecciona el puerto donde está conectado el sensor y se inicia solicitando los datos obtenidos del sensor enviando una cadena de petición por el puerto de comunicación, el sensor responde de forma inmediata, con el programa software se realiza el procesamiento de los datos y se organiza para ser visualizados, para realizar esta visualización se despliegan la información importante en las casillas implementadas en el aplicativo local.

## 5.2 Pruebas técnicas para el funcionamiento del sensor Dióxido de Carbono

Para corroborar el funcionamiento del sensor tanto en lectura de las variables como escritura de comandos para realizar la toma de datos y los consumos de corriente, voltaje y potencia adecuados, se realiza el siguiente proceso:

Se conecta el sensor de dióxido de carbono a través de un MAX232 al computador y con el programa GTKTERM se hace el envío de solicitudes al sensor permitiendo visualizar y analizar la respuesta. En la Figura 5-3 se observa el resultado de esta prueba.

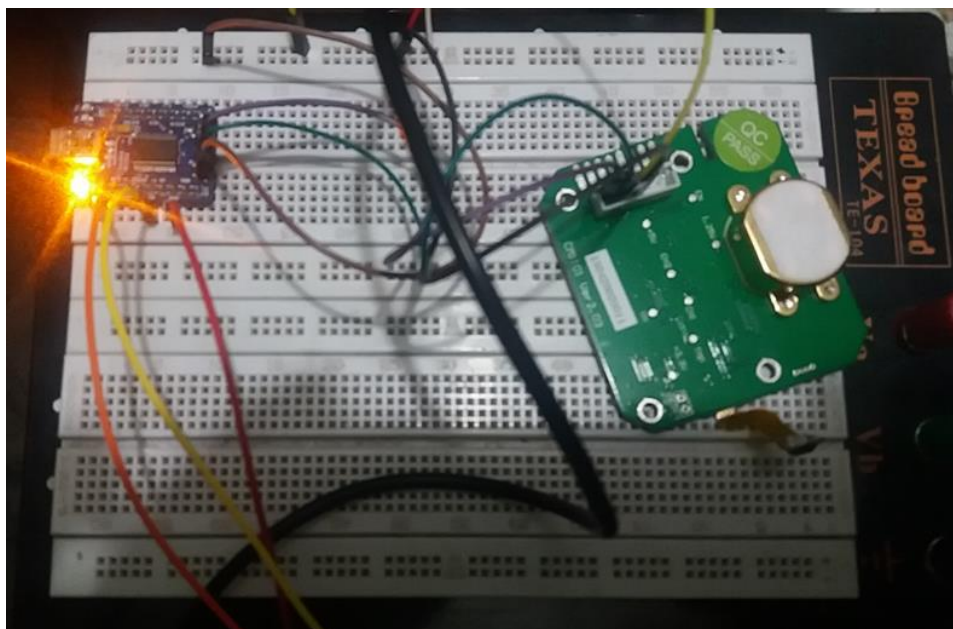
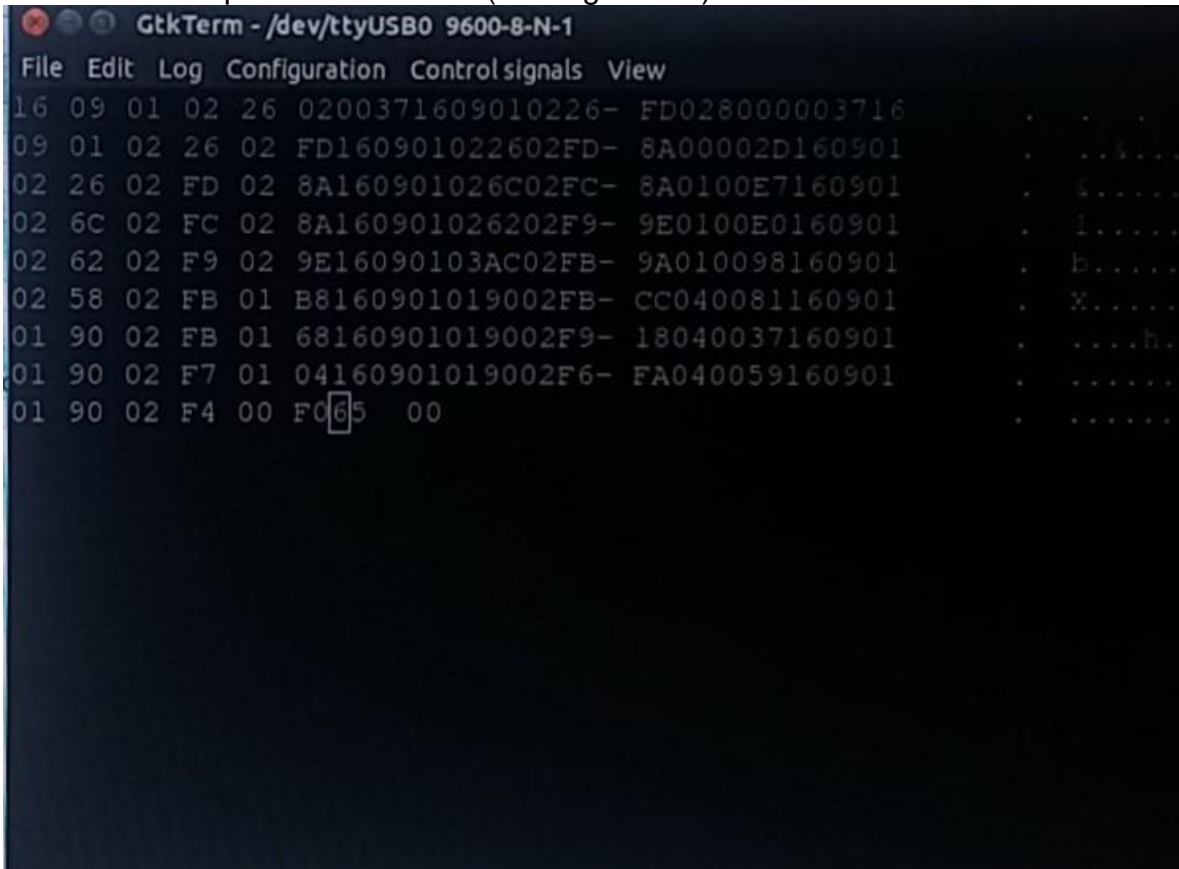


Figura 5-3. Conexión prueba Sensor.

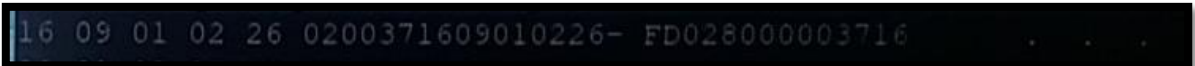
Después de hacer la anterior conexión se hace uso del programa GTKTerm para visualizar la respuesta del sensor (Ver Figura 5-4)



```
GtkTerm - /dev/ttyUSB0 9600-8-N-1
File Edit Log Configuration Controlsignals View
16 09 01 02 26 0200371609010226- FD028000003716
09 01 02 26 02 FD160901022602FD- 8A00002D160901
02 26 02 FD 02 8A160901026C02FC- 8A0100E7160901
02 6C 02 FC 02 8A160901026202F9- 9E0100E0160901
02 62 02 F9 02 9E16090103AC02FB- 9A010098160901
02 58 02 FB 01 B8160901019002FB- CC040081160901
01 90 02 FB 01 68160901019002F9- 18040037160901
01 90 02 F7 01 04160901019002F6- FA040059160901
01 90 02 F4 00 F065 00
```

Figura 5-4. Respuesta del sensor en el software GTKTerm.

En la Figura 5-4, se observa diferentes respuestas del sensor, la cadena de respuesta viene en formato hexadecimal, según la hoja de características del sensor la lectura de esta trama de datos debe ser realizada separando en subcadenas de 2 bits. Tomando como ejemplo la primera cadena de respuesta mostrada en la Figura 5-5 se obtiene:



```
16 09 01 02 26 0200371609010226- FD028000003716
```

Figura 5-5. Trama de respuesta sensor.

Con el objetivo de validar las respuestas obtenidas por el software GTKterm se hace uso de un analizador de señales (Ver Figura 5-6) que permite hacer el seguimiento de las señales digitales generadas por el sensor. El analizador de señal se muestra a continuación:



Figura 5-6. Analizador de señales.

El analizador de señales consta de entradas para configuración Tx/Rx, la respuesta entregada por dicho analizador se muestra en la Figura 5-7:

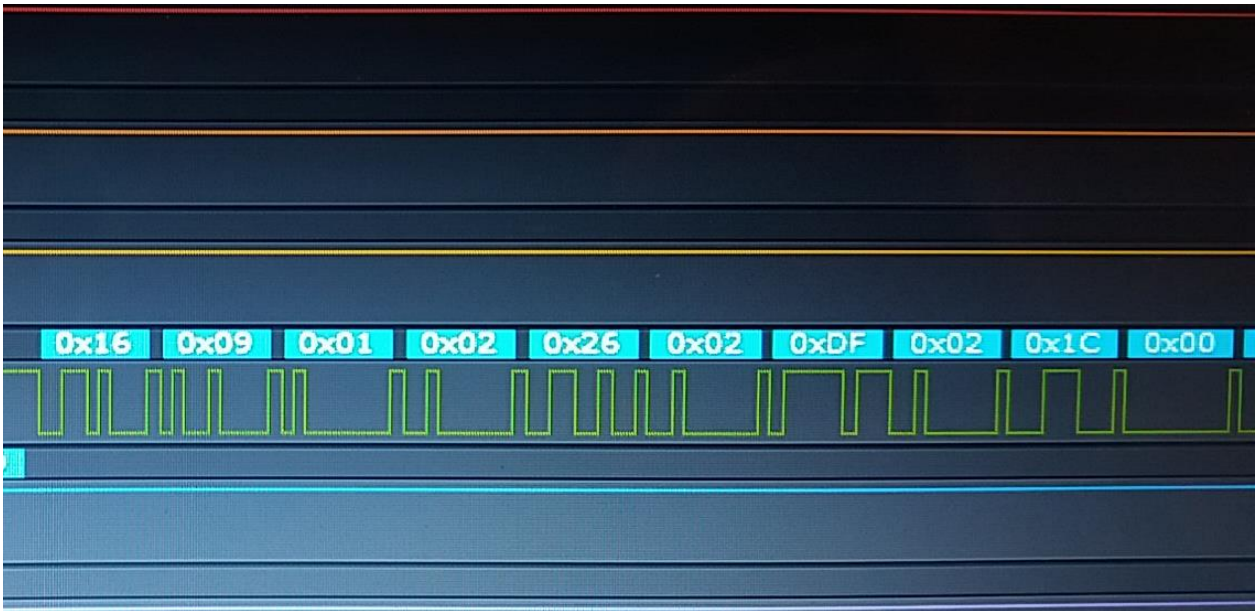


Figura 5-7. Respuesta Analizador de señales.

Como resultado de esta prueba se puede corroborar la respuesta real del sensor ante una cadena de petición enviada al dispositivo. Los análisis indican que el GTKTerm falla en el momento de adquirir la data de respuesta por lo que se hace

necesario implementar un algoritmo de adquisición de datos con una librería especializada en la lectura de sensores a través del puerto serial.

La siguiente prueba que se tuvo en cuenta para evaluar el comportamiento del sensor en estado saturado consistió en aplicarle gas de dióxido de carbono al sensor. Usando un tanque de CO2 conectado a la entrada del CM1102 se adquirió lectura de datos en aumento de la concentración de dióxido de carbono hasta llegar al punto de saturación, donde el sensor responde con la menor medida de concentración, lo anterior permite caracterizar la respuesta del sensor evitando lecturas erróneas ante concentraciones de dióxido de carbono superiores a diez mil partículas por millón. La Figura 5-8 registra en intervalos de 1 minuto el comportamiento del sensor ante el aumento de CO2.

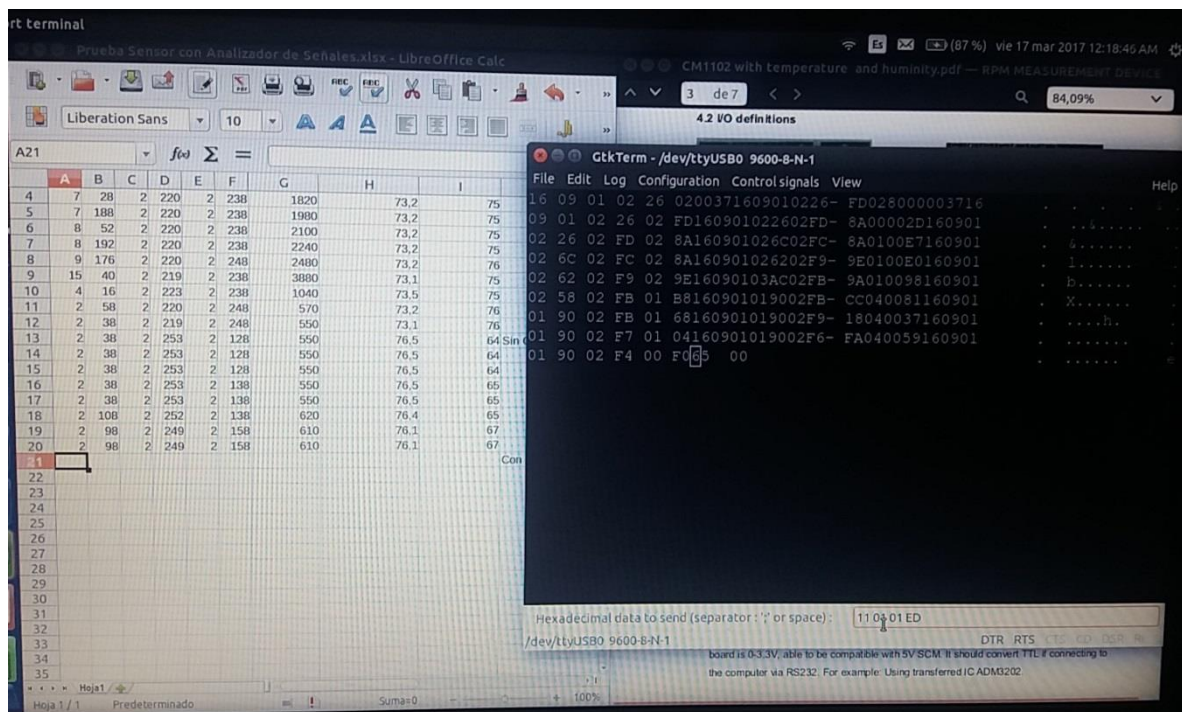


Figura 5-8. Respuesta sensor cada 60 Segundos.

Una vez caracterizado el sensor, conociendo sus umbrales de saturación y respuesta ante diferentes concentraciones se procede a hacer la adquisición, procesamiento y visualización de los datos usando una librería especializada para realizar dichas tareas. La librería escogida fue "JSSC", esta librería permite realizar el manejo de periféricos del computador, facilitando la comunicación. La librería se escoge porque esta implementada en Java lo que facilita la conexión con software de desarrollo para el proyecto.

Para realizar la evaluación del proyecto se tuvo en cuenta diferentes enfoques con el objetivo de abarcar todos los desarrollos implementados. En este capítulo se

evaluará los siguientes aspectos: Diseño de las aplicaciones de consulta de datos locales y remotos, además, del comportamiento del sensor para medición de dióxido de carbono.

Conectando a la entrada del sensor CM1102 un tanque contenedor de dióxido de carbono se aplican concentraciones del gas continuamente conforme transcurre el tiempo, el experimento se realiza bajo un ambiente cerrado, garantizando temperatura y humedad constantes con el objetivo de ver la repetibilidad de las mediciones para las variables temperatura y humedad, lo anterior conlleva a que el sensor mida cada minuto una concentración de CO2 diferente y en aumento, la siguiente figura (Figura 5-9) muestra el comportamiento del sensor:

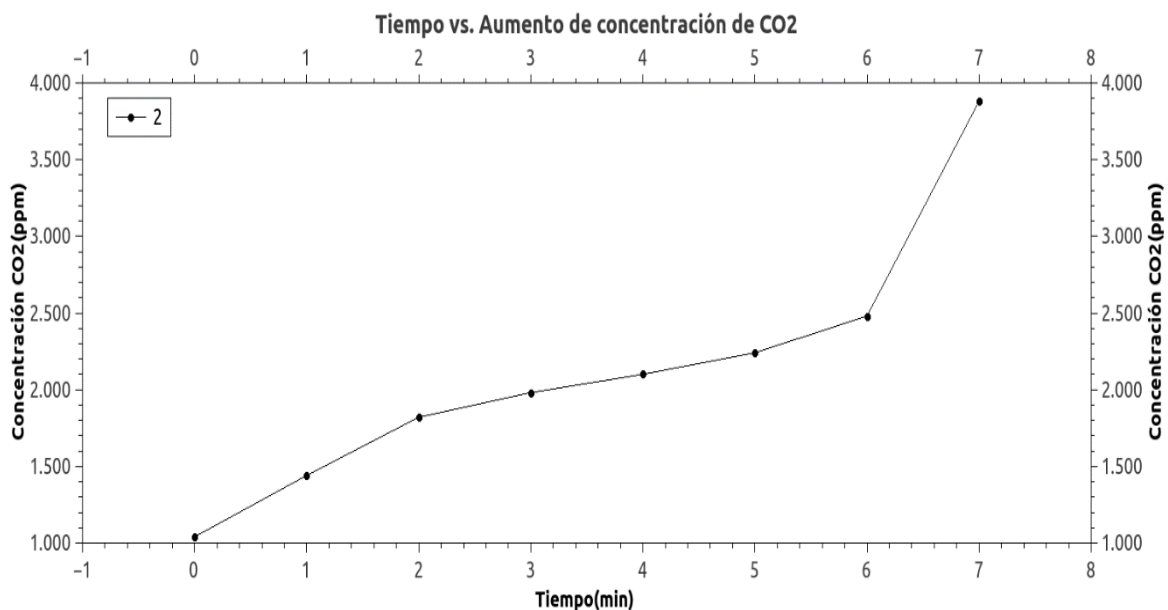


Figura 5-9. Aumento de concentración de CO2 cada minuto.

La gráfica permite observar un incremento de la concentración de CO2 durante cada instante de tiempo, lo que permite concluir que ante el incremento del CO2 el sensor responde proporcionalmente evidenciando un comportamiento adecuado por parte del dispositivo de sensado.

Mediante un ajuste polinomial se pretende lograr una caracterización del comportamiento del sensor, para ello se utiliza un ajuste de grado 2, la siguiente gráfica (Ver Figura 5-10) muestra el ajuste:



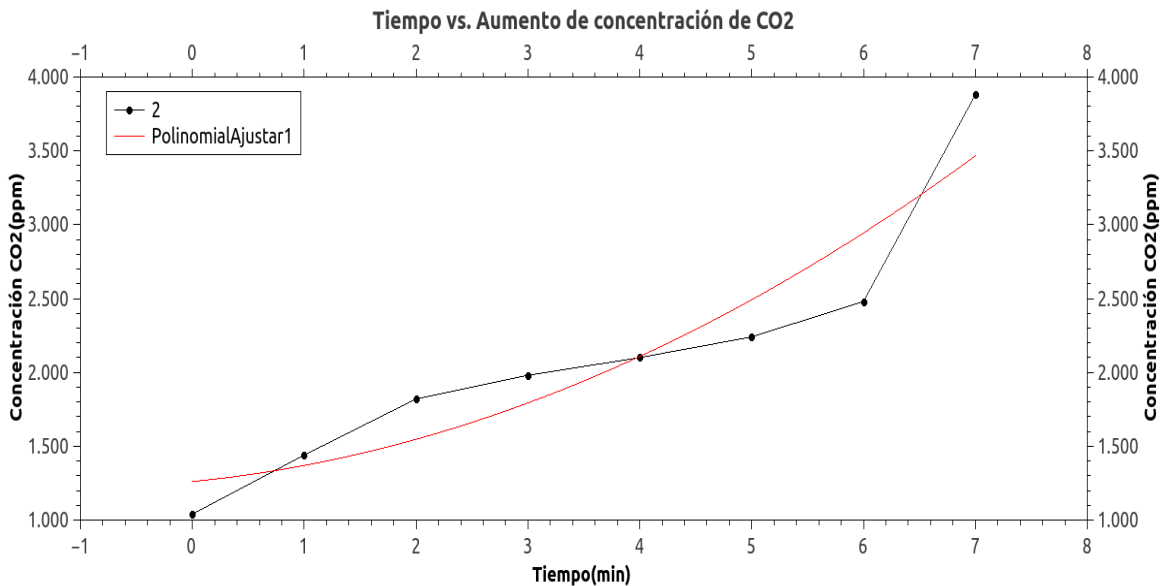


Figura 5-10. Ajuste polinomial grado 2 descriptor del comportamiento del sensor de CO<sub>2</sub>.

Los estadísticos de medición del error cuadrático medio y coeficiente de correlación, además, de los valores obtenidos para el modelo se muestran a continuación:

Ajuste polinomial de los datos expuestos en la Tabla 8, usando la función mostrada en la Ecuación ( 2):

$$\text{ConcentraciónCO}_2 = a_0 + a_1 * t + a_2 * t^2 \quad ( 2 )$$

Desde:

$$a_0 = 1,2608333333333333e^{03} \pm 2,949390911024129e^{02}$$

$$a_1 = 7,416666666666666e^{01} \pm 1,968324923516223e^{02}$$

$$a_2 = 3,440476190476191e^{01} \pm 2,703702215284487e^{01}$$

Donde,

t= intervalo de tiempo en la que se aplica la concentración de co<sub>2</sub>.

$a_n$  = Constates encontradas por el modelo para obtener la regresión polinomial de grado 2.

Estadísticos de medición del error obtenidos del modelo de regresión polinomial de grado dos mostrado en la Ecuación ( 2 ):

$$Chi^2 / doF = 1,228080952380952e^{05}$$

$$R^2 = 0,876707364705196$$

$$Adjusted R^2 = 0,784237888234093$$

$$RMSE = 350,439859659393$$

$$RSS = 614.040,476190476$$

El estadístico chi2 indica el grado de dependencia entre las dos variables (t y concentraciónCO2), para este caso la dependencia entre las variables es muy baja y por tanto es necesario probar otro modelo de regresión.

Como se observa en los estadísticos de precisión, la regresión polinomial tiene un coeficiente de correlación de 0.7867, aunque el valor es aceptable el error cuadrático medio es bastante alto: 350.43 lo que indica que no fue una regresión adecuada y es posible mejorarla con la toma de más muestras o utilizando una regresión lineal (modelo más sencillo).

Con el objetivo de mejorar la caracterización del sensor se realiza más mediciones de concentraciones de CO2, la Figura 5-11 se muestran los resultados:

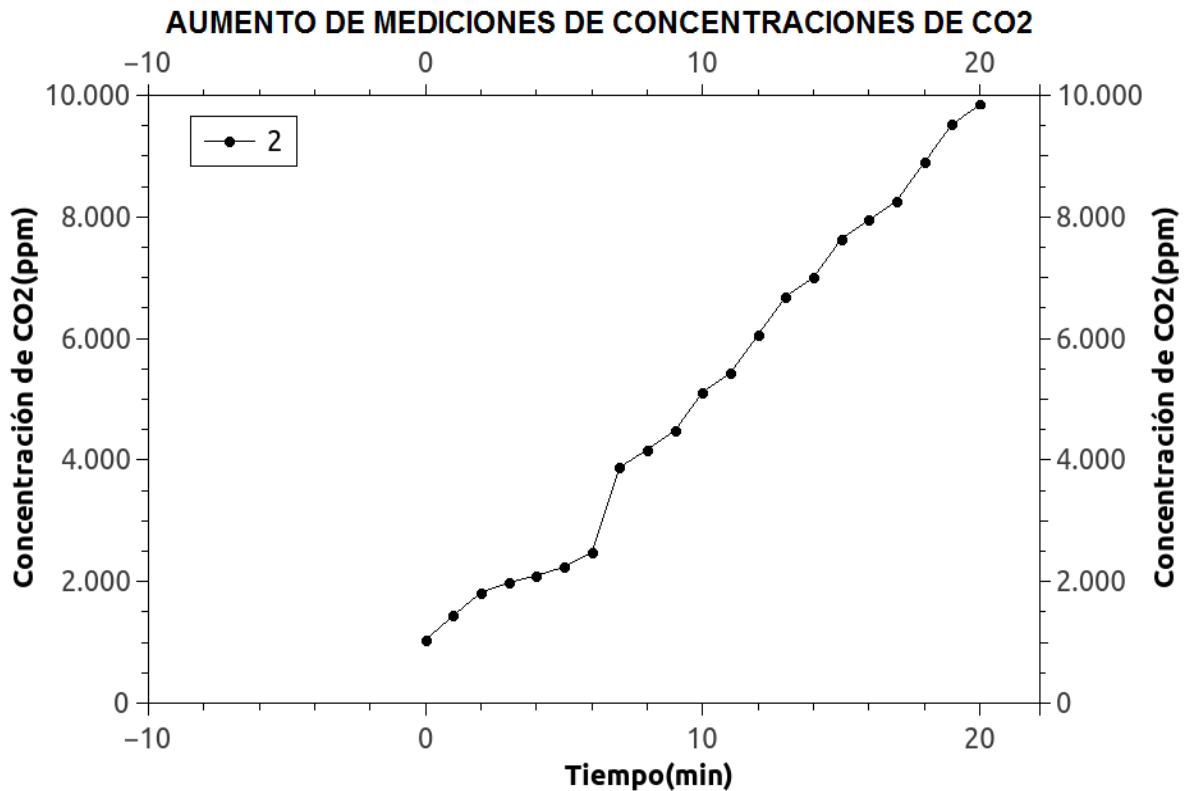


Figura 5-11. Aumento de mediciones en la concentración de CO2.

Esta vez las mediciones fueron realizadas por 20 minutos para tratar de observar un comportamiento más generalizado del sensor CM1102, se observa un comportamiento cuasi-lineal por lo que se decide aplicar una regresión lineal, a continuación se observan los resultados (Ver Figura 5-12):

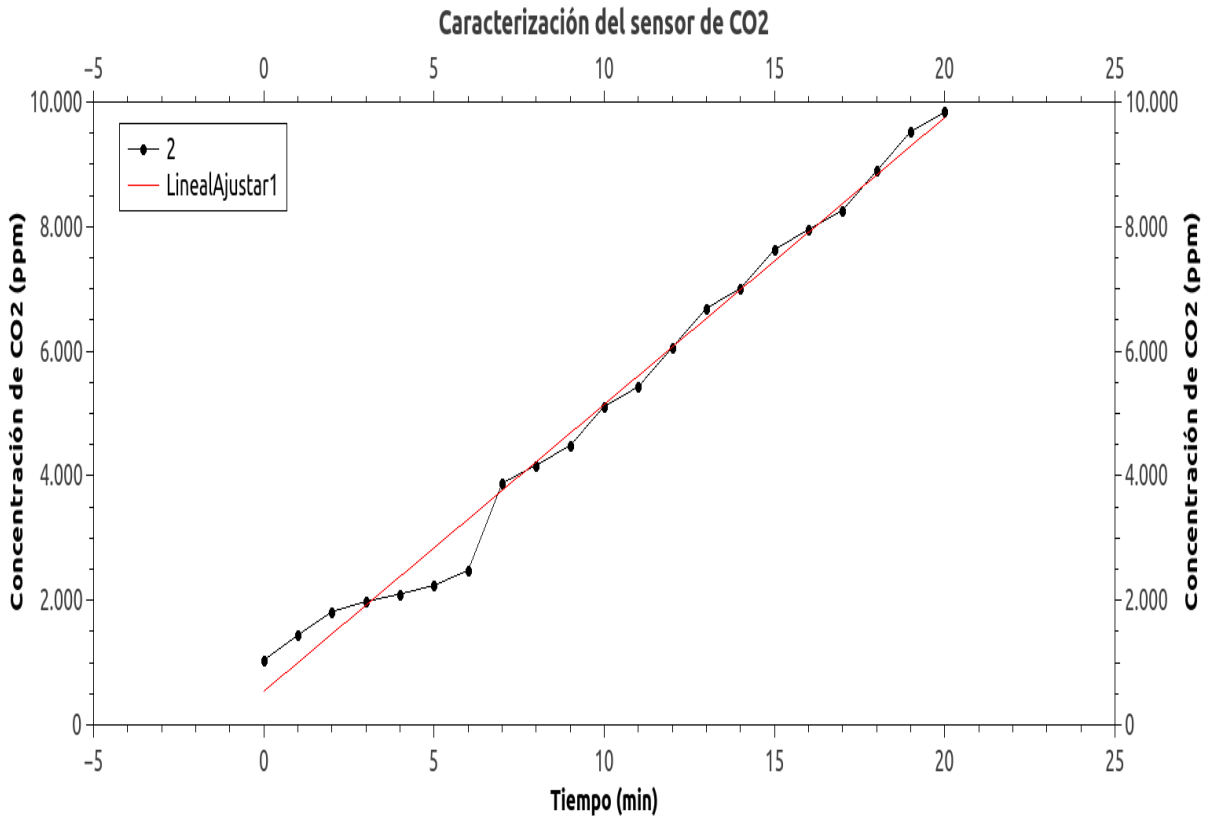


Figura 5-12. Regresión lineal para comportamiento del sensor CO2 ante incrementos de concentraciones del gas durante 20 minutos.

Los estadísticos que miden la precisión de la regresión se muestran a continuación, además, se presentan los valores de las constantes que se deben usar para obtener el modelo.

Regresión Lineal de los datos usando función siguiente (Ver Ecuación ( 3 )):

$$\text{Concentración de CO2} = A * t + B \quad ( 3 )$$

Desde,

$$B(\text{y - intercepto}) = 5,386363636363631e^{02} \pm 1,341313542735571e^{02}$$

$$A(\text{pendiente}) = 4,606363636363637e^{02} \pm 1,147358159550542e^{01}$$

Donde los estadísticos de error resultantes son los siguientes:

$$Chi^2 / doF = 1,013651674641148e^{05}$$

$$R^2 = 0,988349469180192$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 0,987054965755769$$

$$RMSE = 318,378968313101$$
$$RSS = 1.925.938,18181818$$

Los estadísticos revelan que el ajuste fue más preciso, lo anterior se apoya en que el coeficiente de correlación fue de 0.988, teniendo en cuenta que la mayor precisión se tiene con un coeficiente de 1.0 entonces puede concluirse que el modelo adecuado para modelar el comportamiento del sensor es un modelo lineal. Por otra parte el error cuadrático medio disminuyó en un 10%. La función matemática que describe el comportamiento del sensor, ante una entrada constante de concentración de dióxido de carbono se muestra en la Ecuación ( 4):

$$\text{Concentración } CO_2 = 538.63 + 460.63t \quad ( 4 )$$

Donde el aumento de gas de CO2 constante.

Con el objetivo de analizar cómo es el comportamiento del sensor en saturación, se continúa acumulando la concentración de CO2 en la recámara del experimento, este experimento permite corroborar cuál es el rango máximo que es capaz de medir el CM1102, los resultados se consignan en la gráfica mostrada en la Figura 5-13:

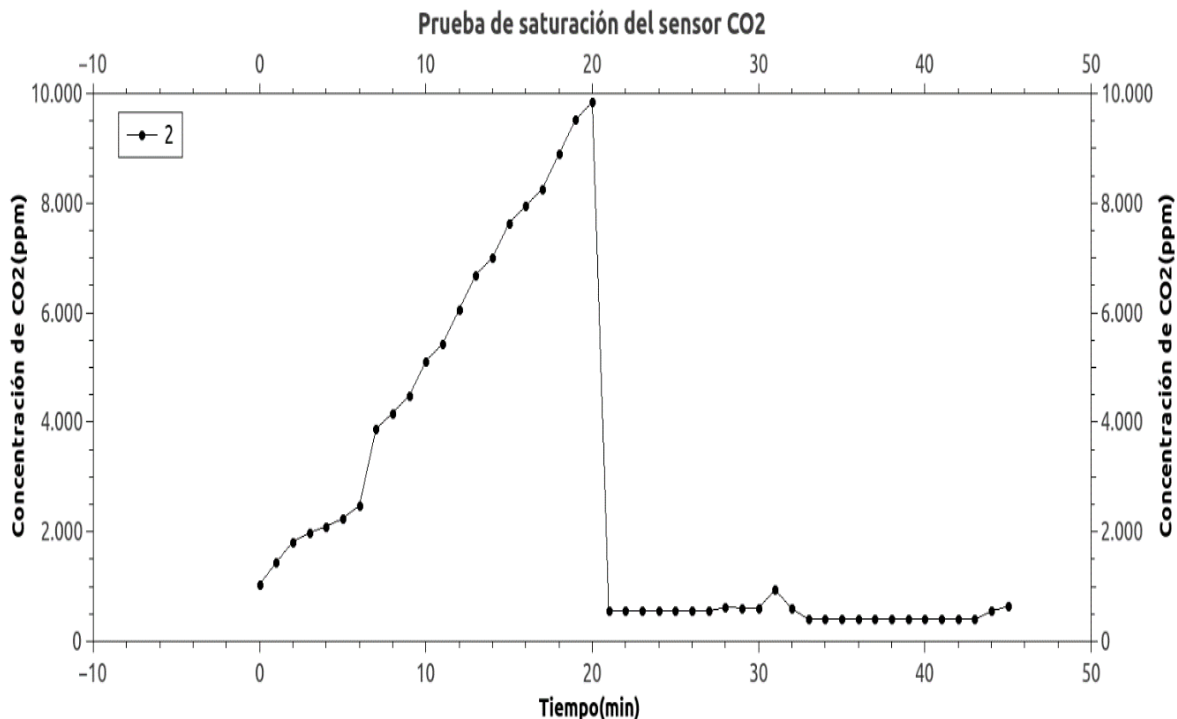


Figura 5-13. Análisis del comportamiento en saturación del sensor CM1102.

En la figura anterior se pueden observar dos puntos de interés, el primero está relacionado con el valor para el cual el sensor se satura, este valor corresponde aproximadamente a 10000ppm de CO2. Después del estado de saturación el sensor no puede volver a medir correctamente por lo que se decide liberar el CO2 de la recámara y se observa que las mediciones vuelven a tomar un valor creciente, en la Figura 5-14 se observan los dos puntos de interés:

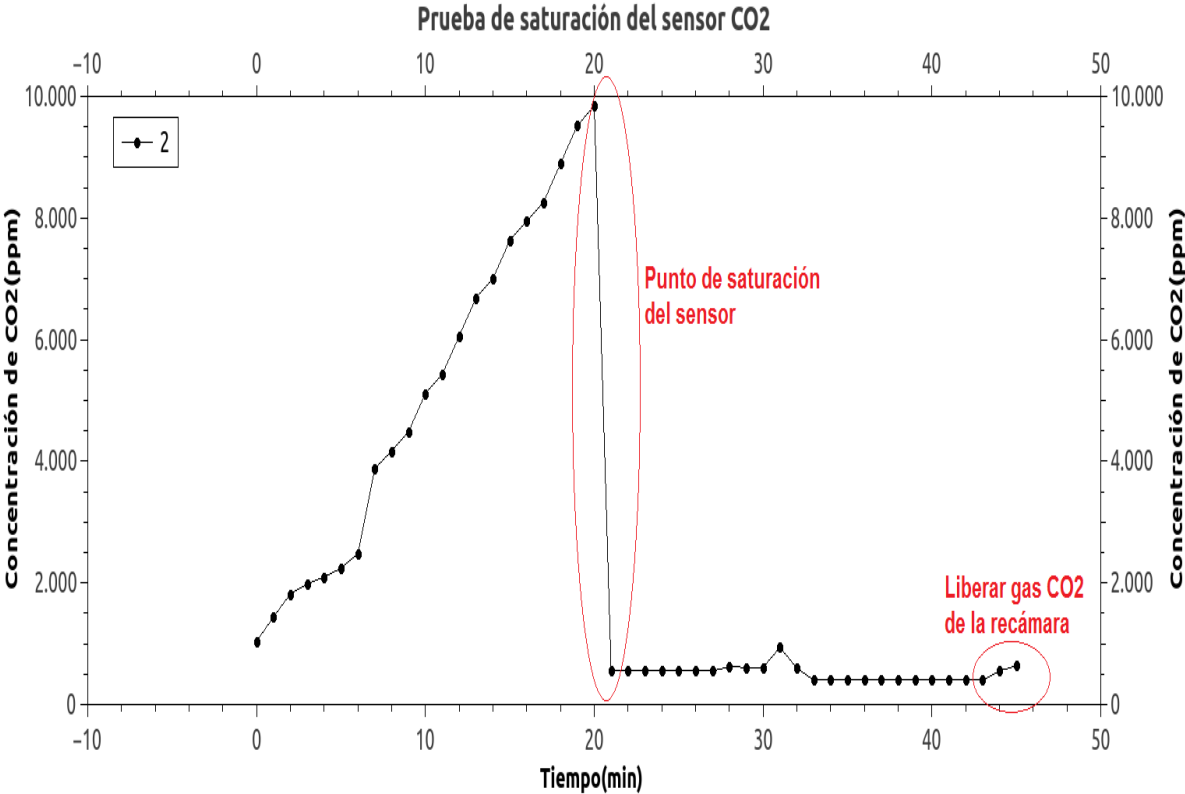


Figura 5-14. Visualización del punto de saturación.

El análisis anterior fue realizado mediante la lectura de los datos de CO2 usando el aplicativo local, los datos que entrega el sensor (formato hexadecimal) así como las conversiones a valores reales se consignan en la Tabla 8.

Tabla 8. Captura y transformación de información enviada por el sensor a través del aplicativo de consulta local (Aplicativo Java).

TRAMA DE DATOS ENTREGADA POR EL SENSOR						MEDICIÓN CO2	MEDICIÓN TEMPERATURA	MEDICIÓN HUMEDAD		
DF1	DF2	DF3	DF4	DF5	DF6	CO2 [ppm]	Temperatura [°C]	Humedad [%]	Tiempo (min)	
4	16	2	223	2	238	1040	23,2	75	0	
5	160	2	220	2	238	1440	23,2	75	1	
7	28	2	220	2	238	1820	23,2	75	2	
7	188	2	220	2	238	1980	23,2	75	3	
8	52	2	220	2	238	2100	23,2	75	4	
8	192	2	220	2	238	2240	23,2	75	5	
9	176	2	220	2	248	2480	23,2	76	6	
15	40	2	219	2	238	3880	23,1	75	7	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	LECTURAS ANTES DE LA SATURACIÓN
2	58	2	220	2	248	570	23,2	76	21	PUNTO DE SATURACIÓN
2	38	2	219	2	248	550	23,1	76	22	
2	38	2	253	2	128	550	26,5	64	23	
2	38	2	253	2	128	550	26,5	64	24	
2	38	2	253	2	128	550	26,5	64	25	
2	38	2	253	2	138	550	26,5	65	26	
2	38	2	253	2	138	550	26,5	65	27	
2	108	2	252	2	138	620	26,4	65	28	
2	98	2	249	2	158	610	26,1	67	29	
2	98	2	249	2	158	610	26,1	67	30	
3	172	2	251	1	154	940	26,3	41	31	
2	88	2	251	1	184	600	26,3	44	32	
1	144	2	251	1	204	400	26,3	46	33	
1	144	2	249	1	24	400	26,1	28	34	
1	144	2	247	1	4	400	25,9	26	35	
1	144	2	246	0	250	400	25,8	25	36	
1	144	2	244	0	240	400	25,6	24	37	
1	144	2	242	0	230	400	25,4	23	38	
1	144	2	240	0	230	400	25,2	23	39	
1	144	2	238	0	220	400	25	22	40	
1	144	2	231	1	64	400	24,3	32	41	
1	144	2	231	1	74	400	24,3	33	42	APERTURA DE CAJA DE PRUEBA
1	144	2	232	1	124	400	24,4	38	43	
2	38	2	224	2	198	550	23,6	71	44	
2	128	2	227	2	188	640	23,9	70	45	

La anterior tabla muestra los valores Hexadecimales con que responde el sensor CM1102, los valores pueden visualizarse en: “TRAMA DE DATOS ENTREGADA POR EL SENSOR”. La conversión entregada por el aplicativo desarrollado en este proyecto se observa en las casillas Medición CO2, Medición Temperatura y Medición Humedad.

La evaluación del aplicativo web y el aplicativo local se realizaron mediante la ejecución de los desarrollos sobre un servidor local y en diferentes computadores que cumplieran con los requisitos mínimos para la ejecución de los aplicativos. A continuación se muestran los resultados de las ejecuciones:

### 5.3 Evaluación del aplicativo de acceso local – Desarrollo Java

La prueba se realizó con un usuario por defecto que está almacenado en la base de datos de usuarios de la Empresa Schüler Weage. La Figura 5-15 muestra dicha ventana:



Figura 5-15. Ventana de bienvenida del aplicativo local (Java).

Si el usuario está registrado, al presionar el botón “Ingresar” el aplicativo permite acceder a las funcionalidades realizadas en este proyecto: “Obtener Datos” y “Programar medición”. La Figura 5-16 muestra los módulos disponibles:

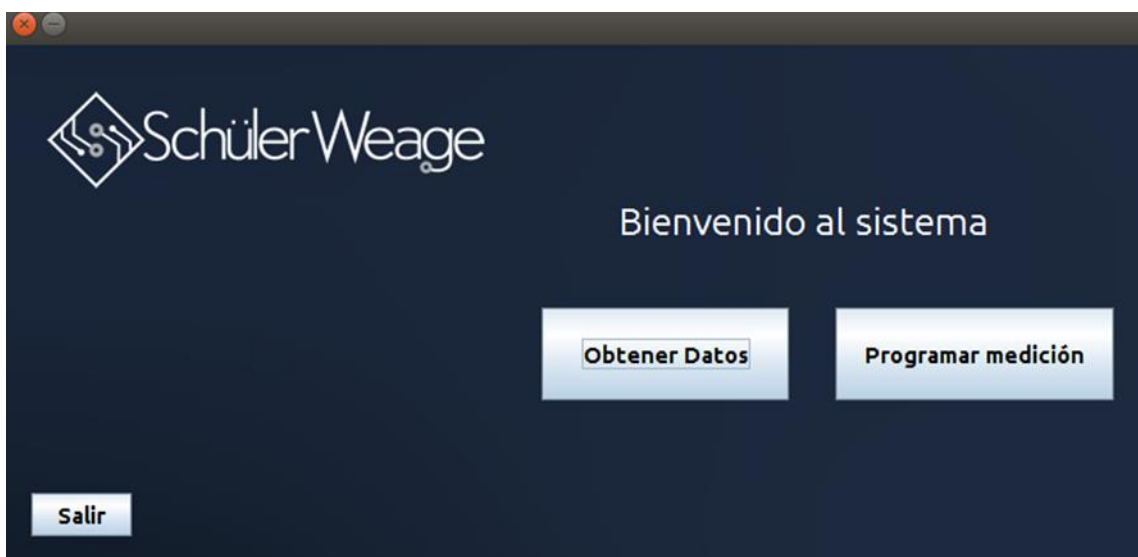


Figura 5-16. Módulos disponibles para medición con el sensor CO2.

Si se elige la opción: “Obtener Datos”, el sistema requerirá que se presione el botón “Conectar” para detectar el puerto COM donde se encuentra ubicado el sensor CM1102, una vez detectado automáticamente el puerto puede procederse a pulsar el botón “Calcular”, los valores reales de Dióxido de Carbono, Temperatura y Humedad medidos por el sensor en la zona aparecerán en los espacios designados en la interfaz gráfica, la Figura 5-17 ilustra lo anteriormente dicho:

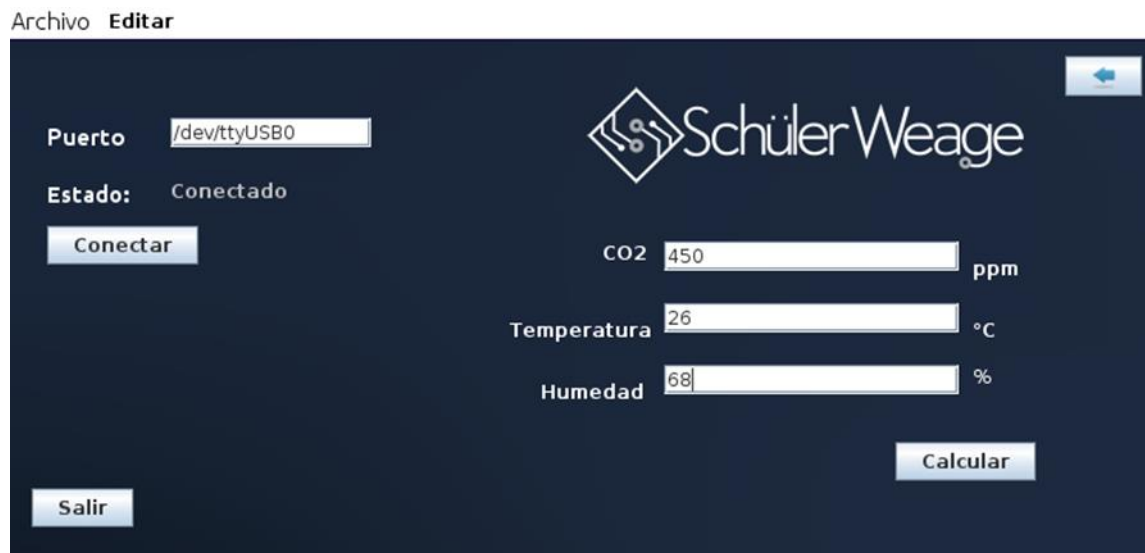


Figura 5-17. Adquisición de datos puntuales de CO2, Temperatura y Humedad a través del aplicativo local.

Para el caso anterior, la interfaz demuestra que es muy fácil de interpretar y usar, por lo que la evaluación HMI cumple con su objetivo de facilidad de uso para el operario.

Continuando con las opciones disponibles en el aplicativo local, programar tareas de medición es posible realizarlo a través de la escogencia de la opción: “Programar medición”, nuevamente se puede observar que la aplicación desarrollada es muy intuitiva y fácil de manejar puesto que solo requiere de tres pasos básicos de recordar: Presionar el botón “Conectar” para que el aplicativo encuentre el puerto donde el sensor está conectado, después se requiere la configuración de un intervalo de tiempo, el cual puede ser asignado a través de un menú desplegable con valores previamente establecidos, estos valores fueron asignados teniendo en cuenta la respuesta del sensor CM1102. Por último, presionar el botón “Iniciar”, los valores de lectura adquiridos por el sensor aparecerá en la tabla ubicada a la derecha de la aplicación, los valores disponibles serán la fecha de la toma de la muestra, la concentración de CO2, Temperatura y Humedad. A continuación se observa en la Figura 5-18 el funcionamiento del aplicativo:



Archivo Edit

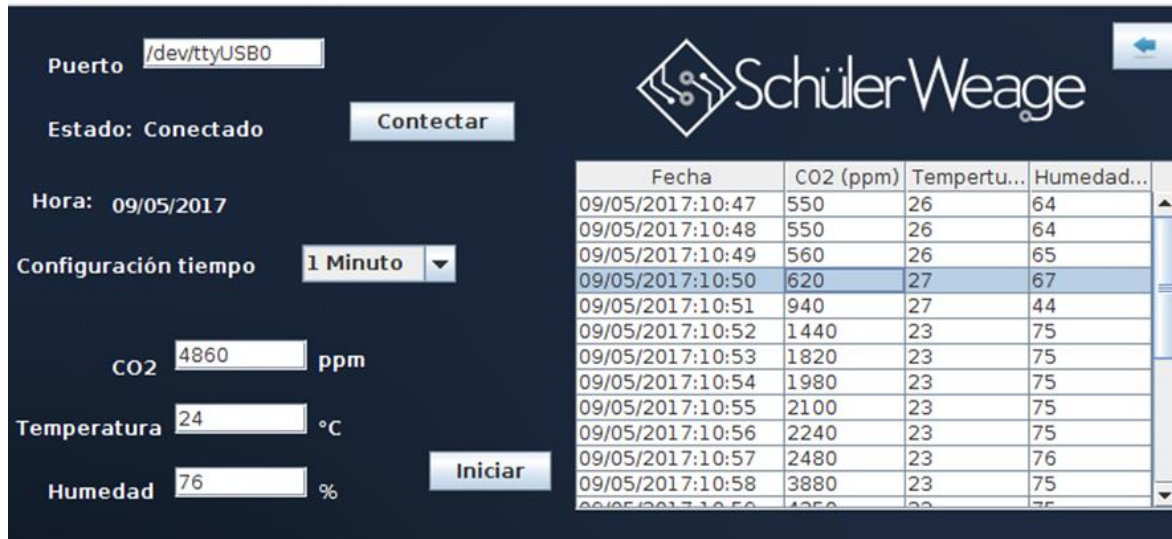


Figura 5-18. Medición de las tres variables disponibles por el sensor programadas cada minuto.

Todas las medidas realizadas pueden ser exportadas en archivo de texto plano para su posterior análisis.

#### 5.4 Evaluación aplicativo de acceso remoto – Desarrollo Java-SpringTools

La evaluación del aplicativo de acceso remoto fue realizada mediante la ejecución del sitio web montado en un servidor local perteneciente a la empresa. El aplicativo fue probado para verificar el correcto funcionamiento. En la Figura 5-19 se observa el funcionamiento de la página web a través del servidor local.

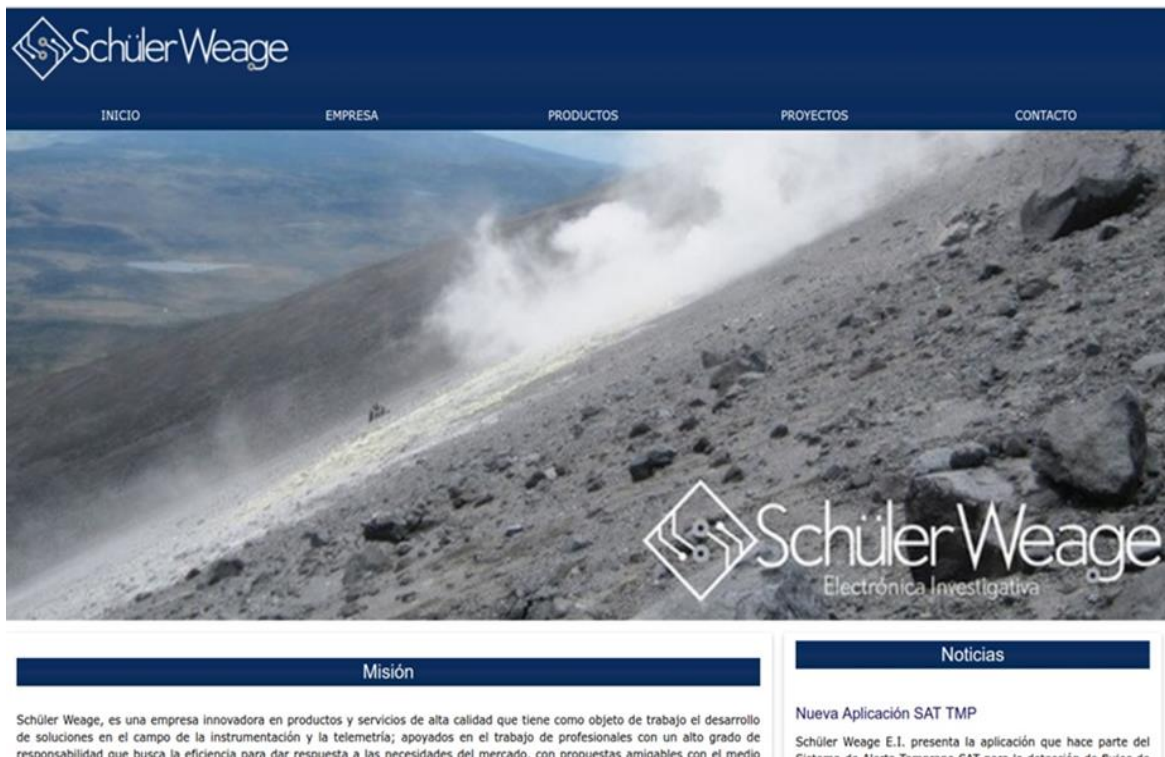


Figura 5-19. Aplicativo web desarrollado durante el proyecto.

El aplicativo desarrollado bajo la plataforma de Spring Tools permite que la empresa pueda continuar su perfeccionamiento debido a que el sitio web fue pensado de manera modular con el objetivo que puedan adicionarse nuevas funcionalidades en el futuro. Su diseño es simple pensado en la comodidad del usuario, para evaluar la conectividad de forma remota con el sensor, el usuario debe desplazarse a la pestaña “Productos”, como se muestra en la Figura 5-20:



Figura 5-20. Medición de CO2 a través del aplicativo de consulta remota.

Por ser un desarrollo enfocado para una empresa, la opción de medición de CO2 estará disponible únicamente solicitando el nombre de usuario y contraseña a la compañía. Presionando la opción: “Toma de Datos” el usuario puede solicitar al sensor la medición de las tres variables disponibles (Ver Figura 5-21):



Figura 5-21. Página web para conexión remota con el sensor.

Al presionar el botón “Calcular” los valores enviados por el sensor aparecen en los espacios designados, los valores han sido previamente convertidos a valores reales y conforme se envíen peticiones de consulta en una gráfica se muestran

como las concentraciones de dióxido de carbono evolucionan a través del tiempo. En la Figura 5-22 se observa el funcionamiento de la consulta remota a través del aplicativo web.

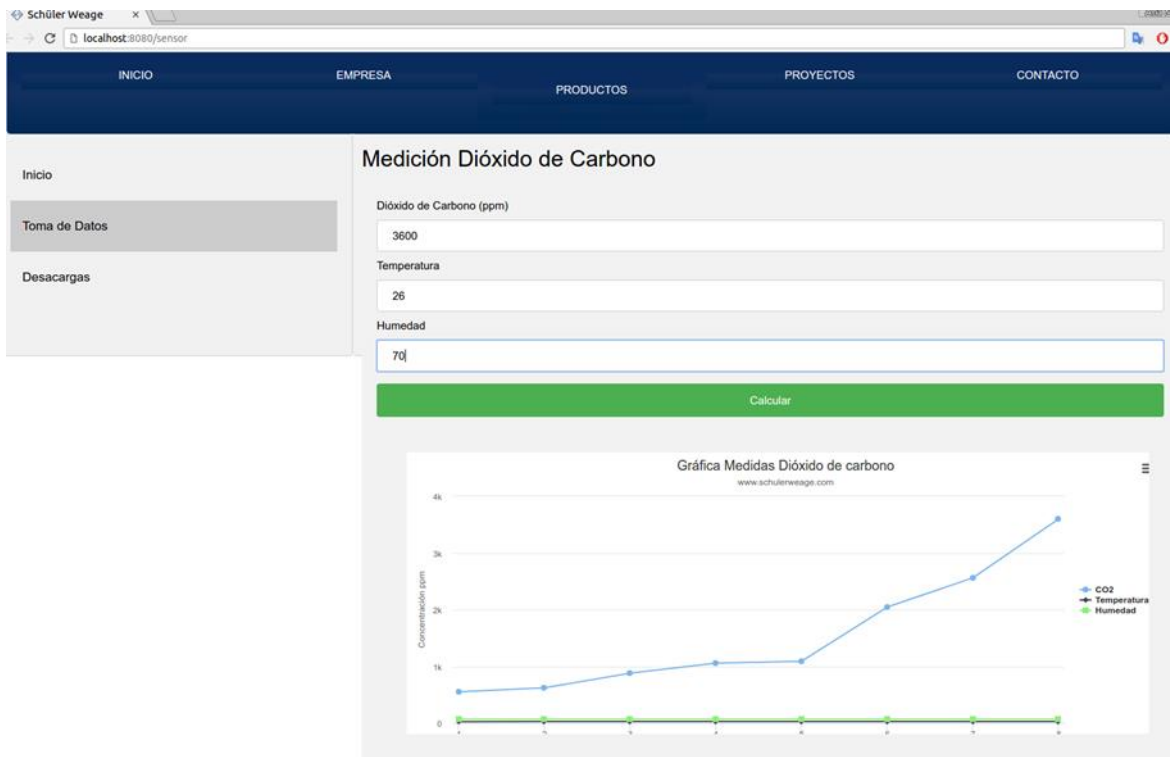


Figura 5-22. Consulta remota al sensor CM1102 a través del aplicativo Web desarrollado en el proyecto.

Los desarrollos que hasta el momento se realizaron fueron implementados tratando de utilizar software libre con el objetivo de minimizar los costos de operación de las aplicaciones tratando de generar mayor ganancia a la empresa.

## **CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

- Se logró implementar un prototipo funcional y adaptable al sistema TMP, herramienta proporcionada por la empresa, el prototipo calcula la concentración de dióxido de carbono y dicho proceso puede ser utilizado de forma local y/o remota.
- Se implementó el servicio de conexión remota utilizando un servidor local para la adquisición y análisis de datos entregados por el sensor CM1102. El resultado final es consolidado a través de una página web quedando disponible para uso de la empresa.
- Se logró realizar la comunicación con el dispositivo minimizando los costos de operación y facilitando la adquisición y manejo de datos provenientes del sensor CM1102.
- Se aporta un prototipo funcional para medir dióxido de carbono a la empresa SCHÜLER WEAGE, el cual cumple con los requerimientos exigidos para su diseño: presupuesto, consumo de potencia, protocolo de comunicación y adaptabilidad al sistema principal. Se entrega el respectivo manual de usuario, además, se brinda una capacitación del manejo y funcionamiento del sensor y la conexión con el dispositivo.

### **6.2 Recomendaciones**

- La medición de dióxido de carbono es un elemento del conjunto de factores que se deben medir en el momento de detectar alteraciones en el sistema volcánico, con la vigilancia de este conjunto de factores y la creación de sistemas de alertas tempranas se pueden plantear sistemas de vigilancia en las entidades de control para la prevención de desastres.

### **6.3 Trabajos futuros**

- Implementar un sistema mecánico donde el sistema de medición de dióxido de carbono realice las lecturas en diferentes puntos sin la necesidad de un técnico que vaya al lugar a mover el equipo.
- Como trabajo a futuro se pretende combinar utilizando algoritmos de regresión las medidas adquiridas por el sistema de medición de CO<sub>2</sub>

basado en plataforma de desarrollo del Sistema TMP y el sensor CM1102 y la información satelital disponible de satélites MODIS, lo anterior busca como objetivo encontrar un modelo que logre caracterizar la medición de CO<sub>2</sub> utilizando información satelital y así lograr abarcar una zona más extensa. Además, con las mediciones realizadas en campo por el sensor se pretende calibrar los productos MODIS relacionados con CO<sub>2</sub>.

## Bibliografía

- [1] O. Vulcanológicos, «Niveles de Actividad,» 2015.
- [2] O. M. Mundial, «Niveles sin precedentes de gases efecto invernadero tienen consecuencias en la atmósfera y los océanos,» *Organización Meteorológica Mundial*, nº 1002, 2014.
- [3] S. Weage, «Schüler Weage electrónica investigativa,» 2015. [En línea]. Available: <http://schulerweage.com/>. [Último acceso: 04 2016].
- [4] Schüler Weage, «Acta corporativa N° 060,» Popayán, 2015.
- [5] U. d. C. –. F. e. I. E. y. Telecomunicaciones, *Módulo para la investigación documental*.
- [6] J. M. A. U. J. A. S. O. María Jesús Fernández Ruiz, «Interfaces de usuario: Diseño de la visualización de la información como medio para mejorar la gestión del conocimiento y los resultados obtenidos por el usuario.,» de *La representación y organización del conocimiento : metodologías, modelos y aplicaciones*, Alcalá de Henares, Madrid, 2001.
- [7] Servicio Geológico Colombiano (SGC), «Plan estratégico del conocimiento geológico el territorio colombiano 2013-2023,» Servicio geológico colombiano, Bogotá, 2013.
- [8] H. M. P. M. U. S. K. G. S. Karthikeyan, «Gas Sensors- A Review,» *J. Environ. Nanotechnol.*, vol. 4, nº 4, pp. 01-14, 2015.
- [9] A. Leroi-Gourhan, *El medio y la técnica*, Madrid: Taurus, 1989.
- [10] Vaisala, *Cómo medir el dióxido de carbono*, 2013.
- [11] M. d. m. a. y. r. n. E. Salvador, «Principios de la Vigilancia Volcánica,» [En línea]. Available: <http://www.snet.gob.sv>.
- [12] O. M. d. I. Salud, *Salud ambiental y el riesgo volcánico*, Quito, 2005.
- [13] P. Samaniego, J. -. P. Eissen y J. Le Pennec, «Monitoreo Volcanico,» de *Los peligros volcánicos : Asociados con el Tungurahua.*, Quito, Corporación

Editora Nacional, 2003, p. 1106.

- [14] A. P. S. J. T. D. T. J. Baubron J, «Soil gas emanations as precursory indicators of volcanic eruptions,» 1991.
- [15] L. e. d. I. E. Británica, *Exsolution*.
- [16] M. G. G. R. A. e. a. De Rosa, *Continuous in situ measurements of volcanic gases with a diode-laser-based spectrometer: CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O concentration and soil degassing at Vulcano (Aeolian islands: Italy)*, 2007.
- [17] K. D. ., V. J. R. ., I. M. W. ., J. D. & F. P. C. S. Kearney, «Observations of SO<sub>2</sub> production and transport from Bezymianny volcano, Kamchatka using the MODerate resolution Infrared Spectroradiometer (MODIS),» 2008.
- [18] J. P. D. W. K. e. a. M. S. S. m. Diaz, «Unmanned Aerial Mass Spectrometer Systems for In-Situ Volcanic Plume Analysis,» 2015.
- [19] E. C. Salinero, *Fundamentos de teledetección espacial.*, Ediciones Rialp, 2006.
- [20] “. Missions”, «Landsat Missions,» 22 04 2017. [En línea]. Available: [https://landsat.usgs.gov/.](https://landsat.usgs.gov/)
- [21] MODIS, «MODIS Web,» [En línea]. Available: [https://modis.gsfc.nasa.gov/.](https://modis.gsfc.nasa.gov/) [Último acceso: 15 06 2017].
- [22] «Interactive Weather Satellite Imagery Viewers from NASA MSFC.,» [En línea]. Available: [https://weather.msfc.nasa.gov/GOES/.](https://weather.msfc.nasa.gov/GOES/) [Último acceso: 02 06 2017].
- [23] Y. T. S.-C. J. C. C.-M. a. A. F.-C. E. L. Pencue-Fierro, «A Semi-Supervised Hybrid Approach for Multitemporal Multi-Region Multisensor Landsat Data Classification,» *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens*, vol. 9, n° 12, pp. 5424-5435, 2016.
- [24] S. K. K. P. R. P. G. O. J. S. Doreen Neil, «Satellite Observations for Detecting and Tracking Changes in Atmospheric Composition,» 2008.
- [25] D. S. M.-P. H. C. L. J. B. B. R. T. P. D. S. M.-P. H. C. L. a. J. B. B. R. T. Pinker, «Evaluation of Satellite Estimates of Land Surface Temperature from



- GOES over the United States,» *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, vol. 48, nº 1, pp. 167-180, 2009.
- [26] X. W. J. L. K. Y. G. Z. a. H. T. M. Guo, «Assessment of Global Carbon Dioxide Concentration Using MODIS and GOSAT Data,» vol. 12, nº 12, pp. 16368-16389, 2012.
- [27] X.-M. J. Y.-W. S. Jing Peng, «A novel NDIR CO<sub>2</sub> sensor using a mid-IR hollow fiber as a gas cell,» Shanghai, China, 2010.
- [28] A. d. C. J. M. J. Meléndez, «Spectrally selective gas cell for electrooptical infrared compact multigas sensor,» *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 47, nº 1-3, pp. 417-421, 1995.
- [29] J. M. K. Geoffrey J. Meaden, «Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la acuicultura.,» Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Roma, 1992.
- [30] International sensor technology, «International sensor technology(Infrared),» 23 10 2015. [En línea]. Available: <http://www.intlsensor.com/>. [Último acceso: 06 2017].
- [31] J. A. Moragues, *Manual de tecnologías de medición de concentración de gases y material particulado en chimeneas y atmósfera..*
- [32] I. E. V. G. Mary Luz Maldonado Herrera, *Construcción de un módulo sensor-transmisor para las emisiones de CO,CO<sub>2</sub>,C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> y opacidad en motores diesel sin carga*, Bucaramanga, 2004.
- [33] M. T. I. M. K. a. R. C. H. Clifford K. Ho, *Review of chemical sensors for In-Situ Monitoring of volatile contaminants*, Albuquerque, New Mexico : Sandia National Laboratories, 2001.
- [34] J. Janata, *Principles of Chemical Sensors*, 2009.
- [35] Schüler Weage, «Schüler Weage, Electrónica Investigativa,» Schüler Weage, 2013. [En línea]. Available: [www.schulerweage.com](http://www.schulerweage.com). [Último acceso: 20 06 2017].
- [36] T. G. S. L. Jesús Lorés, *Introducción a la interacción persona-ordenador*,

2002.

- [37] O. V. B. N. F. Cuccoli, «Laser apparatus for the atmospheric CO<sub>2</sub> remote sensing and accumulation chamber for the estimation of the CO<sub>2</sub> emission rate by the riverbed of the Ambra creek.,» 2015.
- [38] H. F. N. M. B. C. P. A. M. C. A. D. Garcia-Romero, «A NDIR- based CO<sub>2</sub> Monitor System for wireless Sensor Networks,» *Circuits and Systems (LASCAS), 2012 IEEE Third Latin American Symposium on*, 2013.
- [39] O. L. J. K. L. S. Taeg Jin Lee, «CO<sub>2</sub> sensor with data logger system,» de *Systems, Applications and Technology Conference (LISAT), 2012 IEEE Long Island, Farmingdale, NY, USA*, 2012.
- [40] M. N. M. Y. M. N. M. F. K. W. Yanfeng Wang, «A NDIR CO<sub>2</sub> Monitor with Smart Interface for Global Network,» de *Instrumentation and Measurement Technology*, Como, Italia, 2004.
- [41] J. A. Suntaxi Pichuasamin, «Diseño y construcción de un prototipo portátil de monitoreo ambiental, mediante un sistema autónomo de adquisición de datos portátil con comunicación USB hacia un PC,» Quito, 2015.
- [42] M. Gasulla Forner, «Nodo autónomo para la medida ambiental de CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad,» 2008.
- [43] A. B. Lockhart, T. L. Murray y B. T. Furukawa, *Operación de redes telemétricas de baja potencia en ambientes severos.*, 1993.
- [44] C. A. Macías Bautista, *Diseño de un sistema digital de monitoreo de lahares en tiempo real*, Quito, 2012.
- [45] J. M.-V. Araña, *La volcanología actual*, Madrid: Editorial CSIC - CSIC Press, 1993, 1993.
- [46] Maxim Integrated, «Hoja de características MAX3232,» 2007. [En línea]. Available: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX3222-MAX3241.pdf>.
- [47] Pivotal, «Spring Tools,» Pivotal Software, 2017. [En línea]. Available: <https://spring.io/tools/sts>.

- [48] COPADATA, «COPADATA,» [En línea]. Available: /www.copadata.com.
- [49] P. Software, «Spring,» 2017. [En línea]. Available: <https://spring.io/tools>. [Último acceso: 3 2017].
- [50] MAXIM, *Hoja de datos de MAX3232*, San Gabriel drive, Sunnyvale California, 2007.
- [51] D. A. M. Pieri, «ASTER watches the world's volcanoes: a new paradigm for volcanological observations from orbit,» Pasadena, 2003.
- [52] M. T. I. G. T. Y. W. H. Notsu K, «Infrared spectral radiometer: A new tool for remote measurement of SO<sub>2</sub> of volcanic gas.,» 1993.
- [53] J. P. D. W. K. e. a. M. S. S. m. Diaz, «Unmanned Aerial Sistemas espectrómetro de masas para el análisis en-Situ volcánica Plume,» 2015.
- [54] T. Y. K. W. Song Chen, «A simple, low-cost non-dispersive infrared CO/sub 2/ monitor,» de *Sensors for Industry Conference, 2002. 2nd ISA/IEEE*, Houston, TX, EE.UU., EE.UU., 2003.

## ANEXOS

### Anexo 1. Requerimientos para el diseño del prototipo de CO2.

#### Datos técnicos

Técnica de medición	Técnica NDIR (Non-dispersive infrared)
<b>Rangos de medición</b>	
• Dióxido de carbono	0ppm – 10,000ppm
• Temperatura	0 – 50 °C
• Humedad	0 – 90%RH
<b>Curva característica</b>	Lineal
<b>Entradas y salidas</b>	
• Entrada de alimentación	5V DC
• Puerto Serie	RS232/TTL
<b>Tiempo de respuesta</b>	<60s
<b>Tiempo vida útil</b>	>5 años
<b>Costo</b>	< \$300,000 mil pesos

#### Requerimientos ambientales:

- Temperatura mínima 0°C
- Temperatura máxima 60°C

#### Requerimientos electrónicos

- Elementos que cumplan con las normas industriales.
- Técnicas de medición avaladas para una zona volcánica.

## **Anexo 2. Carta Aval de la empresa**

### **Anexo 3. Manual de Usuario Equipo medidor de Dióxido de Carbono**