

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**PROYECTO DE DESARROLLO PARA PROTOTIPO DE
SENSOR MULTIGAS PARA MONITOREO VOLCÁNICO**

PRESENTADO POR:

BRYAN ALEXIS RIVERA MACHADO

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR, OCTUBRE 2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M.SC.JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR INTERINO:

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de graduación previo a la opción de grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título:

**PROYECTO DE DESARROLLO PARA PROTOTIPO DE
SENSOR MULTIGAS PARA MONITOREO VOLCÁNICO**

Presentado por:

BRYAN ALEXIS RIVERA MACHADO

Trabajo de graduación aprobado por:

Docente asesor:

DOC. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMÉNEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR, OCTUBRE 2024

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

DOC. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMÉNEZ

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, Jueves 26 de septiembre de 2024, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 10:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Meléndez Valle
Director Interino


Firma

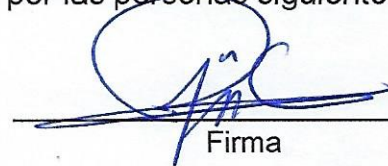
2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario


Firma

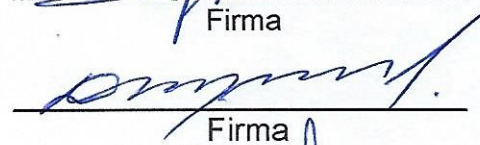


Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMENEZ
(Docente Asesor)


Firma

- ING. WERNER DAVID MELENDEZ VALLE


Firma

- ING. WALTER LEOPOLDO ZELAYA CHICAS


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

PROYECTO DE DESARROLLO PARA PROTOTIPO DE SENSOR MULTIGAS PARA MONITOREO VOLCÁNICO

A cargo del Bachiller:

- RIVERA MACHADO BRYAN ALEXIS

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final:

(Ocho punto Cero)

8.0

Agradecimientos

La presente tesis fue desarrollada debido al enlace benéfico entre las ramas de vulcanología e ingeniería eléctrica de la Universidad de El Salvador; y con ella se sientan las primeras bases para la construcción de más equipos de medición orientados a la vulcanología en un futuro cercano. Es por ello que quiero expresar mi gratitud con el trabajo previo publicado.

Primeramente agradezco a Dios quien me ha dotado de la energía, sabiduría, quien me ha preservado hasta el día de hoy, en la realización de mis aspiraciones académicas, quien me ha brindado el el valor, firmeza y dedicación en el camino hacia mis objetivos.

Quiero agradecer al Lic. Francisco Salvador MONTALVO y a la Ing. Jackeline Rivera quienes fueron los encargados de proporcionar los sensores de SO₂, H₂S, SBA-5 CO₂ analyzer y darnos el reto de crear un prototipo de multigas equipo que servirá como un preámbulo, en el estudio de sistemas de monitoreo volcánico, también por proporcionar un espacio con las condiciones adecuadas para la construcción de los equipos, acompañarme en las visitas de campo y compartir sus conocimientos de monitoreo volcánico e información importante en el desarrollo de esta investigación.

Agradecer también a mi Docente asesor, Doc. Carlos Osmín Pocasangre Jiménez, quien fue un puente de conexión entre la institución de Medio ambiente MARN proponiendo la cooperación quien orientó en el desarrollo de mi trabajo de graduación. Agradecerle por el apoyo y guía en el proceso de graduación y motivarnos a publicar artículos referentes a nuestra tesis en congresos y revistas, gracias a ello pudimos colocar el nombre de la Universidad de El Salvador y de la Escuela de Ingeniería Eléctrica en aun mas alto galardón, que mas estudiantes puedan participar de estas oportunidades de trabajar con equipos no muy accesibles en el ámbito estudiantil.

Así, mismo agradecer a mi familia, en especial a mi abuela Maria Ángel Rivera por todo el amor y consejos recibidos, y siempre apoyarme en cada una de las decisiones que tome a lo largo de mi carrera, por estar siempre ahí para mí y que no me hubiese hecho falta nada, de la misma manera agradecer a mi padre Osar Antonio Rivera por apoyarme en todo momento, en las diferentes circunstancias que la vida me iba poniendo siempre estuvo él para apoyarme y motivarme a seguir adelante. A mi hermana Jackeline Jazmín Rivera Machado por estar prácticamente en todo momento a mi lado, por escucharme y desearme lo mejor en mi carrera.

Agradezco a mi primo y amigo Luis Ángel Rivera Ibarra quien conozco la infancia con quien

me crié por su apoyo cuando necesitaba de encontrar algún material relacionado con mi trabajo o desplazarme a algún lugar relacionado a mis actividades académicas.

Agradecer a mi compañero de proyecto de ingeniería(PIR) con quien tuvimos los primeros acercamientos de monitoreo volcánico, Ángel Alejandro Alas, por su invaluable aporte en el desarrollo de este trabajo de tesis, todas las horas de trabajo dedicadas y por ser una gran fuente de apoyo no solo durante este trabajo si no durante toda la carrera.

Mi gratitud también a los docentes de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, sus conocimientos tan valiosos me han servido para el desarrollo de la tesis, pero lo más importante, me servirán a lo largo de mi vida profesional.

Mis agradecimientos van dirigidos a todos aquellos que mostraron su apoyo y ayuda en cada etapa de esta investigación y también a lo largo de mi formación profesional.

Josué 1:9

Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas.

Bryan Alexis Rivera Machado

Indice

Resumen	VI
Abstract	VII
1. Marco conceptual	1
1.1. Introducción a monitoreo volcánico	1
1.2. Monitoreo volcánico	2
1.3. Medición de intercambio de gases: metodología IRGA	4
1.4. CO ₂ SBA-5 Gas analyzer	6
1.4.1. Configuraciones iniciales para el uso del SBA-5 utilizando GP5PcApp	8
1.4.2. Calibración SBA-5	10
1.5. Sensores 3TF Sulfur Dioxide Sensor SO ₂ y T3H Hydrogen Sulfide Transmitter H ₂ S	10
1.5.1. Calibración sensores	12
1.5.2. Procedimiento de calibración 3TF y H3F	12
1.6. Bomba de succión TD-2NA(8).	15
1.6.1. Velocidad del viento	16
1.7. Datalogger CR300 series	19
1.7.1. Compatibilidad	19
1.8. GPS Garming 18x	24
1.9. Lenguaje de Programacion	25
1.9.1. Software de conexion y edición PC400	25
1.9.2. Software PC400	25
1.9.3. Instalación	25
1.9.4. Ventajas y características	27
1.9.5. Lenguaje de Programacion CRBasic	29
1.10. Ecuaciones	30
1.10.1. Ecuación de estado Redlich–Kwong	30
1.10.2. Standard Factor Gas	31
1.10.3. Humedad en el monitoreo volcanico	32
1.10.4. Humedad Relativa	33

Indice de Figuras

1.1. Técnicas de Monitoreo utilizadas por SNET	2
1.2. Esquema conceptual geoquímico de un sistema volcánico – hidrotermal . . .	4
1.3. Absorción en el espectro infrarrojo del CO ₂ y H ₂ O	5
1.4. Esquema de recolección de sistema IRGA	6
1.5. Analizador de Gases de CO ₂ SBA-5	7
1.6. Ventana de configuración de firmware G5PcApp	9
1.7. Esquema PCB de placas 3TF y T3H	11
1.8. Contenedores de concentraciones de emisores H ₂ S, SO ₂ ppmv y CO ₂	14
1.9. Valores de calibración SO ₂ y CO ₂	14
1.10. Valores de calibración H ₂ S	15
1.11. Bomba TD-2NA(8)	16
1.12. CR300 Series	20
1.13. Captura de ventana de configuración de CR300 1	21
1.14. Captura de ventana de configuración de CR300 2	22
1.15. Ventana descarga y envío de clave e instalador PC400	26
1.16. Correo con la clave key Software PC400	26
1.17. Ventana PC400	27
1.18. Ventana editor CRBasic	30
2.1. Diagrama de flujos estación Multigas	34
2.2. Filtro de 1 μ m	36
2.3. Diseño de montura de sensores	37
2.4. Acople preliminar analizador de CO ₂ SBA-5, sensores, y bomba	38
2.5. Diagrama Power Supply	39
2.6. Diagrama de conexiones eléctricas estación Multigas	40
2.7. Configuraciones programa SNSRXCFG del GPS Garming 18x	41
2.8. Comunicación RS-232 pines DTR, TX, RX, GND	42
2.9. Conexiones del conector serial DB9 en el SBA5	43
2.10. Settings SBA-5 del programa Gas	44
2.11. Fotografía de montaje estación Multigas	45
3.1. Visualización programa en ejecución en PC400	50
4.1. Ecoparque el Espino ubicación latitud y longitud	51
4.2. Mapa de ubicación “cráter volcán de Santa Ana”, latitud y longitud	52
4.3. Mapa de ubicación “Infiernillos San Vicente” latitud y longitud	53

4.4. Toma de emisiones de CO ₂ Ecoparque fumarola los infernillos	55
4.5. Visualización de emisiones de CO ₂ en LoggerLink	56
4.6. Comparación de emisiones de CO ₂ Cerro de la Olla, Eco parque el Espino . .	57
4.7. Cráter volcán Santa Ana	58
4.8. Comparación de emisiones de SO ₂ volcan de Santa Ana	58
4.9. Comparación de emisiones H ₂ S volcán de Santa Ana	59
4.10. Imagen satélite área de estudio los infernillos volcán de San Vicente	60
4.11. Área infernillos volcán de san Vicente	61
4.12. Comparación de emisiones de CO ₂ volcán de San Vicente	62
4.13. Comparación de emisiones de SO ₂ volcán de San Vicente	62
4.14. Comparación de emisiones de H ₂ S volcán de San Vicente	63

Lista de Tablas

1.1.	Configuración de puertos 1-12 SBA-5	8
1.2.	Escala de Beaufort	19
1.3.	Tabla de Funciones terminal entrada analógica	22
1.4.	Especificaciones CR300 series	23
1.5.	Garmin USB RS-232 DB-9	25
2.1.	Resumen de conexiones RS-232 DB9 con SBA-5	43
2.2.	Comandos de configuración del SBA-5	44
2.3.	Resumen de conexiones de los Puertos del CR300	46
5.1.	Presupuesto de los componentes utilizados	66
5.2.	Software de diseño	67
5.3.	Tiempo de operación	68

Resumen

Este documento pretende explicar brevemente sobre el desarrollo y construcción de un prototipo medidor multigas para monitoreo volcánico. Este dispositivo es capaz de recolectar datos de tres sustancias volátiles, como CO_2 , SO_2 , H_2S . Para lo cual se utilizará un analizador de gases infrarrojos de CO_2 SBA-5, dos sensores electroquímicos de Dióxido de Azufre 3STF, y el Transmisor de Sulfuro de Hidrógeno T3H. Las áreas de estudio donde se probó el instrumento fueron la zona occidental y la zona-paracentral. En la zona paracentral, el punto de medición se localiza en San Francisco Aguas Agrias, Verapaz. en el occidente respectivamente, se midió en el borde del cráter de volcán Lamatepec que tiene una elevación de 2,381 msnm. En estos lugares se realizó la prueba de campo del dispositivo donde se recopilaron datos que se compararon con los obtenidos por el Ministerio de Medio Ambiente (MARN), para verificar su funcionamiento, y capacidad de recolectar datos sobre emisiones de gases volcánicos. Para el caso del cráter, las concentraciones de las emisiones de SO_2 tienen un desfase del 10.91 % y para H_2S del 13.32 %. Seguido, para el caso de Agua Agria, los valores obtenidos de los datos de CO_2 tienen un desfase de 3 %, para SO_2 un 4.28 %, y para H_2S un 2.57 %. Habiendo realizado la comparación de ambos casos se concluye que el error se debe en gran medida a la calibración de los sensores, y el retraso en respuesta a la sensibilidad electrónica. Sin embargo, se ha visto una gran mejora en los resultados.

Abstract

This document aims to briefly explain the development and construction of a multi-gas measuring prototype for volcanic monitoring. This device can collect data on three volatile substances: CO₂, SO₂, and H₂S. An SBA-5 infrared CO₂ gas analyzer, two 3STF electrochemical sulfur dioxide sensors, and the T3H hydrogen sulfide transmitter will be used. The study areas where the instrument was tested were the western and paracentral zones. In the paracentral zone, the measurement point is located in San Francisco Aguas Agrias, Verapaz. In the west, respectively, it was measured at the edge of the Lamatepec volcano crater, which has an elevation of 2,381 meters above sea level. In these places, the device was field tested, and data was collected and compared with those obtained by the Ministry of the Environment (MARN) to verify its operation and capacity to collect data on volcanic gas emissions. In the case of the crater, the concentrations of SO₂ emissions have a lag of 10.91 % and H₂S of 13.32 %. Next, for the case of Agua Agria, the values obtained from the CO₂ data have a lag of 3 %, for SO₂ 4.28 %, and H₂S 2.57 %. Having compared both cases, it is concluded that the error is due primarily to the calibration of the sensors and the delay in response to electronic sensitivity. However, a significant improvement in the results has been seen.

Capítulo 1

Marco conceptual

1.1. Introducción a monitoreo volcánico

El Servicio Nacional de Estudios Territoriales, mejor conocido como SNET por sus siglas, es una institución dirigida por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Humanos de El Salvador (MARN). El SNET tiene como propósito la realización de estudios y monitoreo ambientales, que tengan relación directa e indirecta con la dinámica territorial y la probabilidad de que se concreten pérdidas y daños económicos, sociales y ambientales. El SNET busca brindar las referencias territoriales en cuanto a las amenazas, vulnerabilidades, capacidades y oportunidades, a fin de mejorar la toma de decisiones para el desarrollo sostenible y la seguridad humana.

“En esta red es donde se desarrolla y opera Sistemas de Alerta Temprana contra erupciones volcánicas. Para ello, se realizan trabajos de instrumentación, monitoreo sismo-volcánico, observación visual por parte de personal local y vulcanólogos especializados, medición de temperatura en fumarolas, fisuras, pozos y cuerpos de agua, medición química de gases, aguas y cenizas, mediciones geodésicas (GPS, EDM), utilización de sensores remotos (fotografías aéreas, imágenes de satélite, imágenes de radar, entre otros).

También es competencia de esta área, realizar monitoreo de erupciones volcánicas (sismicidad volcánica, tremor) y evaluación de amenaza, por medio de los métodos arriba detallados, coordinar y operar el sistema de alerta a la aviación civil, contra nubes de ceniza volcánica en coordinación con Sismología y Meteorología; fomentar, supervisar, coordinar y ejecutar estudios de: amenaza volcánica en el marco nacional y local, vulcanismo histórico, régimen tectónico antes y después de erupciones (en cooperación con el IGN), construir y mantener bancos de datos de: vulcanismo histórico y reciente, datos vulcanológicos y afectación por gases volcánicos.

La elaboración de Comunicados de alerta, boletines informativos extraordinarios y ordinarios con periodicidad mensual y anual, mapas de Amenazas Volcánicas y Mapas de Riesgo Volcánico, es de crucial importancia a fin de brindar información rápida y oportuna a las autoridades del gobierno central, gobiernos locales y público en general sobre cualquier condición de amenaza.”.

Las técnicas de monitoreo que el SNET utiliza para el monitoreo de los principales volcanes activos de El Salvador se pueden observar en el siguiente cuadro.

Figura 1.1

Técnicas de Monitoreo utilizadas por SNET

TECNICAS DE MONITOREO UTILIZADAS POR SNET EN LOS PRINCIPALES VOLCANES ACTIVOS DE EL SALVADOR						
TECNICA	SANTA ANA	SAN MIGUEL	SAN SALVADOR	IZALCO	SAN VICENTE	ILOPANGO
SISMICO						
GASES (SCANDOAS SO2)						
HIDROGEOQUIMICO						
TEMPERATURA						
IN-SITU						
SENSORES						
TERMOGRAFIA (IR)						
VISUAL						
OBSERVACIONES DE CAMPO						
CAMARA WEB						
DEFORMACION GPS (PLAN PILOTO)						

Nota: Esta es una imagen explicativa de las Técnicas de Monitoreo utilizadas por SNET (SNET, 2018)

1.2. Monitoreo volcánico

El Salvador se ubica en el conocido cinturón de fuego, ha poseído una fuerte actividad volcánica desde muchos años atrás, entre las más recientes podemos mencionar la erupción del volcán de Santa Ana en el 2005, en la zona occidental y la erupción del volcán de San Miguel en el 2013, en la zona de Oriente, dos de los volcanes más activos que posee El Salvador. Parte de la actividad volcánica presentada en el país, se menciona la emisión de gases y excepcionalmente de cenizas. Los volcanes de activos a la fecha son el volcán de Santa Ana, el volcán de San Miguel y el volcán de Izalco.

Los volcanes son parte del ecosistema del país, los cuales poseen dentro suyo una cámara magmática. La cámara magmática es un almacén de roca fundida (magma) de gran tamaño. La cámara almacena también una gran presión que con el tiempo puede fracturar la roca que lo envuelve. Si el magma encuentra una salida hacia la superficie terrestre, se da una erupción volcánica. Detectar las cámaras magmáticas son muy difíciles por su profundidad

dentro de la tierra, la mayoría de las conocidas, comúnmente se encuentran entre 1 y 10 kilómetros de profundidad, cercano a la superficie.

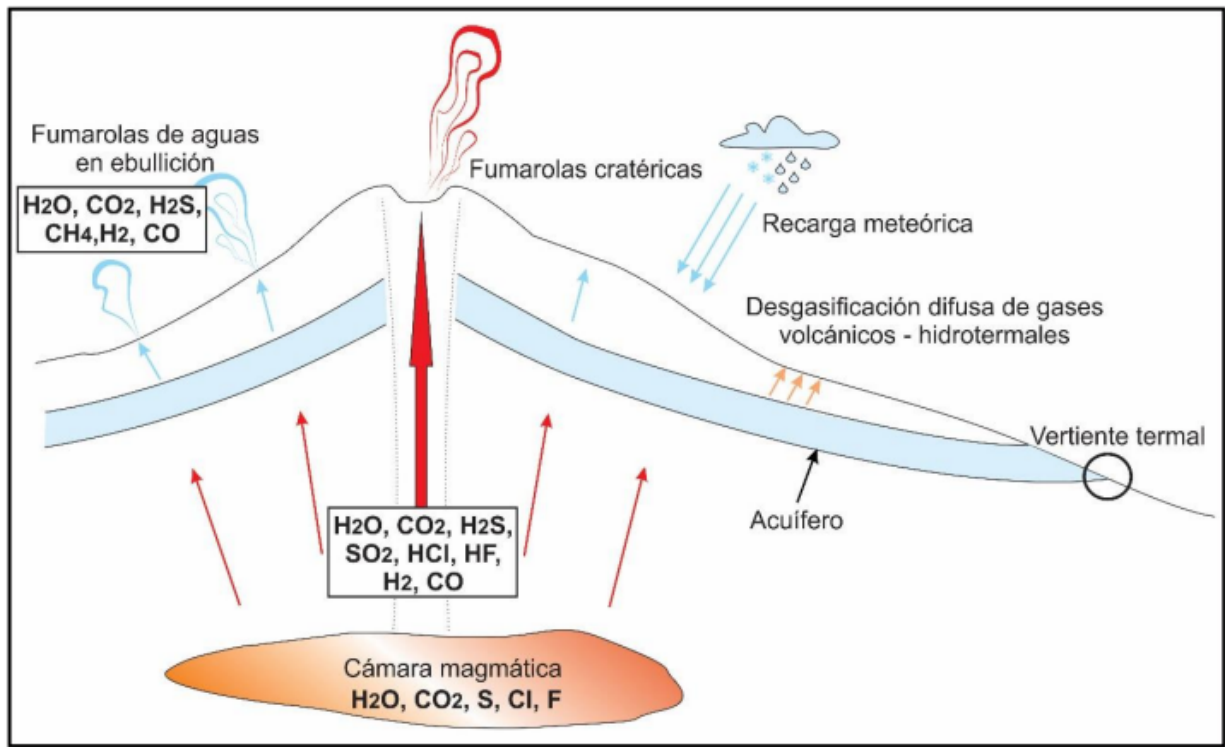
Los gases de origen magmático ascienden a la superficie por medio de fracturas y/o conductos del volcán, manifestándose en la superficie como fumarolas. Los volcanes son fuentes emisoras de una cantidad de distintos gases, los cuales son expulsados a través de su chimenea y del suelo del terreno. Monitorear las expulsiones de los gases nos permite encontrar sistemas de fracturas en el suelo (fallas geológicas), y mantener vigilancia de la cámara magmática.

Los gases que emiten los volcanes son: Vapor de agua (H_2O), Dióxido de Carbono (CO_2) Dióxido de Azufre (SO_2) Sulfuro de Hidrógeno (H_2S), Hidrógeno (H_2), Monóxido de carbono (CO), Cloruro de Hidrógeno (HCL), Fluoruro de Hidrógeno (HF), y Helio (He). Siendo mayoritarios el Vapor de agua (H_2O), el Dióxido de carbono (CO_2) y el Dióxido de azufre (SO_2). En este caso, el gas que se ha tomado como objeto de medición es el Dióxido de carbono (CO_2), este gas es el punto de partida en todo el análisis llevado a cabo por este proyecto.

La vigilancia permanente de las concentraciones en la composición química y los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, conductividad eléctrica, potencial espontáneo SP) de las fuentes de aguas termales y fumarolas de zonas próximas a los volcanes, podrían indicar un incremento de la actividad volcánica y podrían ser precursores de una erupción volcánica.(INGEMMET, 2022).

Figura 1.2

Esquema conceptual geoquímico de un sistema volcánico – hidrotermal



Nota: Este es un esquema hidrotermal. Modificado de Chiodini et al. (1989) (LAMBERTI, 2018).

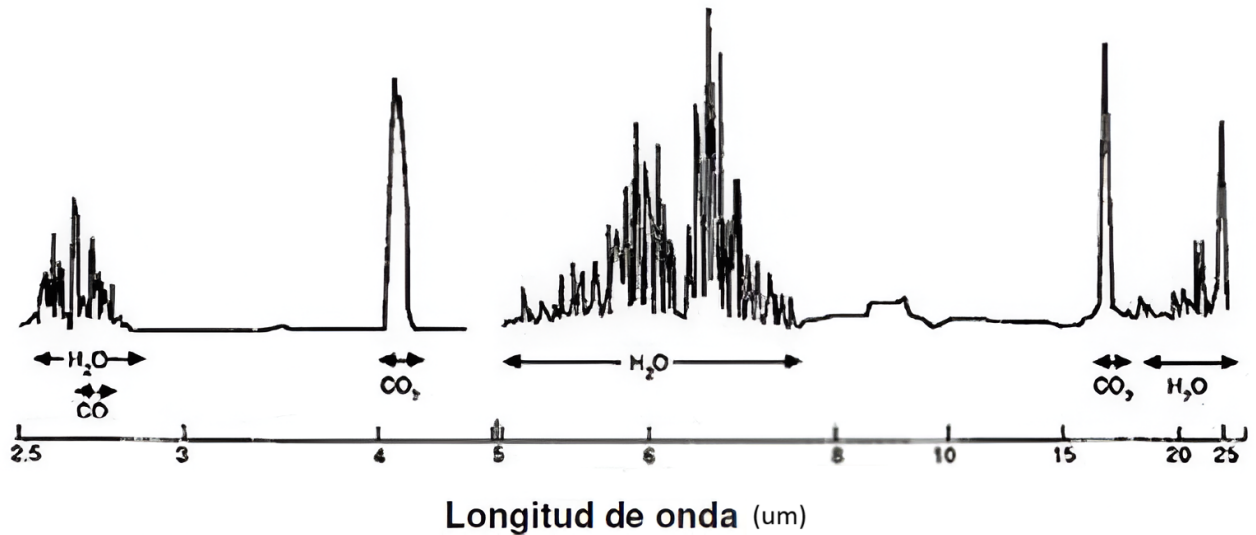
1.3. Medición de intercambio de gases: metodología IRGA

IRGA: es un acrónimo para Infra Red Gas Analyzer, es decir ‘analyzer de gases por infrarrojos’. Se fundamenta en: Las moléculas heteroatómicas (tales como CO_2 y H_2O absorben longitudes de onda en el Infra Rojo ($\lambda > 800 \text{ nm} = 0.8 \mu\text{m}$).

Esta propiedad de las moléculas de CO_2 y H_2O se utiliza para cuantificar los niveles de estos gases en una muestra de aire CO_2 posee un pico de absorción a un $\lambda = 4.25 \mu\text{m}$.

Figura 1.3

Absorción en el espectro infrarrojo del CO_2 y H_2O

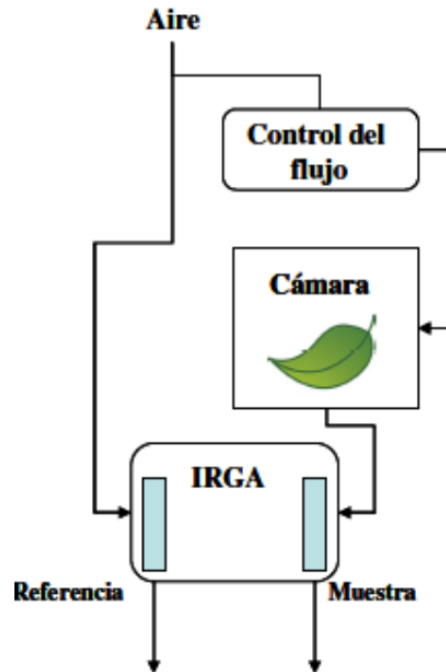


Nota: Esta es una imagen obtenido de la gráfica modificado de Percy. Op 1989 obtenida de (UNLP, 2021)

El interior de un tubo (que sea transparente al IR(Infra Rojo)) circula un gas que contiene CO_2 . De un lado del tubo tenemos un emisor de radiación IR (ej. un filamento incandescente de tungsteno). Del otro lado del conducto hay un detector de IR. Cuánto mayor sea el nivel de CO_2 circulando por el tubo, menos señal registrará el detector de IR. Este modo de cuantificar es análogo a un espectrofotómetro (sólo que en lugar de usar absorbencia de radiación visible, lo hace en el IR).

Figura 1.4

Esquema de recolección de sistema IRGA



Nota: Esquema de recolección de sistema IRGA (Extraído de Varela et al, 2000) obtenido en (UNLP, 2021)

1.4. CO₂ SBA-5 Gas analyzer

El analizador de CO₂ SBA-5 es un analizador de gases infrarrojo no dispersor que cuenta con una función de “puesta a cero automática”. Mediante técnicas de análisis de gases infrarrojos, podemos determinar fácilmente las concentraciones de CO₂ (dióxido de carbono) con una precisión de unas pocas ppm y es posible realizar mediciones instantáneas. Los gases con moléculas diatómicas, como el CO₂, absorben fuertemente los fotones en el rango infrarrojo. En el caso del CO₂, una región de fuerte absorción es la de 4.26 micrones. Una fuente (fuente de infrarrojos) que emite fuertemente en esta longitud de onda es una bombilla. Si se coloca en un extremo de un tubo y en el otro extremo hay un sensor sensible a los fotones a 4.26 micrones, tenemos un analizador de gases infrarrojo simple. A medida que el CO₂ pasa por la celda de muestra, absorbe parte del infrarrojo y la lectura del sensor disminuye. La función de “puesta a cero automática”, que se produce a intervalos regulares, permite un calentamiento rápido, la adaptación a las condiciones ambientales cambiantes y una excelente estabilidad de la señal de CO₂. La acción de puesta a cero automática minimiza los efectos en el intervalo (sensibilidad del gas) de la contaminación de la celda de muestra, el envejecimiento de la fuente, los cambios en la sensibilidad del detector y los cambios en la ganancia del preamplificador. De manera predeterminada y después del calentamiento del

sistema, el SBA-5 realizará “puestas a cero automáticas” cada 20 minutos. El intervalo de “puesta a cero automática” puede ser modificado por el usuario si es necesario hasta un máximo de 10,000 minutos. PP Systems recomienda encarecidamente que el SBA-5 realice “puestas a cero automáticas” frecuentes para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos.

Se recomienda dejar que el SBA-5 se caliente durante al menos 30 minutos para garantizar un funcionamiento óptimo. Durante los primeros 10 a 15 minutos, los mensajes de calentamiento se envían a través de líneas digitales (RS232 y USB). Después de aproximadamente 15 minutos, los datos del sensor de CO₂ comienzan a enviarse a través de las líneas digitales. En aproximadamente 30 minutos y después de que el sistema alcance la estabilidad térmica y registre varios ceros correctos del analizador, el SBA-5 debería estar estable y listo para su uso.

Figura 1.5

Analizador de Gases de CO₂ SBA-5



Nota: Esta es una fotografía del SBA-5 vista frontal mostrando la distribución de sus 12 entradas de conexión.

El dispositivo está conformado por una distribución de 12 pines la cual se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1

Configuración de puertos 1-12 SBA-5

PIN	Name	Descripción
1	Vin	Power In 6-18 V
2	GN	Power and Signal Ground
3	CO ₂ OUT	CO ₂ Analog Output Voltage
4	H ₂ O OUT	H ₂ O Analog Output Voltage
5	4-20 OUT	4-20 mA Current Output.
6	ZREQIN	Zero Request (momentarily ground to force a zero sequence)
7	SPAREIO	See Spare I/O Line
8	GN	Power and Signal Ground
9	GN	Power and Signal Ground
10	TX	RS-232 TX to PC Serial Port DB9
11	RX	RS-232 RX to PC Serial Port DB9
12	GN	Power and Signal Ground

Nota: Configuración de puertos 1-12 SBA-5 obtenidos del manual SBA-5 (SYSTEM, 2015)

1.4.1. Configuraciones iniciales para el uso del SBA-5 utilizando GP5PcApp

PP SYSTEM posee un conjunto de dispositivos como el SBA-5 que contiene microprocesadores integrados, cada uno con su propio firmware, y cada uno de los cuales se puede actualizar independientemente del otro. Por ejemplo, el producto EGM-5 tiene un componente controlador principal, un componente de pantalla y un componente IRGA. Sería típico actualizar solo uno de estos componentes. Pero la aplicación G5PcApp está diseñada para cargar cualquier componente en cualquier producto Gen 5. Además, muchas cámaras y sondas de PP Systems, como SRC-2 y STP-2, también tienen microprocesadores integrados que también se pueden actualizar con la aplicación G5PcApp cuando se conectan a un producto Gen 5.

Instalacion de G5PcApp en Windowss: Hay dos versiones de los archivos de instalación de G5PCApp: una para computadoras Windows de 32 bits y otra para computadoras Windows de 64 bits. Para determinar qué versión necesita una computadora en particular, vaya a Inicio, luego haga clic derecho en Equipo o Mi PC, luego elija Propiedades. En la ventana resultante, busque Tipo de sistema: – será de 32 bits o de 64 bits.

Los archivos de instalación son:

70010-1 setup32.exe for 32bit systems
 70010-1 setup64.exe for 64bit systems

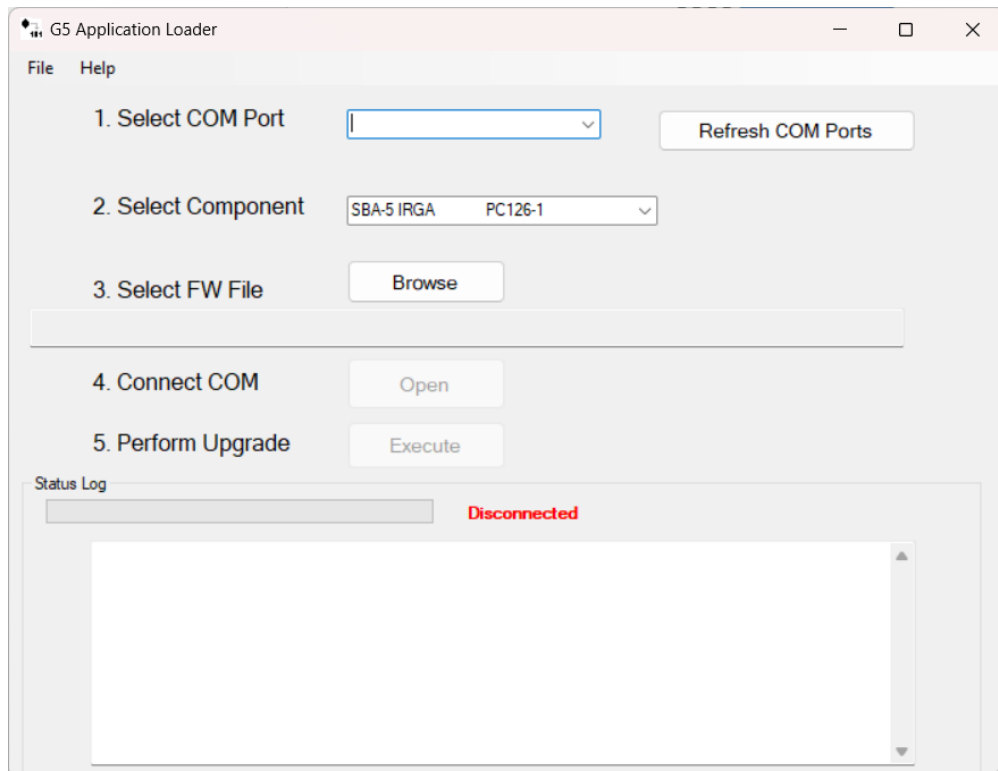
Todos los archivos de firmware de PP Systems tienen nombres estándar que identifican la placa PCB, el producto, el número de versión del firmware y todos tienen la extensión de archivo ".usr". Por ejemplo, el archivo para actualizar el componente de pantalla EGM-5 a la versión 2.01 se llama: PC130-1EG52_01.usr. Si se intenta cargar un nuevo firmware en un componente utilizando un archivo ".usr" que no contiene las instrucciones para ese componente, es posible que ese componente deje de funcionar. En ese caso, puede restaurar el componente cargando un archivo de firmware correcto o haciendo un ciclo de encendido. Si ninguna de estas acciones funciona, será necesario devolver la unidad a PP Systems para reprogramarla.(SYSTEM, 2018)

Hay cinco pasos para actualizar un componente que corresponden a cinco botones en la pantalla G5PcApp la cual se muestra en la imagen de la Figura 1.6.

1. Seleccionar puerto COM.
2. Seleccionar componente de destino.
3. Seleccionar archivo de firmware.
4. Conectar puerto COM.
5. Actualizar ahora.

Figura 1.6

Ventana de configuración de firmware G5PcApp



1.4.2. Calibración SBA-5

1. Encienda el SBA-5 y conéctelo a su computadora, ejecute el software GAS y deje que el SBA-5 se caliente durante aproximadamente 30 minutos.
2. Para evitar el exceso de presión en la celda de muestra del SBA-5 y posibles daños al analizador, debe conectar la línea de muestra con una pieza en “T” entre la mezcla de gas de calibración y el puerto “Gas In” del SBA-5.
3. Inicie el flujo de gas desde el cilindro de gas. El regulador de presión debe estar configurado a una presión muy baja y debe haber un ligero exceso de flujo de gas saliendo de la pieza en “T” abierta (aproximadamente 250 ml/min). Recomendamos utilizar un caudal desde el cilindro de gas de aproximadamente 200-400 ml/min.
4. En el software GAS, inicie un cero enviando el comando “Z”. Para ello, seleccione el botón Avanzado en el software GAS para abrir la ventana Comando avanzado. Luego, en el cuadro de texto Enviar comando, ingrese “Z” y luego seleccione el botón Enviar.
5. Al finalizar la puesta a cero, controle la concentración de CO₂ que se muestra y espere hasta que se estabilice. Si la lectura es la concentración de CO₂ adecuada, no es necesario hacer nada. Sin embargo, si la lectura se ha estabilizado y no está cerca de la concentración de su mezcla de gases, debe actualizar el factor de escala del usuario enviando el comando (U) correspondiente. El nuevo USF = (concentración de gas de calibración en ppm / concentración de gas informada en ppm). Por ejemplo, si el SBA-5 estaba leyendo 4950 ppm con el gas de calibración de 5000 ppm, el $USF = 5000/4950 = 1.010$.
6. En el cuadro de texto Enviar comando, ingrese el comando U con el nuevo USF. Por ejemplo, ingrese U1.010 en el cuadro de texto y seleccione el botón Enviar. Las lecturas de CO₂ deberían cambiar inmediatamente para coincidir con la concentración de gas de calibración. (Si lo desea, puede ingresar el comando (?) en el cuadro de texto y seleccionar Enviar, luego, en la tercera fila de los datos devueltos, puede verificar que el USF se cambió al valor que ingresó).(SYSTEM, 2015)

1.5. Sensores 3TF Sulfur Dioxide Sensor SO₂ y T3H Hydrogen Sulfide Transmitter H₂S

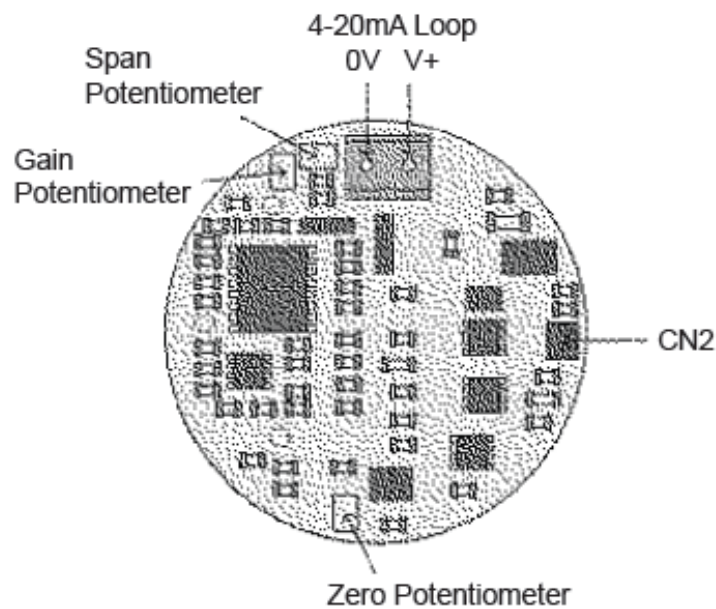
Ambos sensores están compuesto por una placa de circuito impreso (PCB) con diseño de montaje superficial (SMD). Las principales características de estas unidades son la facilidad de uso, compacidad y la capacidad de reemplazar tanto el CiTiceL como los componentes electrónicos muy rápidamente.

La PCB tiene un circuito amplificador para convertir la señal de salida de nivel de microamperios del sensor a la salida estándar de la industria de 4-20 mA para sistemas de monitoreo remoto de dos cables. El circuito empleado no impone restricciones al sensor, por lo que las características de rendimiento del sensor no se alteran con la adición de la placa de circuito.

Todos los transmisores están equipados con un conjunto de montaje de difusión (la nariz de montaje) para un montaje conveniente y un reemplazo rápido en una amplia gama de carcasas resistentes a la intemperie. Requiere un orificio de 25 mm de diámetro en la pared exterior de la carcasa para permitir la instalación, y también cuenta con un tapón de calibración para una fácil puesta a cero y exposición al gas de calibración. Se incluye una membrana y una malla adheridas para evitar la entrada de partículas de suciedad y polvo en el sensor. Además de la recalibración periódica, los transmisores no requieren mantenimiento y deben ofrecer un servicio impecable durante toda la vida útil del sensor.

Figura 1.7

Esquema PCB de placas 3TF y T3H



Nota: Esquema PCB de placas de sensores (SO_2) y (H_2S), imagen obtenida de (Technology, 2015)

1.5.1. Calibración sensores

Los procedimientos de calibración y, si es necesario, de ajuste demuestran que el aparato de detección de gas es capaz de medir el gas objetivo con suficiente precisión. Sin embargo, entre calibraciones, se desconoce el rendimiento del aparato y es probable que las desviaciones aumenten con el tiempo. Al elegir un período de calibración adecuado, se deben tener en cuenta factores como las características del sensor, el tipo de aparato, las condiciones estáticas y dinámicas de temperatura y humedad, el polvo, el envenenamiento, las atmósferas corrosivas y la experiencia del usuario en situaciones similares.

Los períodos de calibración adecuados pueden variar de días a meses. Es una buena práctica determinar el período de calibración de la siguiente manera:

- Si se dispone de datos suficientes de fiabilidad y estabilidad para el aparato y los sensores utilizados en una aplicación específica, el período de calibración puede derivarse de estos datos para aplicaciones con condiciones de funcionamiento similares.
- Si no se dispone de datos suficientes, se deben realizar dos calibraciones a intervalos cortos después de la puesta en servicio. Si no es necesario ajustar el aparato en estas calibraciones, se puede aumentar el intervalo. Este procedimiento debe repetirse hasta que se alcance el período de calibración especificado en el manual de instrucciones. Un intervalo corto apropiado podría ser cuatro semanas, por ejemplo.
- Si es necesario realizar un ajuste en dos calibraciones sucesivas, el período de calibración debe acortarse hasta que no sea necesario tal ajuste. Si el período de calibración final es irrazonablemente corto, se debe considerar un principio de medición más adecuado.

Es necesario un ajuste si la desviación del valor medido está fuera de los límites requeridos por la aplicación o si no se cumplen los requisitos mínimos de estabilidad del aparato según se define en EN 45544-2 y EN 45544-3. La norma EN 45544-2 establece que la desviación dentro de un período de calibración no debe superar el límite inferior de medición en aire limpio y el 20 % del valor medido en gas de prueba. La norma EN 45544-3 establece que la desviación dentro de un período de calibración no debe superar el 10 % del rango de medición en aire limpio y el 20 % del valor medido en gas de prueba. (Technology, 2015)

1.5.2. Procedimiento de calibración 3TF y H3F

Para fines de calibración, la señal puede ser monitoreada usando un medidor local insertado en CN2 (a través de una resistencia de precisión de 10 Ω) o por receptor remoto. Se requiere un pequeño destornillador no metálico, con una punta de 1.2 x 0.5 mm, para ajustar los potenciómetros. Aunque en la práctica, el procedimiento de calibración estará determinado por el sistema de hardware empleado, generalmente se aplicará el siguiente procedimiento:

1. Acceda a los potenciómetros de calibración de cero y de intervalo.
2. Aplique energía al transmisor y espere el tiempo suficiente para que el sensor se estabilice.

Zero ajuste

3. Asegúrese de que el CiTiceL no tenga el gas que se está midiendo, ya sea purgándolo con un gas inerte o quitándole la atmósfera al sensor con el tapón de calibración suministrado.
4. Ajuste el potenciómetro de cero hasta que se muestre 0 ppm en el sistema de medición. En 0 ppm, la corriente en el sistema debe ser de 4 mA y habrá 40 mV en CN2 en la placa de circuito del transmisor.

Span ajuste

5. Aplique un gas de prueba de concentración conocida al CiTiceL utilizando un caudal adecuado.
6. Espere a que se obtenga una señal estable. En la mayoría de los casos, una exposición de 5 minutos es suficiente.
7. Ajuste el potenciómetro de intervalo hasta que se muestre la lectura correcta en el sistema de medición. La configuración correcta se puede comprobar midiendo la señal de mA o mV de la placa del transmisor.

Chequeo del zero

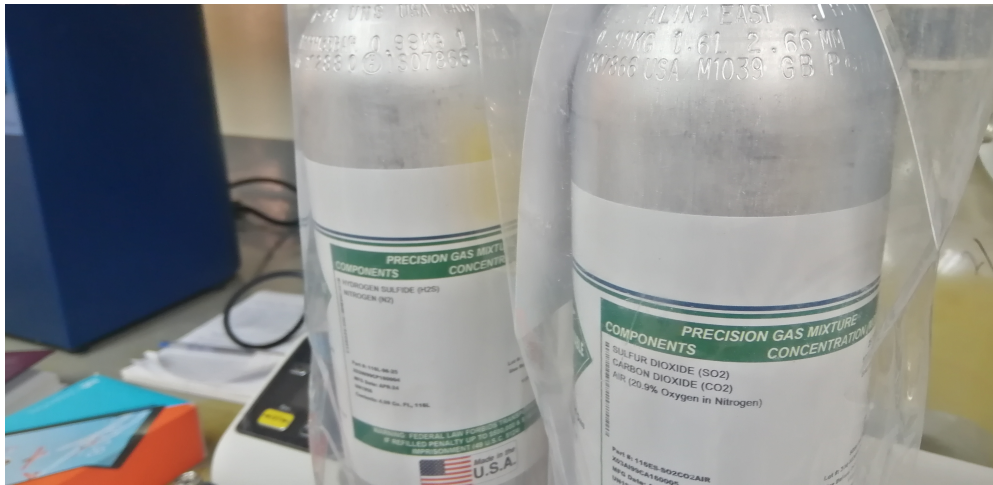
El potenciómetro de intervalo no se ve afectado por el potenciómetro de cero. Sin embargo, cuando se ajusta el intervalo, el cero a veces se verá afectado en un pequeño grado.

8. Asegúrese de que el CiTiceL esté libre del gas que se está midiendo, ya sea purgándolo con un gas inerte o cerrando el sensor de la atmósfera con el tapón de calibración provisto.
9. Espere hasta que la señal se estabilice.
10. Si es necesario, vuelva a ajustar el potenciómetro de cero hasta que se muestre 0 ppm en el sistema de medición. En 0 ppm, la corriente en el sistema debe ser de 4 mA y habrá 40 mV a través de CN2 en la placa de circuito del transmisor.
11. La calibración ahora está completa.

Para nuestra calibración se utilizaron dos elementos con proporciones de 25 ppmv de SO₂ y H₂S como los que se ven en la figura 1.8.

Figura 1.8

Contenedores de concentraciones de emisores H_2S , SO_2 ppmv y CO_2



Nota: Esta es una fotografía de tomada de los Contenedores de concentraciones de emisores H_2S , SO_2 25 ppmv y CO_2 de 1000ppmv

Con los contenedores conectados al multigas, utilizando la aplicación de LoggerLink realizaremos la calibración siguiendo los pasos obtenidos en (Technology, 2015), datos los cuales podemos ver en la imagen de la figura 1.10 y 1.9.

Figura 1.9

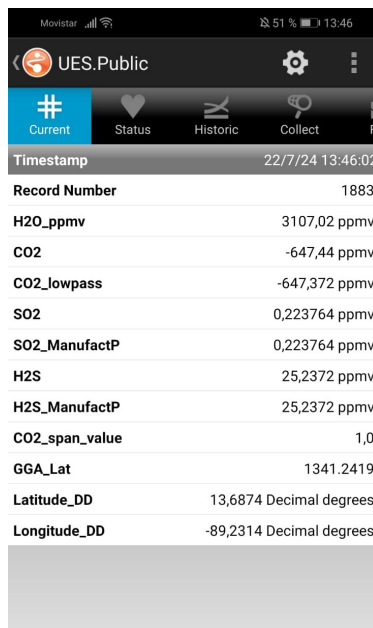
Valores de calibración SO_2 y CO_2

UES.Public	
Timestamp	22/7/24 13:58:14
Record Number	2614
H2O_ppmv	2876,87 ppmv
CO2	990,54 ppmv
CO2_lowpass	991,432 ppmv
SO2	24,4041 ppmv
SO2_ManufactP	24,4041 ppmv
H2S	2,18994 ppmv
H2S_ManufactP	2,18994 ppmv
CO2_span_value	1,0
GGA_Lat	1341.2452
Latitude_DD	13,6874 Decimal degrees
Longitude_DD	-89,2315 Decimal degrees

Nota: Captura de los valores de calibración a través de Loggernet medición de SO_2

Figura 1.10

Valores de calibración H₂S



UES.Public	
Timestamp 22/7/24 13:46:02	
Record Number	1883
H2O_ppmv	3107,02 ppmv
CO2	-647,44 ppmv
CO2_lowpass	-647,372 ppmv
SO2	0,223764 ppmv
SO2_ManufactP	0,223764 ppmv
H2S	25,2372 ppmv
H2S_ManufactP	25,2372 ppmv
CO2_span_value	1,0
GGA_Lat	1341.2419
Latitude_DD	13,6874 Decimal degrees
Longitude_DD	-89,2314 Decimal degrees

Nota: Captura de los valores de calibración a través de Loggernet medición de H₂S

1.6. Bomba de succión TD-2NA(8).

La bomba de la que dispones corresponde al modelo TD-2NA(8). La cual posee las siguientes especificaciones alimentación 9-15 VDC POWER INPUT ,3 AMP, 70 C MAX TEMP, Dos PUSH-ONPORTS, 1/4" para tubery 3/16".

Las bombas TD-2 de serie se suministran con una manivela de carrera fija (se pueden suministrar manivelas de menos de 15"), mientras que los modelos marcados con el sufijo **arsenioblils**, que se pueden ajustar en un rango de 0 a 0.13 (normalmente, las unidades de carrera fija y las unidades de carrera ajustable tienen cubiertas de color negro).

El diafragma de neopreno estándar, según las condiciones de funcionamiento, puede requerir o no reemplazo después de 5000 horas o más de servicio. El diafragma de Viton ofrece una vida útil algo más larga. Las válvulas, contenidas dentro del cabezal de la bomba, son del tipo de aleta y no deberían desgastarse. Sin embargo, pueden dañarse si se permite que entre agua en la bomba. El rendimiento de la bomba se puede ver afectado negativamente si la suciedad proveniente de la madera sucia o del material puede ser ingerida por el sensor de movimiento de la válvula al encapsularla. En tal caso, se debe considerar el uso de un filtro de entrada limpio, pero sin arco.(Brailsofort, 2018)

Figura 1.11

Bomba TD-2NA(8)



Nota: Fotografía de la bomba de succión TD-2NA(8).

1.6.1. Velocidad del viento

La escala Beaufort mide la intensidad del viento basándose principalmente en la fuerza del viento, el estado de la mar y la forma y altura de las olas.

La escala Beaufort está dividida en 12 grados:

FUERZA 0; CALMA

El grado 0 ó fuerza 0 de la escala Beaufort representa una velocidad de viento de 0 nudos en un estado de mar de calma total. Un barco sin motor quedaría a la deriva. En tierra observaríamos el humo ascendiendo verticalmente.

FUERZA 1; VENTOLINA

Con una velocidad de viento de 1 a 3 nudos la mar se muestra un poco rizada. Un barco de vela crucero quedaría a la deriva y necesitaría la ayuda del motor para poder navegar. El humo indicaría la dirección del viento.

FUERZA 2; FLOJITO

Velocidad del viento entre 4 y 6 nudos. Se empiezan a formar olas pequeñas en el mar que no llegan a romper. Podemos navegar a vela con la mayor totalmente desplegada y el génova 1 o vela de proa de mayor tamaño. En tierra podemos observar como se empiezan a mover las hojas de los árboles.

FUERZA 3; FLOJO

Velocidad del viento entre 7 y 10 nudos. Se forman olas algo más mayores en el mar y aparecen borregos algo dispersos. En tierra las hojas de los árboles se agitan con más fuerza y ondulan las banderas. Navegamos con un vela crucero con la mayor entera desplegada y el génova 1.

FUERZA 4; BONANCIBLE

Velocidad del viento entre 11 y 16 nudos. En el mar vemos la aparición de borreguitos ya bastante frecuentes. En tierra vemos como las hojas de los árboles se agitan y se levantan polvo y papeles del suelo. Navegamos con toda la mayor y podemos reducir un poco el tamaño del génova.

FUERZA 5; FRESQUITO

El grado 5 de la escala beaufort tiene una velocidad del viento entre 17 y 21 nudos. Fuerte marejada, de olas más largas con presencia de borregos abundantes que producen rociones y salpicaduras. En tierra observamos el movimiento de los árboles. Ponemos el primer rizo de la vela mayor.

FUERZA 6; FRESCO

Velocidad de viento entre 22 y 27 nudos. Mar gruesa de olas grandes con crestas rompientes de espuma blanca. Empiezan a ser peligrosas para embarcaciones menores. En tierra observamos como se mueven las ramas de los árboles y tenemos dificultad para mantener abierto el paraguas. Reducimos más la vela de proa y montamos el segundo rizo de la mayor.

FUERZA 7; FRESCACHÓN

Velocidad de viento entre los 28 y 33 nudos. Mar muy gruesa con espuma blanca arrastrada en la dirección del viento. En tierra observamos el movimiento de árboles grandes y notamos dificultad en caminar en contra del viento. Navegamos con la mayor rizada al máximo y un foque pequeño en proa.

FUERZA 8; TEMPORAL

Viento entre los 34 y 40 nudos de velocidad. Mar arbolada de olas grandes de cuyas crestas se desprenden fuertes rociones y espuma. En tierra se rompen las copas de los árboles y hay dificultad para poder caminar. Condiciones peligrosas para la navegación con las que debemos navegar con la mayor rizada al máximo y tormentín en proa.

FUERZA 9; FUERTE TEMPORAL

Vientos entre los 41 y 47 nudos de velocidad. Mar arbolada con olas muy gruesas que arrastran gran cantidad de espuma que dificulta la visibilidad. En tierra se empiezan a quebrar los árboles y hay imposibilidad de andar en contra del viento. Navegamos con la mayor de capa y el tormentín de proa.

FUERZA 10; TEMPORAL DURO

Velocidad de viento entre 48 y 56 nudos. Mar montañosa de olas muy altas con grandes crestas. La superficie del mar se vuelve totalmente blanca por la espuma arrastrada. Muy mala visibilidad. En tierra observamos árboles arrancados y daños estructurales en las viviendas. Navegación de supervivencia.

FUERZA 11; TEMPORAL MUY DURO Velocidad de viento entre los 57 y los 63 nudos. Mar montañosa de olas enormes con rompientes que forman una mar totalmente blanca por las nubes de espuma blanca que son arrastradas. En tierra observamos grandes estragos en árboles, construcciones y tejados. Navegación con tácticas de supervivencia.

FUERZA 12; HURACÁN

Velocidades de viento por encima de los 64 nudos. Olas excepcionalmente enormes con rompientes. La mar totalmente blanca por la espuma sin visibilidad. En tierra destrozos estructurales en todo tipo de construcciones. Imposible la navegación. Tácticas de supervivencia. (en ppa 365, 2021)

La velocidad del viento como su caudal se determina según la escala de Beaufort que se encuentra en la tabla 1.2.

Tabla 1.2

Escala de Beaufort

Escala de Beaufort	Nombre de Viento	Velocidad m/s	km/h	$Q = v * S * e^{-3} \left(\frac{m^3}{s} \right)$
0	Calma	0.5	2	1.5875
1	Aire ligero	1.5	5	4.7625
2	Brisa ligera	3	11	9.525
3	Brisa suave	6	22	19.05
4	Brisa moderada	8	30	25.4
5	Brisa fresca	11	40	34.925
6	Brisa fuerte	14	50	44.45
7	Viento moderado	17	60	53.975
8	Viento fresco	21	75	66.675
9	Viento fuerte	24	87	76.2
10	Gran viento	28	100	88.9
11	Tempestad	32	115	101.6
12	Huracán	36	130	114.3

Nota: Esta es una tabla de datos de caudal para tubería de sección $S = 1/8''$ según la escala de Beaufort en 12 tipo de condiciones del viento obtenida (de Ventilación SLU, 2019).

1.7. Datalogger CR300 series

El CR300 es un registrador de datos de medición y control compacto, multipropósito y de bajo costo. Este registrador de datos de nivel básico, con su amplio conjunto de instrucciones, puede medir la mayoría de los sensores hidrológicos, meteorológicos, ambientales e industriales. Concentrará los datos, los pondrá a disposición en diversas redes y los entregará utilizando su protocolo preferido. El CR300 también realiza la toma de decisiones automatizada en el sitio o de forma remota para el control y las comunicaciones M2M. El CR300 es ideal para pequeñas aplicaciones que requieren monitoreo y control remotos a largo plazo.

1.7.1. Compatibilidad

Periféricos de medición y control

El CR300 no suele utilizarse con periféricos de medición y control debido a su número limitado de puertos de control. Se puede utilizar de forma creativa con uno o dos multiplexores como máximo o con módulos de entrada de tres terminales. También es compatible con relés de estado sólido de baja corriente y tensión. El CR300 no es compatible con dispositivos SDM o CDM.

Sensores

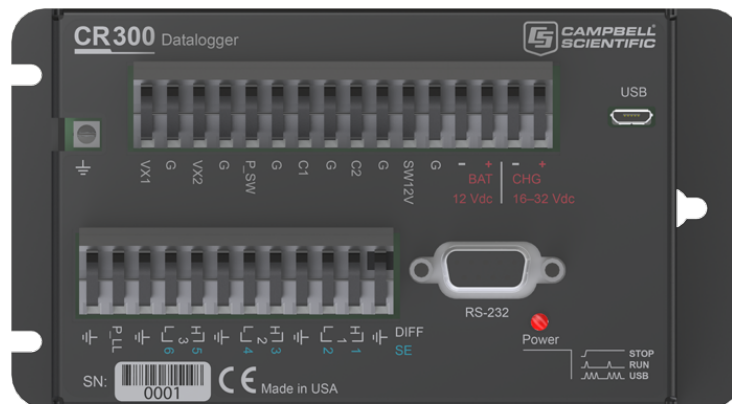
Con varios tipos de canales, el CR300 es compatible con casi todos los sensores disponibles. Esto incluye sensores de voltaje de salida analógica (0 a 2.5 V) y de corriente (0 a 20 mA o 4 a 20 mA), termistores y RTD, por nombrar algunos. También es compatible con sensores de salida de pulso o frecuencia, como anemómetros, pluviómetros y caudalímetros. SDI-12, Modbus y otros sensores en serie son compatibles con el puerto RS232 y C1 y C2 como par Tx/Rx. El CR300 no es compatible directamente con sensores RS485.

Comunicaciones

El CR300 puede comunicarse con una PC a través de su puerto USB. Los dispositivos de telemetría compatibles incluyen nuestros módems multipunto, módems de corta distancia, módems celulares digitales, telemetría RF y transmisores satelitales (alta velocidad de datos GOES). Los datos se pueden ver en un dispositivo iOS, un dispositivo Android o en la pantalla DataView II CD295. Para usar un dispositivo iOS o Android, vaya a Apple Store o Google Play y descargue nuestras aplicaciones móviles gratuitas LoggerLink.

Figura 1.12

CR300 Series



Nota: Esta es una imagen frontal del Datalogger CR300 obtenida de (Campbell, 2023).

Las dimensiones: físicas de espacio del cr310 son 16.3 x 8.4 x 5.6 cm.

Especificaciones eléctricas: Alimentación USB, entrada de cargador y Alimentación externa mediante baterías.

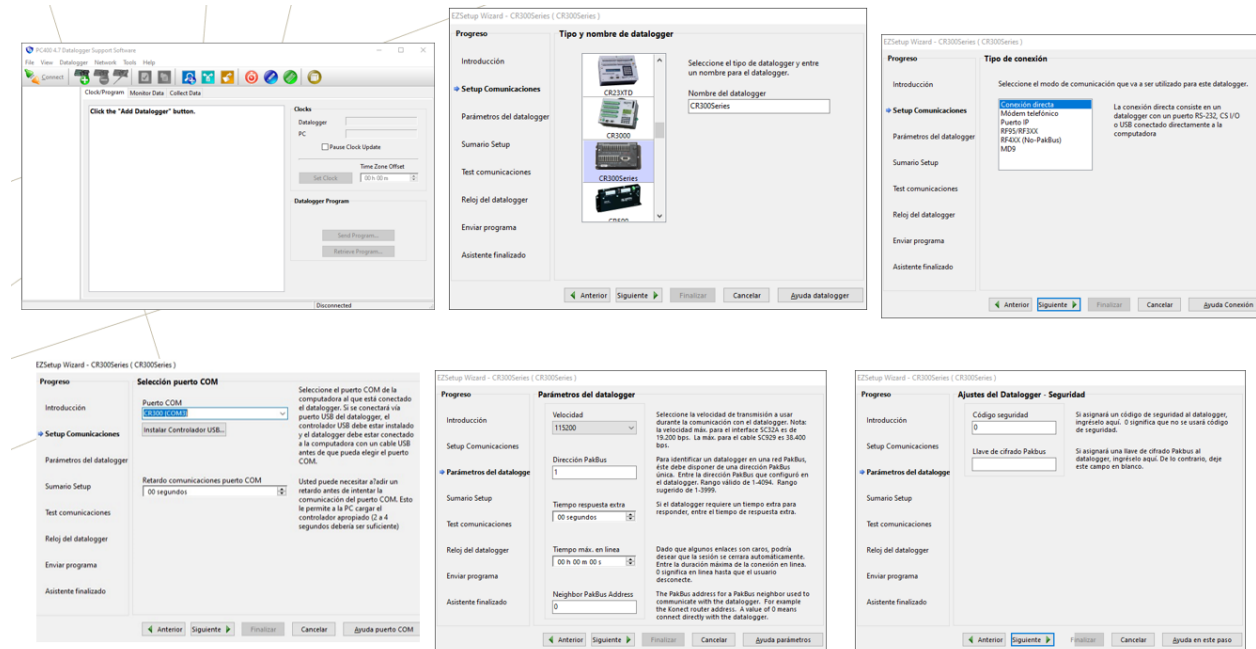
Entradas y salidas digitales: El CR310 cuenta con siete terminales configurables para entrada y salidas digitales las cuales son C1, C2, P-SW y SE1 a SE4.

Entradas analógicas: Estas entradas son de propósito múltiple SE1-SE6 o H1-H3-H5 a L2-L4-L6.

Campbell Scientific nos ofrece dos alternativas para la conexión del CR310 a nuestra computadora la primera de ellas es mediante el puerto micro USB y la segunda mediante al puerto RS232 para poder realizar la conexión de nuestro registrador de datos con la computadora debemos de contar con el software que nos permita implementar dicha tarea para ello Campbell Scientific nos ofrece dos herramientas LoggerNet o PC400. (Campbell, 2023)

Figura 1.13

Captura de ventana de configuración de CR300 1



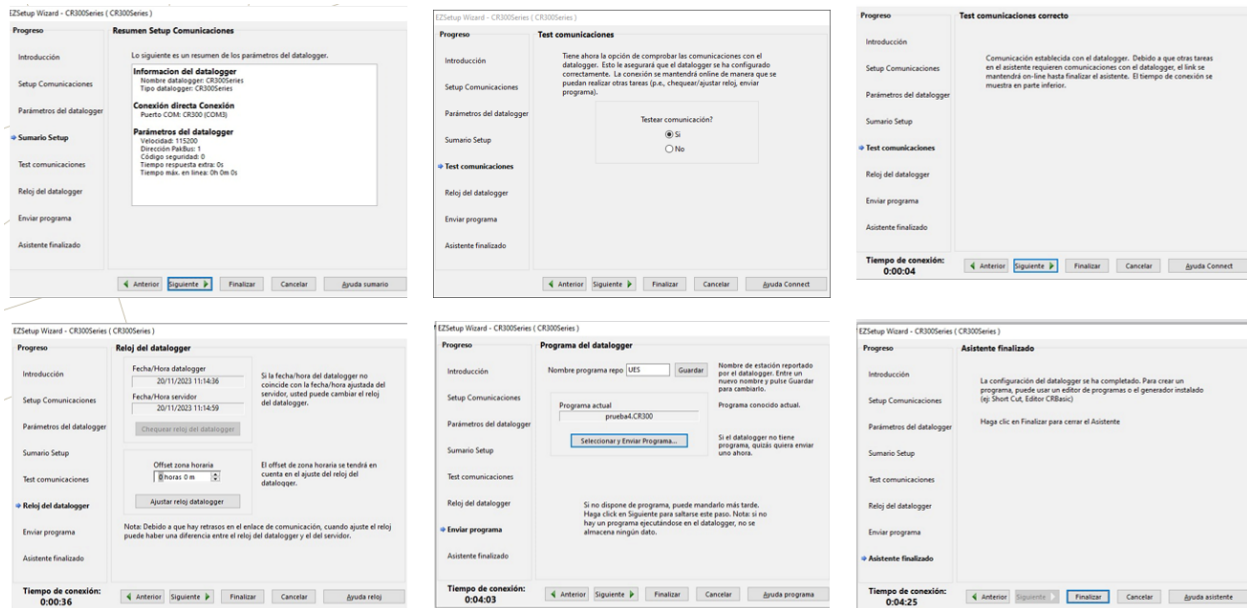
Nota: Esta es una captura de ventana de configuración de CR300 datalogger pasos 1-4 de la Figura 1.13

Los pasos a seguir para crear el perfil del datalogger en PC400 son:

1. Seleccionamos en + agregamos nuestro datalogger.
2. seleccionamos el modelo a configurar.
3. Tipo de conexion directa o por RS232.
4. Seleccionamos puerto y continuamos los parámetros por defecto véase Figura 1.13.
5. Testeamos la comunicación.
6. Sincronizamos el reloj interno del CR300.
7. Seleccionamos y cargamos programa de extension CR de poseer alguno y finalizamos como la Figura 1.14.

Figura 1.14

Captura de ventana de configuración de CR300 2



Nota: Esta es una captura de ventana de configuración de CR300 datalogger pasos 5-7 de la Figura 1.14.

El CR300 cuenta con una serie de puertos analógicos distribuidos en la tabla 1.3 de configuración y especificaciones en la tabla 1.4. Tabla 1.3

Tabla de Funciones terminal entrada analógica

SE DIFF	H 1 L 2	H 3 L 4	H 5 L 6
Single-Ended Voltage	✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓
Differential Voltage	H L	H L	H L
Ratiometric/Bridge	✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓
Thermocouple	✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓
Bucle de corriente	✓ ✓		

Nota: Esta es una tabla de compatibilidad de las entrada analógicas con el tipo de sensor obtenido de (Campbell, 2023).

Tabla 1.4

Especificaciones CR300 series

General	
UPC ARM Cortex M4	Funcionando a 144 MHz Memoria interna 10 MB de flash para almacenamiento de datos 5 MB de flash para programas 2 MB de flash para el sistema operativo
Precisión del reloj	± 1 min por mes
USB Micro B	Para conexión directa a PC (fuente de alimentación limitada durante la configuración) velocidad máxima 2.0, 12 Mbps
Par de terminales de batería	Para entrada de alimentación regulada de 12V o VRLA recargable de 12V para modo UPS
Par de terminales de carga	Para 16 a 32 V desde un convertidor de potencia de CC o un panel solar de 12 o 24 V
Conmutado 12 voltios	Un terminal conmutado de 12V para alimentar sensores o dispositivos de comunicación (500 mA a 20 °C)
Terminales continuos	Dos terminales continuos de 0.150 a 5V para mediciones de puente resistivo o potencia del sensor
La mejor precisión analógica	$\pm(0.04\%$ de la lectura $\pm 6 \mu\text{V}$) de 0° a 40°C
Mejor resolución efectiva	230 nV (rango de ± 34 mV, medición diferencial, inversión de entrada, 50/60 Hz fN1)
Rango de temperatura de funcionamiento	-40° a +70°C
Protocolos de Internet	PPP, ICMP/Ping, IP automática (APIPA), IPv6, UDP, TCP, TLS, Cliente DHCP, SLAAC, Cliente DNS, Telnet
Protocolos adicionales admitidos	PakBus, SDI-12, Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus TCP/IP, DNP3. Personalizable por el usuario mediante puerto serie.
Dimensiones	14 x 7.6 x 5.1 cm (5.5 x 3 x 2 pulgadas)
Peso	242 gramos (8.5 onzas)

Nota: Esta es una tabla de resumen de especificaciones para mas especificaciones se puede consultar en (Campbell, 2023) y (Wafer Sensor, 2021)

1.8. GPS Garming 18x

Se trata de un dispositivo con forma de disco en el que están integradas tanto la antena como la electrónica. Tiene unas dimensiones de 19.5 mm de alto por 61 mm de diámetro y pesa tan sólo entre 110.6 y 160.6 gramos, dependiendo de la longitud del cable: 3 o 5 metros, según el modelo. Incluye un microprocesador, que es programable en cierta medida, y un reloj interno que está controlado por el receptor GPS. Si deja de recibir señales de cualquier satélite GPS, el reloj interno seguirá proporcionando una señal, aunque en ese caso no será ni de lejos tan precisa. La producción de este modelo en particular ha sido descontinuada, pero todavía está ampliamente disponible, por ejemplo a través de eBay , por menos de \$80.00 . Dentro de la familia Garmin GPS 18, sólo el LVC y el modelo de 5 Hz (también descontinuado) producen una señal PPS. El Garmin 18-5Hz produce 5 pulsos por segundo para una mayor precisión, pero se vende a un precio entre 2 y 3 veces superior. Actualmente se están produciendo nuevas versiones de estos modelos con el nombre de Garmin GPS 18x.

Cómo conectar el Garmin GPS 18 LVC al puerto serie del ordenador. El cable que viene del dispositivo GPS consta de seis o siete hilos, más una pantalla, que pueden estar o no terminados en un pequeño conector de plástico. La idea es conectarlo a un conector RS-232 DE-9, por lo que hay que cortar el miniconector si lo incluye. Los cables que vienen del dispositivo GPS son los siguientes:

- Amarillo- Salida de pulso de medición
- Rojo - Voltaje en (5V)
- Negro - Suelo
- Blanco- Transmitir datos
- Negro - Suelo
- Verde - Recibir datos
- Negro - Suelo
- Pantalla- Blindaje

El Garmin GPS 18 también requiere una fuente de alimentación de 5V. No está disponible en el puerto serie, pero una solución sencilla es sacrificar un cable USB para este propósito. Todo lo que se necesita es un trozo corto de cable USB con un conector A en un extremo y algunos cables expuestos en el otro: los cables de pantalla, rojo (+5 V) y negro (tierra) son los únicos necesarios. Estos deben soldarse, junto con el cable GPS, a un conector hembra RS-232 DB-9. (R.J, 2017)

La distribución de los pines se pueden para conectar al adaptador RS-232 se puede observar en la Tabla 1.5

Tabla 1.5

Garmin USB RS-232 DB-9

Pin	Descripción
5V + Rojo	Voltaje en (+5V)
G1 Negro	Tierra
G2 Negro	Tierra
G3 Negro	Tierra
RXD Verde	Recibir Datos
TXD Blanco	Transmitir
PPS Amarillo	Salida de pulso de medición

1.9. Lenguaje de Programacion

1.9.1. Software de conexión y edición PC400

El software PC400 de Campell, con el lenguaje de CRBasic son los elementos donde se implementara la mayoría de acciones y permitirá la comunicación entre cada uno de dispositivos electrónicos.

1.9.2. Software PC400

El PC400 es un software gratuito para PC Windows de nivel intermedio para dataloggers Campbell Scientific. Este versátil software admite variedad de opciones en telecomunicaciones, descarga de datos manual y visualización de datos del datalogger. Incluye el software Short Cut y los editores de lenguajes de programación (CRBasic, Edlog).

1.9.3. Instalación

Para instalar el software PC400 es necesario seguir los siguientes pasos:

- Dirigirse a la pagina disponible en (Campbell, 2021b).
- Crear una cuenta.
- Una vez creada dar clic en dowload o descargar en (Campbell, 2021b)
- te dirigirá a una pagina con indicaciones de un código de licencia seleccionaremos descargar y obtener código de licencia como la Figura 1.15.
- Iniciara la descarga del instalador.
- En nuestro correo obtendremos la clave o key que ingresaremos a PC400 el cual tendrá vigencia de 7 dias luego deberemos repetir el proceso de solicitar la clave como la Figura 1.16.
- Instalamos con el instalador.

- Entramos e ingresamos la key y serial.

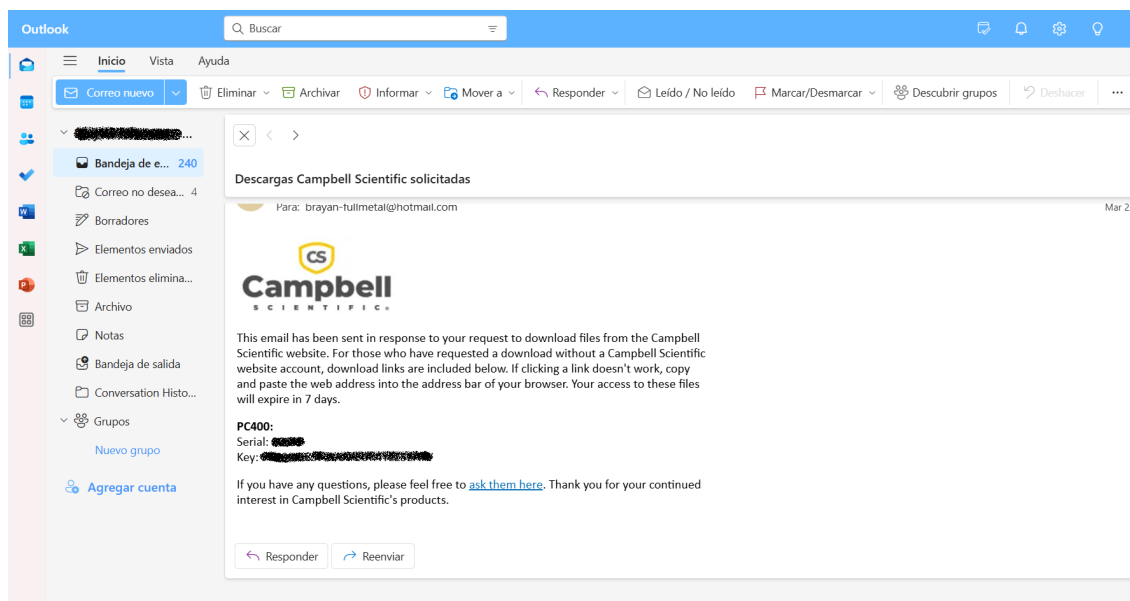
Figura 1.15

Ventana descarga y envío de clave e instalador PC400



Figura 1.16

Correo con la clave key Software PC400



1.9.4. Ventajas y características

PC400 incluye asistente llamado EZSetup para configurar fácilmente una estación. Herramientas de programación ShortCut, Edlog, y CRBasic para crear/editar programas de datalogger que miden sensores y controlan dispositivos SDM, multiplexores y relés.

Descarga de datos por conexión directa, modems telefónicos, Ethernet, radio (UHF, VHF o spread spectrum), o modems multidrop. [5mm] Visualización de datos en tiempo real o históricos.

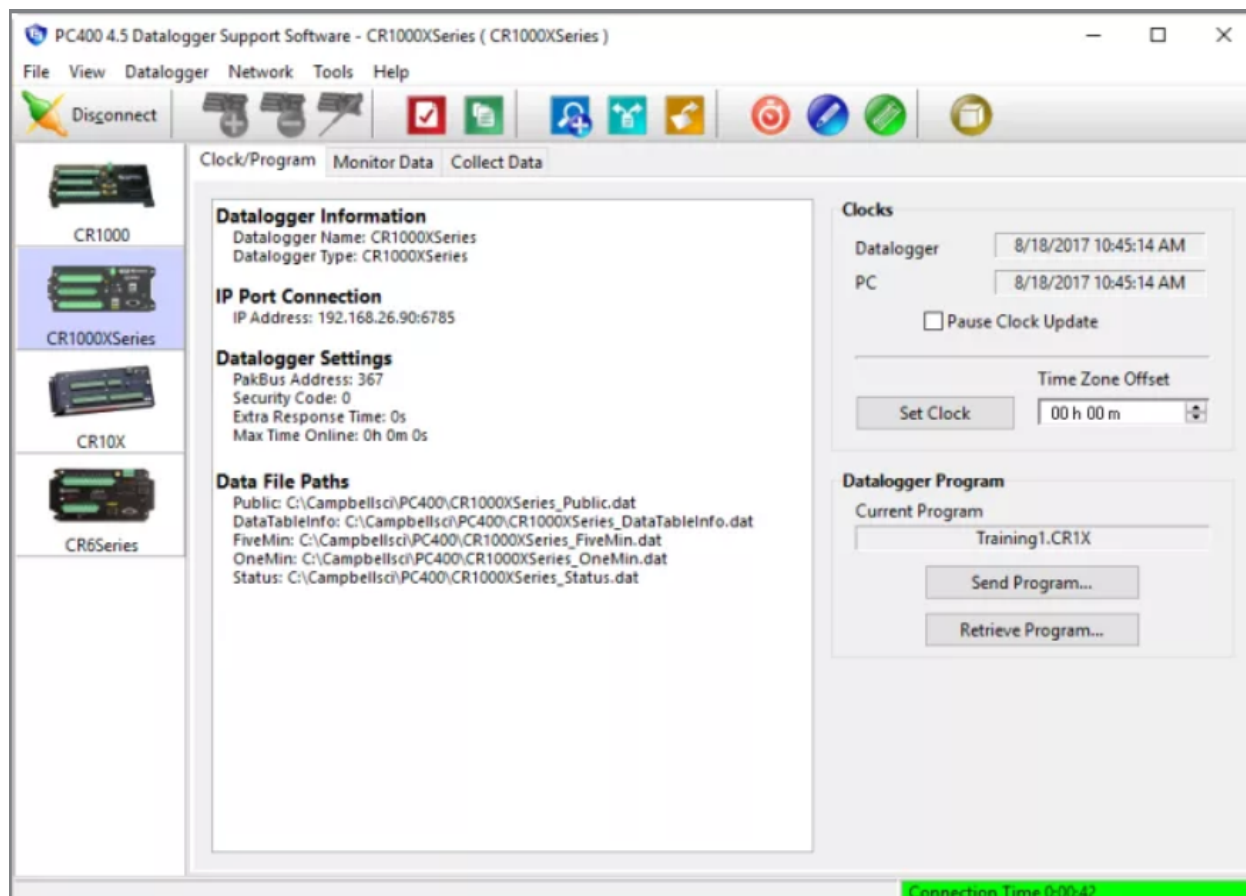
Gráfico de series temporales de ilimitadas variables de la base de datos.

Herramientas para diagnóstico de fallos (emulador terminal y log comunicaciones) Incluye utilidad Device Configuration Utility para configuración del hardware Campbell Scientific.

Compatible con "PakBus Routing Service". (Campbell, 2021a)

Figura 1.17

Ventana PC400



Nota: Esta captura muestra la ventana de inicio del software PC400.

Asistente de configuración EZ

Para facilitar la configuración de la estación, PC400 ofrece el asistente EZSetup. Este sencillo asistente, orientado a la estación, guía al usuario a través del proceso de configuración. El asistente también se puede utilizar para modificar la configuración de un sitio existente.

Reloj/Programa, Monitorizar datos, Recopilar datos

Estas herramientas permiten a los clientes configurar o editar la configuración de la estación, configurar el reloj del registrador de datos, ver datos en tiempo real, configurar indicadores y puertos y recopilar datos a pedido. Los enlaces de comunicación admitidos incluyen conexión directa, módems telefónicos, Ethernet, radios UHF y VHF de banda estrecha, radios de espectro amplio o módems multipunto.

Programación

PC400 ofrece dos herramientas de programación con todas las funciones: el editor CRBasic y Edlog. El editor CRBasic (similar en sintaxis al lenguaje de programación BASIC) es compatible con los registradores de datos más nuevos. Edlog es compatible con los registradores de datos retirados y con el CR7.

Para aquellos que prefieren un método más simple para programar sus registradores de datos, PC400 incluye Short Cut para Windows (SCWin). SCWin proporciona una interfaz tipo asistente para generar programas para los registradores de datos de Campbell Scientific y es compatible con todos los sensores más conocidos, así como con archivos de sensores personalizados creados por el usuario (utilizando un archivo de sensor existente como punto de partida). Short Cut también se puede utilizar para las estaciones meteorológicas ET107, ET106 y MetData1.

View Pro

View Pro permite visualizar los datos en formato numérico o en uno de varios diseños gráficos, incluidos un gráfico de líneas, un gráfico xy, un histograma, un gráfico de flujo de lluvia y FFT 2D/3D. Se pueden abrir varios archivos de datos a la vez, lo que permite comparar los datos uno al lado del otro. No hay límite para la cantidad de trazas que se pueden mostrar en un gráfico. Los gráficos se pueden guardar en una variedad de formatos. Los ejes y izquierdo y derecho de los gráficos se pueden configurar de forma independiente.

Utilidad de configuración del dispositivo

DevConfig permite enviar nuevos sistemas operativos a registradores de datos y otros dispositivos con memoria flash, configurar varios ajustes de PakBus en registradores de datos y editar ajustes para periféricos de comunicación como NL241, NL240, RF407 y RF401A. La última versión de DevConfig se puede descargar desde nuestro sitio web. (Campbell, 2021b)

1.9.5. Lenguaje de Programacion CRBasic

CRBasic es el lenguaje de programación que controla la funcionalidad de un registrador de datos científico Campbell . El programa controla todos los procesos en el registrador relacionados con la recopilación de datos, incluidos nombres de variables, diseños de tablas de datos, definiciones y rangos de transductores y operación del puerto de control.

Declaración de variables

La primera parte del código define todas las variables que recopilará el registrador de datos mediante el comando Público . Las variables singulares se definen ingresando el nombre de la variable y las variables de matriz, que se pueden usar para almacenar múltiples valores bajo nombres de variables indexadas, se definen agregando la longitud de la matriz entre paréntesis después del nombre de la variable.

Declaración de tabla

Una vez definidas las variables, existe la opción de dividir las en varias tablas de datos para facilitar la manipulación de los datos. En este caso, todas las variables se muestran en una única tabla, denominada Tabla1. Además, es posible promediar el tiempo de los datos dentro de las tablas. Esto permitiría la recopilación de datos, por ejemplo, a intervalos de 1 minuto, pero solo almacenaría los promedios de 5 minutos de estos datos en la tabla. La ventaja de esto es una alta resolución de recopilación, al tiempo que se reduce el tamaño del archivo de datos recopilado, lo que lo hace más manejable para el almacenamiento, la transmisión y el posprocesamiento.

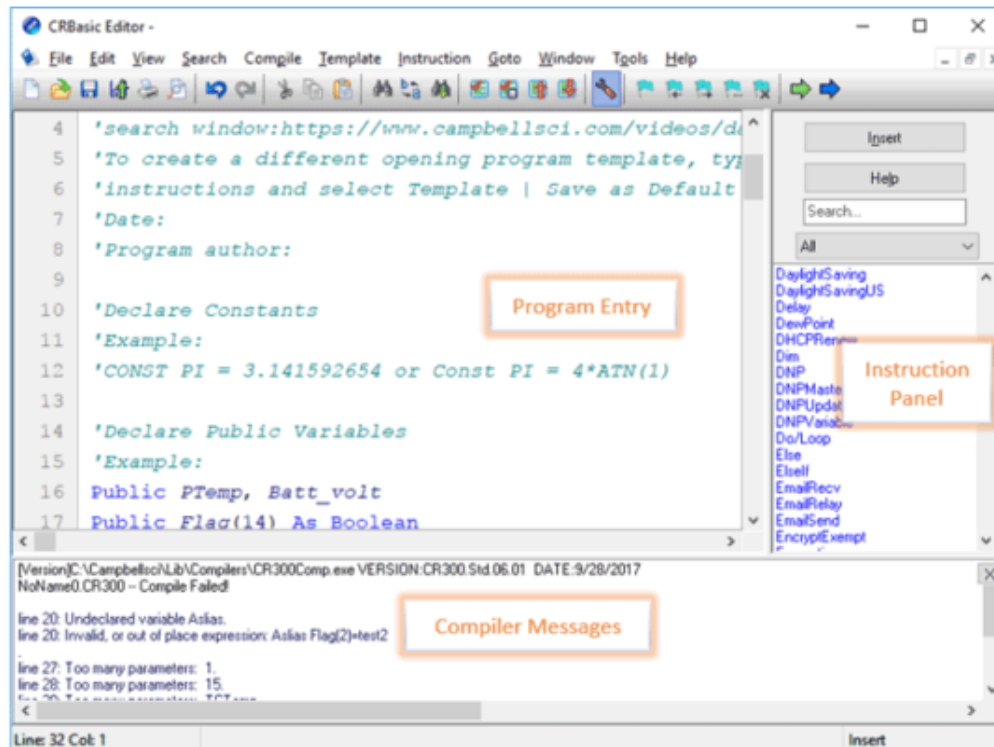
Recopilación de datos

La recopilación de datos se produce en un bucle repetitivo que se ejecuta hasta que el controlador detiene manualmente el programa a través de loggernet, o el editor de CRBasic. (Andrews, 2023)

La ventana principal del editor CRBasic está dividida en tres partes para facilitar la creación y edición de programas. Las tres partes de la ventana principal de CRBasic Editor son: la ventana de entrada de programa, el panel de instrucciones y el área de mensajes. En el lado derecho, el panel de instrucciones es una lista con las instrucciones para el CR300. Las instrucciones se pueden seleccionar de esta lista o se pueden entrar directamente a la izquierda en la ventana de entrada de programa. El área de mensajes normalmente no está visible hasta que se compila un programa. Aparece en la parte inferior y muestra los resultados de la compilación junto con cualquier error detectado. El área de mensajes también le dará avisos de posibles errores de sintaxis en el programa. Haciendo doble clic en el error o aviso, se remarcará la línea de programa que ha generado el error o aviso. (Campbell, 2006)

Figura 1.18

Ventana editor CRBasic



Nota: Esta captura muestra la venta del editor CRBasic donde se crean los programas en este lenguaje (Campbell, 2022).

La estructura de un programa CR requiere que las variables y subrutinas se definan antes de ser usadas. La mejor manera de hacerlo es poniendo al principio todas las declaraciones de variables y todas las definiciones de tablas de salida, seguidas de las subrutinas y luego el programa principal. La mayoría de los programas no necesitan subrutinas; de forma que generalmente no se usan las “definiciones de subrutinas”. La ayuda on-line tiene un ejemplo para cada instrucción. (Campbell, 2022).

1.10. Ecuaciones

1.10.1. Ecuación de estado Redlich–Kwong

En física y termodinámica, la ecuación de estado Redlich-Kwong es una ecuación algebraica empírica que relaciona temperatura, presión, y volumen de los gases. Generalmente es más precisa que la ecuación de Van der Waals y del Gas Ideal a temperaturas sobre la temperatura crítica. Fue formulada por Otto Redlich y Joseph Neng Shun Kwong en 1949. Esta ecuación demostró que las ecuaciones cúbicas de estado que continen dos parámetros pueden reflejar resultados reales en algunas situaciones. Sus resultados se compararon con modelos mucho más complicado como el modelo de Beattie–Bridgeman y la ecuación de Benedict-Webb-Rubin. Aunque inicialmente fue desarrollada para gases, la ecuación Redlich-Kwong

ha sido considerada una de las ecuaciones de estado más modificadas. Estas modificaciones se han hecho para generalizar los resultados predictivos que se obtienen. Aunque esta ecuación ya no se emplea actualmente en aplicaciones prácticas, hay modificaciones derivadas de este modelo como la ecuación de Soave Redlich Kwong (SWK) y Peng Robinson (PR).² Estas ecuaciones han continuado siendo modificadas y se usan actualmente en simulaciones e investigación de equilibrio vapor-líquido. (Valderrama, 2024)

La ecuación de estado de Redlich-Kwong se puede expresar como (Redlich y Kwong, 1949).

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{T^{\frac{1}{2}}V(V + b)} \quad (1.1)$$

Donde T representa la temperatura absoluta en R designa la constante del gas, V representa el volumen molar del gas y a y b corresponden a coeficientes independientes de la presión. La dependencia compositiva de los coeficientes a y b en la ecuación 1.1 está dada por

$$a = \sum_{i=1}^{\hat{i}} \sum_{j=1}^{\hat{j}} a_{i,j} X_i X_j \quad (1.2)$$

Y

$$b = \sum_{i=1}^{\hat{i}} b_i X_i \quad (1.3)$$

donde X y X_j se refieren a las fracciones molares de los componentes i-ésimo y j-ésimo de la mezcla de gases (i= 1, 2, ...,T y j=1,2 , T), a_{i,j} denota los coeficientes de interacción para los dos componentes, y b representa el coeficiente b del i-ésimo gas puro. La naturaleza del coeficiente de interacción cruzada en la ecuación 1.2 depende de las características de las moléculas que interactúan. Por ejemplo, la interacción de moléculas no polares diferentes es coherente con

$$a_{i,j} = (a_i, b_j)^{\frac{1}{2}} \quad (1.4)$$

Que corresponde a la media geométrica de los coeficientes Redlich-Kwong para los gases puros designados por los subíndices i y j. Los coeficientes del lado derecho de la ecuación 1.4 se pueden expresar como (Flowers, 1979).

Las constantes son diferentes dependiendo del gas que se esté analizando. Las constantes pueden obtener calculándose a partir de los datos del punto crítico del gas.

1.10.2. Standard Factor Gas

El factor utilizado para convertir los valores de voltaje del sensor en bruto a ppm para cada gas medido. Primero, se introduce un gas con 0 ppm de dióxido de carbono en la caja

del sensor y se registra el valor de voltaje en bruto de la respuesta. Luego, se introduce otro gas con concentraciones conocidas de dióxido de carbono en la caja del sensor y se registra la respuesta (Lockinc, 2024). Este procedimiento de calibración se conoce como calibración de dos puntos. Luego, el factor de calibración se encuentra utilizando la ecuación,

$$F_{(gas)} = \frac{spanPPM - zeroPPM}{spanRAW - zeroRAW} \quad (1.5)$$

Donde spanRAW son los valores de escala para convertir la señal mV a unidades sensibles, sin span, sin offset, spanPPM es el valor inicial de referencia de calibración por defecto = 1.000 de span, zeroPPM el valor inicial por defecto = 0.0000 del offset.

Las proporciones químicas son determinadas por cada sensor a través de las ecuaciones de Bolton que estime la presión de vapor de saturación sobre el agua utilizando la ecuación 1.6 de Bolton(Tecnology, 2015).

$$e_s(T) = 6.112 * e^{\frac{17.67 * T}{T + 243.5}} \quad (1.6)$$

Para $T < 0^\circ\text{C}$, debido a la falta de datos experimentales precisos, existe cierta incertidumbre sobre la validez de la extrapolación de formula de Wexler. la formula ajusta un conjunto de datos al 0.3 % para $-35^\circ\text{C} < T < 35^\circ\text{C}$. Para determinar el valor de CO_2 , la Fracción molar de CO_2 en ppmv con SPAN y OFFSET aplicados. SPAN es la pendiente de la curva de calibración lineal y OFFSET es la intersección:

$$\text{CO}_2 = \text{CO}_2\text{RAW} * \text{SPAN} + \text{OFFSET} \quad (1.7)$$

Las ecuaciones de SO_2 , H_2S están igualmente adaptadas a las pendientes de curva de calibración lineal e intersección de cada elemento.(Brailsofort, 2018)

$$\text{SO}_2 = ((\text{SO}_2\text{RAW} * ((0.00015 * (1013.25 - \text{SampleP})) + 1)) * \text{SPAN}) + \text{OFFSET} \quad (1.8)$$

$$\text{H}_2\text{S} = ((\text{H}_2\text{SRAW} * ((0.00008 * (1013.25 - \text{SampleP})) + 1)) * \text{SPAN}) + \text{OFFSET} \quad (1.9)$$

Donde el SampleP es presión en el IRGA en mbar, que es igual a hPa, en el analizador se denomina como la concentración de gases por infrarrojos en las celdas del SBA-5.

1.10.3. Humedad en el monitoreo volcanico

La humedad presente en el aire influye significativamente en nuestra vida cotidiana, afectando nuestra salud, confort, y a una multitud de objetos, materiales, agricultura y procesos de producción. Aunque los conceptos de humedad absoluta y humedad relativa son comúnmente usados, el de humedad específica es menos conocido. Vamos a definir los tres:

Humedad específica

La humedad específica es similar a la humedad absoluta, pero se mide en kgs de agua por

kg de aire seco. Tanto en la humedad absoluta como en la específica, el agua siempre está en forma de vapor (gas).

Humedad absoluta

La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua (comúnmente medida en gramos) contenida en un determinado volumen de aire (comúnmente un m³). Así, la humedad absoluta se mide en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire. (S&P, 2024)

1.10.4. Humedad Relativa

Ya que la humedad es la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire. Se expresa como humedad relativa o humedad absoluta.

Definidos los conceptos concluimos que humedad absoluta se refiere a la cantidad total de vapor de agua contenido en determinado volumen de aire. En cambio, la relativa, es la relación entre la cantidad de vapor del aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad de aire que se puede albergar a esa temperatura.

Específicamente, cuando se habla de monitoreo de humedad, hace referencia al registro de valores de humedad en el ambiente. Principalmente a la humedad relativa que ofrece un valor definitivo en porcentaje que, además, es sencillo de interpretar.

En monitoreo volcánico el conocer el estado de un valor cuantificable de la humedad es importante para entender el comportamiento de la cámara magmática y como este puede afectar a su medio.

Ecuación de la Humedad Relativa

La humedad relativa (RH) es la relación entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de equilibrio del agua a una temperatura dada. La humedad relativa depende de la temperatura y la presión del sistema de interés. La misma cantidad de vapor de agua produce una mayor humedad relativa en el aire frío que en el aire caliente. (Go, 2024)

$$RH = \left(\frac{H_2O_{hPa}}{Sat.vapor} \right) * 100 \quad (1.10)$$

Capítulo 2

Diseño y construcción de estación Multigas

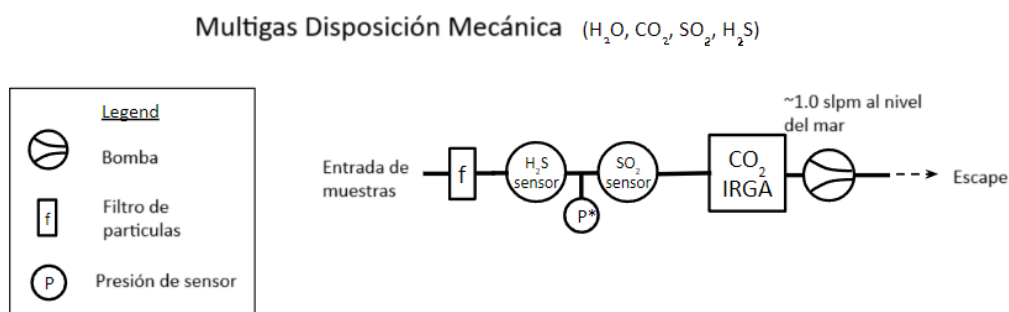
2.1. Elaboración de Diseño

El desarrollo de construcción física de este equipo está detallado dentro de este capítulo. Es de resaltar varios aspectos a los cuales se deben identificar y diseñar de forma en que se considere el funcionamiento y la manera en que se utilizará el equipo de medición. Las consideraciones ya han sido detalladas en el capítulo I, ahora es el capítulo donde se cubren los elementos materiales que se han instalado en el sistema para la construcción del Multigas.

El sistema de tubería utilizado corresponde a uno compatible con los elementos mencionados en el capítulo 1 por lo que se hará uso de una manguera de polipropileno flexible de 1/4" de diámetro externo, 1/8" de diámetro interno para la succión de emisión de gases los cuales estarán conectados al esquema de los elementos y conexión de la tubería donde viajarán los distintos tipos de gases y su paso por los sensores un esquema básico para el prototipo el cual se muestra en la figura 2.1.

Figura 2.1

Diagrama de flujos estación Multigas



Nota: Este es un esquema de elementos y su disposición en el montaje de la estación Multigas.

2.2. Disposiciones para maletín a utilizar

Para llevar a cabo el prototipo del dispositivo de medidor de gases se necesito de un maletín iM2100 pelican, que servirá de montaje, una placa de aluminio para montar todos los elementos cuyas dimensiones son 11.5x7.5 cm un espesor de 3mm.

Lo siguiente a continuación fue llevar a cabo la ejecución de cada una de las partes para perforo la maleta utilizando un taladro con una broca de 7/16" para el accesorio de tubo de unión de mamparo de polipropileno Jaco de 1/4" de diámetro exterior.

Se mando a elaborar un chasis de como se observa en el Anexo de la pagina 84 para lo cual se utilizo una aplicación llama Diseñador de paneles frontales. Un Chasis de aluminio para montaje de los elementos como los sensores 3TF, H3S, analizador de datos, batería y Datalogger cuyas medidas son 11.5x7.5" 2mm.

2.2.1. Diseñador del panel frontal

Para su diseño se utilizo el software DISEÑADOR DEL PANEL FRONTAL el cual es un software de creación de paneles con distintas formas básicas. Las dimensiones se pueden introducir en mm o pulgadas y en unidades de rack y unidades de paso horizontal para sistemas de 19". Además de otras características, puede elegir el material, los colores y el mecanizado de los bordes. Se pueden realizar agujeros pasantes y ciegos en el panel frontal. En estos agujeros se pueden aplicar avellanados y roscas, según estándares establecidos o personalizados según sus necesidades. Se pueden realizar cortes rectangulares, trapezoidales y triangulares, así como orificios alargados, orificios en D y ranuras curvas. Los bordes de estos elementos se pueden mecanizar con biseles o radios.

Los archivos de impresión se pueden importar directamente al diseño del panel frontal. Los formatos de archivo admitidos son: PDF, PNG, TIFF, JPG, BMP y se pueden configurar varias opciones de impresión en el software. (Express, 2024)

2.3. Acople de filtro de $1\mu\text{m}$

Adaptaremos una tubería PVC 1/8 ID x 1/4 OD pulgadas. por el cual viajara la muestra de gases en el circuito creado se utilizara un filtro de 1um seleccionado por su compatibilidad de sus entradas con el tipo de tubería utilizado el cual se encargara de filtrar el aire al entrar el circuito que se puede ver en la Figura 2.2.

Figura 2.2

Filtro de $1\mu\text{m}$



Nota: Adaptación de filtro de $1\mu\text{m}$ de Diámetro de $1/8''$ con la tubería de $1/8''$, ID x $1/4$ in OD.

2.3.1. Software de diseño fusión

Autodesk Fusion: CAD, diseño y fabricación

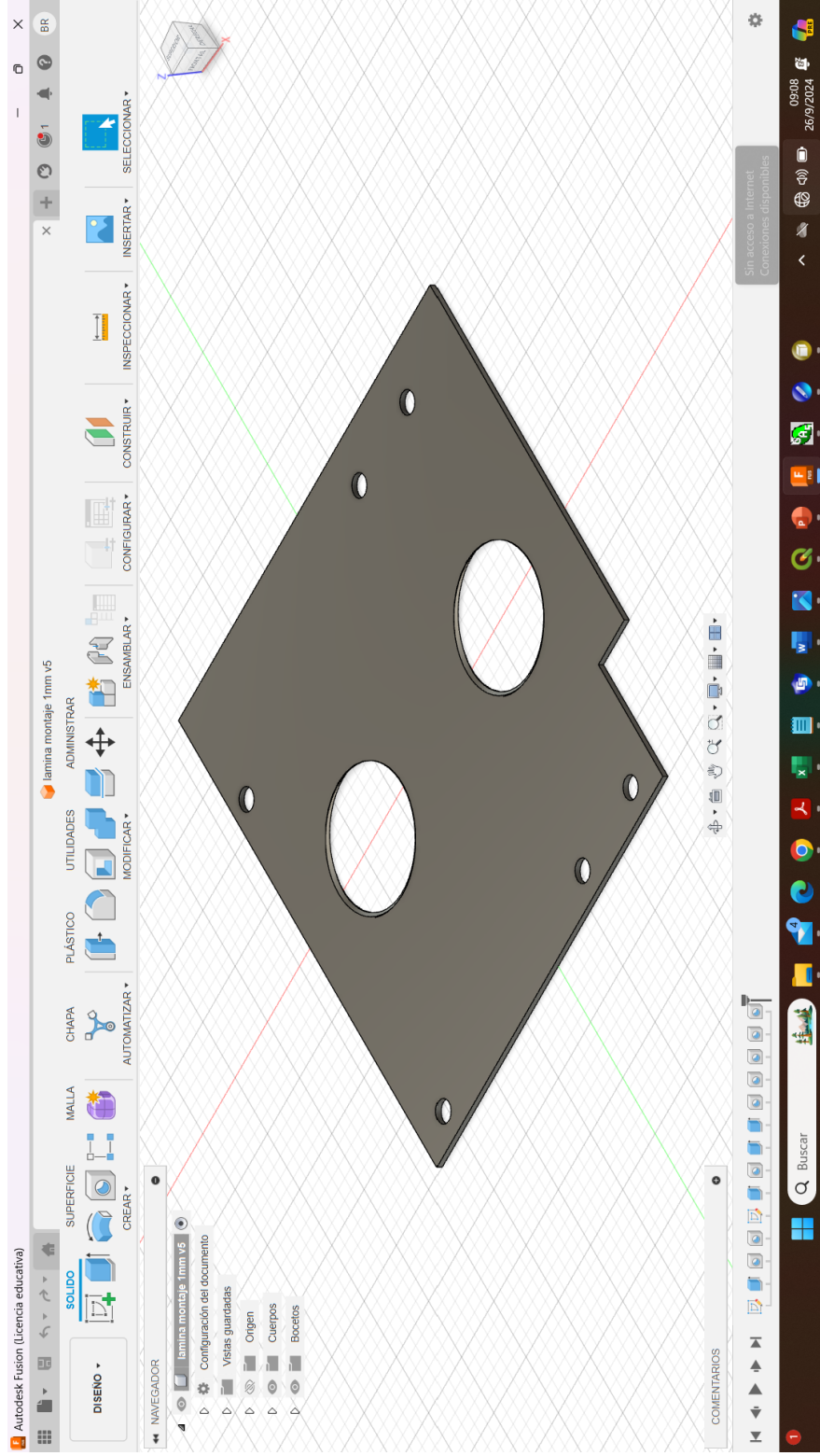
Autodesk Fusion es una plataforma de software de modelado, CAD, CAM, CAE y PCB 3D basada en la nube para el diseño y la fabricación de productos. Diseña y cree productos según sus requisitos para garantizar su estética, forma, ajuste y función.(Autodesk, 2024)

Como se mencionó, Fusion 360 está basado en la nube, permitiendo esta última versión, compartir datos desde prácticamente cualquier lugar. Integra herramientas CAD, PCB, CAM y CAE para unificar el diseño, la ingeniería y la fabricación en una sola plataforma. Esencialmente, no hay que abandonar el entorno de diseño al modelar en Fusion 360. Además, permite crear modelos 3D mecánicos y técnicos. Un comentario recurrente de los usuarios es que el software es limitado en términos de modelado orgánico porque no ofrece muchas herramientas para esculpir, pero la realidad es que el conjunto de herramientas flexible de Fusion 360 facilita el modelado de superficies 3D. Siendo útil para crear la estética externa de un objeto mediante herramientas integradas como el esculpido de forma libre, la manipulación de polígonos y el modelado paramétrico. Si bien es cierto que otras aplicaciones y softwares ofrecen unos modelos más artísticos, Fusion 360 ofrece lo necesario para poder esculpir y dejar espacio a la imaginación. Para este tipo de modelado artístico, es cierto que soluciones como Blender o Rhinoceros permitirán lograr muchas más cosas.(M., 2023)

Se conectan los sensores de SO_2 , H_2S a través de una montura diseñada con el software de diseño fusión véase figura 2.3.

Figura 2.3

Diseño de montura de sensores



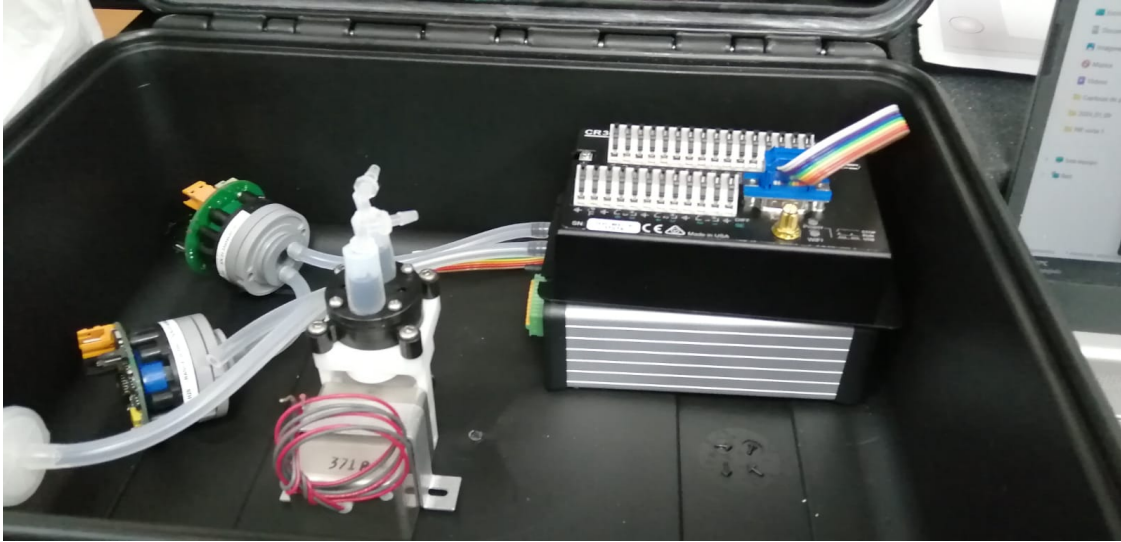
Nota: captura tomada del programa de diseño fusión de la montura diseñada y entorno de programa (Control, 2024).

2.4. Acople de analizador SBA-5

Luego se conectara al analizador SBA-5 CO₂ en el puerto de gas in para la entrada de gases, y el gas out por donde saldrá a la bomba, y de ahí a la salida del siguiente accesorio de tubo de unión de mamparo de polipropileno de unión de 1/4" véase Figura 2.4.

Figura 2.4

Acople preliminar analizador de CO₂ SBA-5, sensores, y bomba



Nota: Unión de los elementos eléctricos con los tuberías de 1/4" con el analizador de CO₂ SBA-5, sensores, y bomba.

2.5. Diseño de Diagrama eléctrico de conexiones de estación Multigas

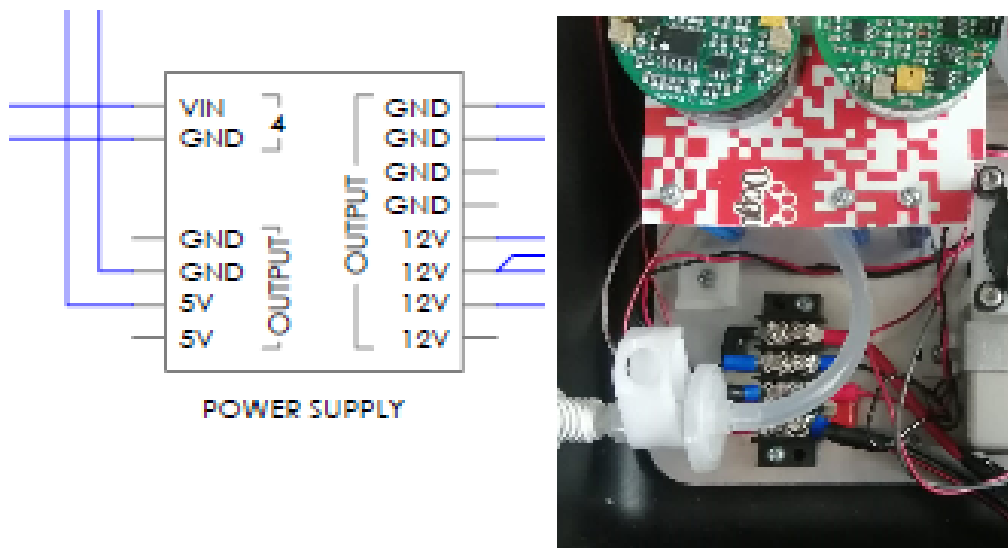
Luego de planear la ubicación de los elementos se elaboro un esquema eléctrico de las conexiones siguiendo los lineamientos de cada modulo visto en el capitulo 1.

Para las conexiones eléctricos de los elementos utilizaremos una batería de 12V para alimentar los sensores y demás elementos eléctricos utilizaremos un Bloque de terminales, 4 circuitos, 20-30 A.

Siguiendo las especificaciones de cada componente conectamos la batería de alimentación 12V, para electrificar el datalogger CR300, el analizador SBA-5, los sensores de SO₂, H₂S, para alimentar el GPS garmin 18x lvc se necesito un convertidor de voltaje de 12V a 5V, la conexion a tierra se conectaran en el bloque de 4 conexiones de la parte superior y alimentacion den el bloque inferior véase en la Figura 2.5 siguiendo el diagrama de la Figura 2.6.

Figura 2.5

Diagrama Power Supply

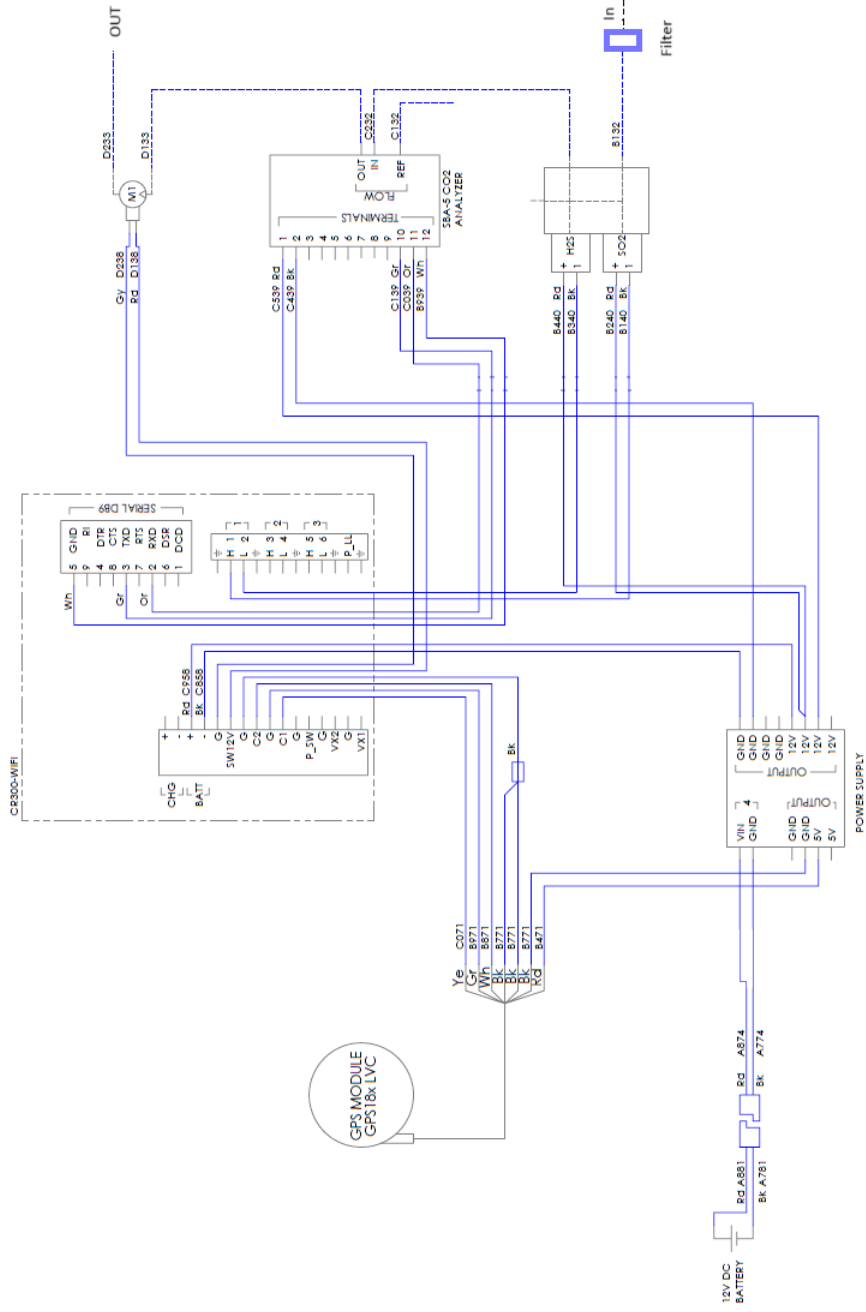


Nota: Esta es una imagen del power supply del circuito eléctrico, a través de el la batería de 12V, puede electrificar analizador SBA-5, Datalogger CR300, sensores de H₂S, SO₂ y el GPS Garming 18x.

Siguiendo el esquema de conexion de comunicaciones creado para el CR300 procedemos a conectar como se muestra en la Figura 2.6

Figura 2.6

Diagrama de conexiones eléctricas estación Multigas



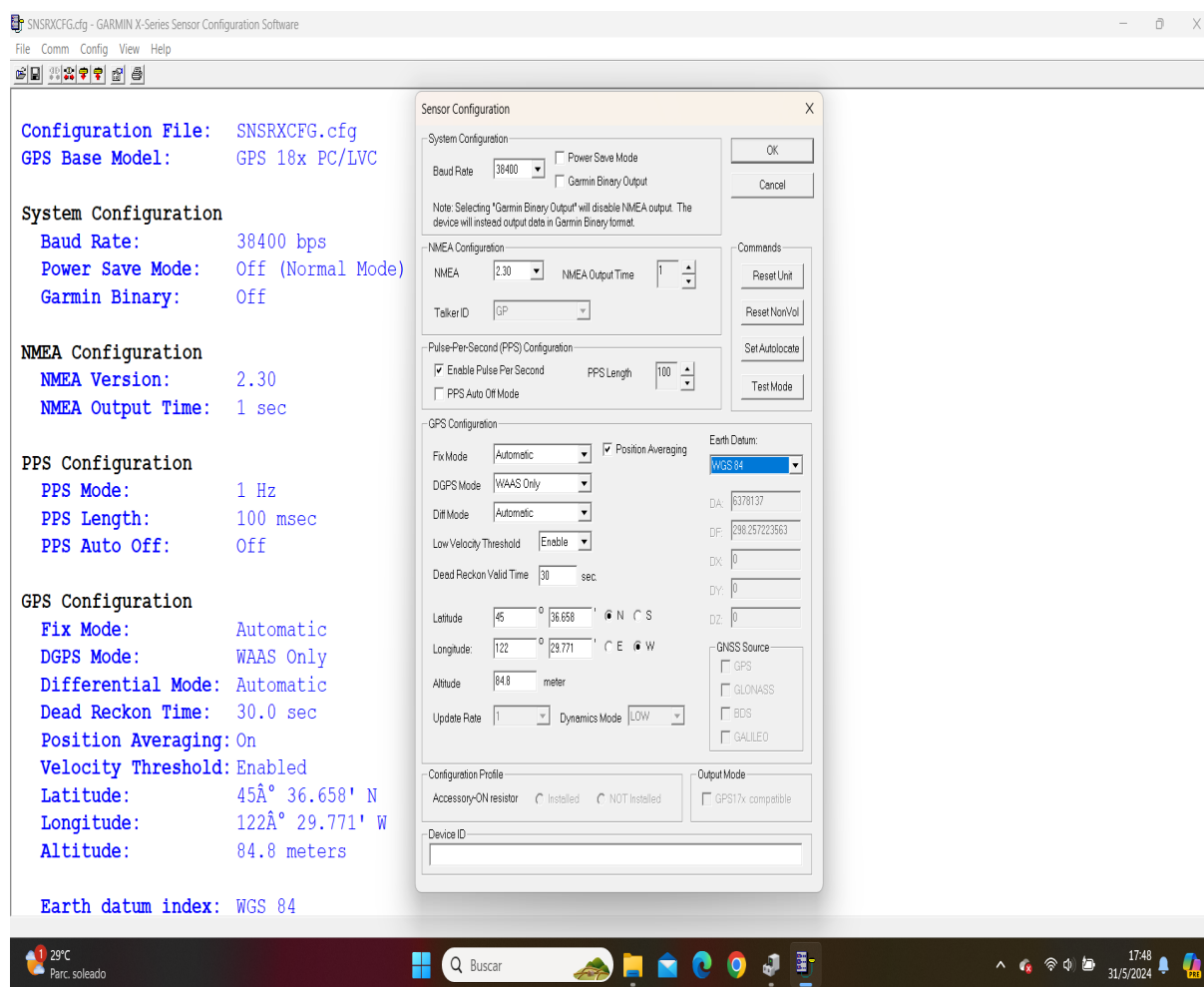
Nota: Esquema de conexiones eléctricas y comunicación de sensores Electroquímicos, H₂S, SO₂, Datalogger CR300, Analizador de CO₂ SBA-5, GPS Garming 18x.

2.5.1. Conexión y configuración del GPS Garming 18x

El GPS para su comunicación únicamente se necesitan las conexiones RXD, TXD en los puertos C1-amarillo y C2-blanco y tierra-Verde pero antes es necesario configurar el GPS con el programa SNSRXCFG Garming series el cual modificaremos dos parámetros el Baud Rate a 38400 baud habilitamos GPGGA que se refiere al registro contiene datos relacionados con la hora, la posición y la posición del recepto GPRMC que es un registro contiene datos de hora, fecha, posición, ruta realizada y velocidad proporcionados por el receptor de navegación GPS, 1Hz, 100 ms pps, como se ve en la Figura 2.7.

Figura 2.7

Configuraciones programa SNSRXCFG del GPS Garming 18x



Nota: Captura de la pantalla de Configuraciones programa SNSRXCFG del GPS Garming 18x.

2.5.2. Configuración y conexión del analizador de CO₂ SBA-5

La comunicación del SBA-5 será implementada por el sistema de RS-232. El estándar recomendado 232, más comúnmente conocido como RS-232, es un protocolo de comunicación en serie asíncrono establecido en 1960. Originalmente, se usaba comúnmente para conexiones a módems, impresoras, ratones y otros dispositivos periféricos.

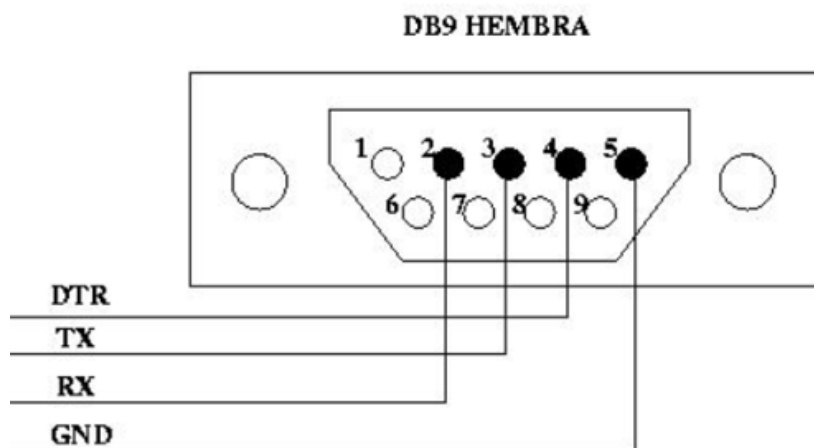
RS-232

De manera más simple, los dispositivos que se comunican a través de RS-232 se comunican a través de dos conjuntos de cables dentro de un cable. Las señales salientes son señales Tx (transmisión) y las señales entrantes son señales Rx (recepción). Estas señales de salida suelen estar entre $\pm 5V$ y $\pm 25V$. Para tener en cuenta las caídas de voltaje a lo largo del cable, el dispositivo receptor interpretará cualquier voltaje por encima de $+3 V$ como un 0 y cualquier voltaje por debajo de $-3 V$ como un 1, comunicación binaria simple. (González, 2003)

Un conector DB9 por lo que haciendo uso del esquema de puerto Serial de la figura 2.8. Para las conexiones CR300 quedarían de la siguiente manera para el puerto Serial el cual se conectara al SBA-5 los puertos RXD, TXD, Ground, los cuales son 10, 11, 12 del SBA-5.

Figura 2.8

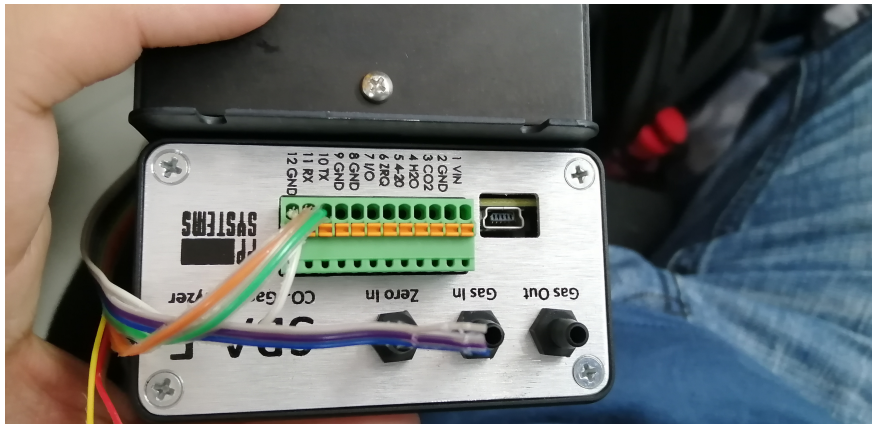
Comunicación RS-232 pines DTR, TX, RX, GND



Nota: Esquema de Comunicaciones DB9 comunicación RS-232 pines DTR, TX, RX, GND. imagen obtenida de (González, 2003).

Figura 2.9

Conexiones del conector serial DB9 en el SBA5



Nota: Fotografía de las conexiones del conector serial DB9 al SBA5, pines 10,11,12, RX,TX y GR al CR300 Siguiendo el esquema de la Figura 2.8.

La distribución de pines se muestra del SBA-5 y el conector DB9 se resume en la Tabla 2.1

Tabla 2.1

Resumen de conexiones RS-232 DB9 con SBA-5

Port SBA-5	Pin DB9
10 TX	3 TX
11 RX	2 RX
12 GND	5 GND

2.6. Configuraciones de funcionamiento SBA-5

Para las configuraciones del SBA-5 se necesita una aplicación denominada Gas, ahí seleccionamos la opción settings, e ingresamos los comandos que se encuentran en la siguiente Tabla 2.2:

Tabla 2.2

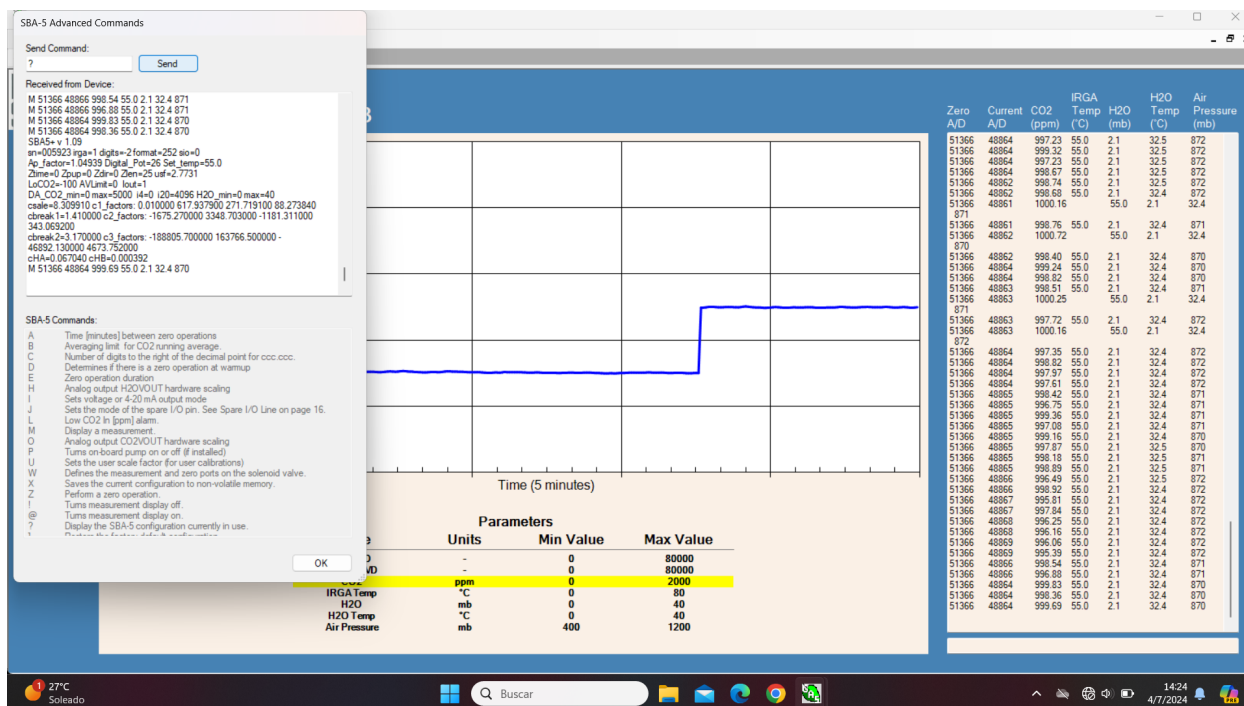
Comandos de configuración del SBA-5

Comando	Descripción
O0,5000	rango total modificado a 5000 ppm de CO ₂
H0,40	rango de H ₂ O confirmado de 0 a 40 mbar.
C-2	Agregue un decimal al CO ₂ (ej.400.1) y permita valores negativos (jasegúrese de usar un signo menos, no un guion!)
B0	sin filtro exponencial
S,21,0	Establezca la constante de tiempo del filtro exponencial en cero (sin filtrado)
D0	Desactive el cero de encendido
A0	Desactive todos los ceros cronometrados y progresivos.
F255	Habilite todos los datos digitales, incluidos los errores
L-100	Establezca la alarma de CO ₂ bajo en -100
!	Desactiva la salida automática de datos para preparar la operación de sondeo
?	Muestra un resumen de los cambios realizados

Nota: Comandos de configuración obtenidos de (Kelly, 2019) el ejemplo del resumen de cambios se observa en la Figura 2.10 .

Figura 2.10

Settings SBA-5 del programa Gas



Nota: Pantalla settings SBA-5 del programa Gas comprobando las configuraciones comando ?.

Finalmente conectamos la Bomba en nuestro chasis conectando los alimentadores de SWG12 del CR300 y la alimentación a tierra, para terminar la etapa de conexión. Con el montaje terminado el multigas queda preparado como podemos ver en la imagen de la figura 2.11.

Figura 2.11

Fotografía de montaje estación Multigas



Nota: Fotografía estación, Datalogger CR300, BOMBA TD-2NA, sensores H₂S, SO₂ y SBA-5.

2.7. Resumen de conexiones del Datalogger CR300

A continuación se muestra un resumen de conexiones de los puertos y pines en la tabla 2.3 que describe el diagrama de la Figura 2.6.

Tabla 2.3

Resumen de conexiones de los Puertos del CR300

Port CR300	component	Pin
+	Supply 12V	alimentación 12V
-	Supply Ground	alimentación Ground
C1	GPS	pps amarillo
G	GPS	Ground verde
C2	GPS	RX blanco
3G	GPS	Ground negro
SW12	Bomba TDA	alimentación rojo
2	SBA-5 Serial	naranja
3	SBA-5 Serial	verde
5	SBA-5 Serial	blanco
L2	Sensor H ₂ S	pulse rojo
H1	Sensor SO ₂	pulse rojo

Nota: Esta tabla muestra un resumen breve de las conexiones en la figura 2.6.

Capítulo 3

Diseño de programa del Recolector de Datos CR300

Se implemento un programa desarrollado con el software PC400 de campell, con el lenguaje de CRBasic cuyos resultados se presenta el valor de cada sustancia en partes por millón de volumen(ppmv).

Para este proyecto se realizo un trabajo de investigación previo al lenguaje de programación compatible con el datalogger Campell CR300 series el cual utiliza el lenguaje de programación llamado CRBasic.

3.1. Programa de CRBasic

CRBasic es el editor de programas usado para escribir programas para el CR300, se puede ejecutar desde la barra de aplicaciones de LoggerNet o PC400. CRBasic está diseñado para programadores que necesiten más flexibilidad y control de lo que puede ofrecer SCWin en la funcionalidad del datalogger. Este lenguaje de programación es similar en sintaxis, flujo de programa y lógica, al lenguaje de programación BASIC.

Siguiendo la estructura y lógica de programación de los manuales (Campbell, 2006) y (Campbell, 2022) se estableció el programa el cual solo explicaremos parcialmente sus partes mas importantes de un programa típico.

Un programa típico de CR contiene:

- a) Declaración de variables de programa
- b) Definiciones de las tablas de datos
- c) Definiciones de las subrutinas (El uso de subrutinas es opcional)
- d) Programa(s) incluyendo el scan interval, medidas, procesado, control, y llamadas a las tablas de datos.

Siguiendo los lineamientos de programación compatible, se diseño un programa que permita la comunicación, recopilación y funcionamiento de los datos de CO₂, SO₂ y H₂S.

3.1.1. Declaración de variables

Para el desarrollo del código establecemos la declaración de variables como se muestra en siguiendo la lógica de CRBasic como vemos en el código 3.1.

Código 3.1: Declaracion de variables

```
1  'Declare Public Variables '  
2  Public Pump_pwr As Boolean  
3  Public PTemp, batt_volt  
4  Public SampleP  
5  Public H2O_hPa 'instrumento de PP Sys informa el vapor de agua '  
6  Public H2O_ppmv 'calcula valor de agua en ppmv '  
7  Public Sat_vap_P 'presion de vapor saturado segun Bolton, 1980 '  
8  Public RH 'humedad relativa '  
9  Public PP_CO2_zero_counts As Float 'recuentos A/D del pp system '  
10 Public PP_CO2_counts As Float 'recuentos A/D PP systems '  
11 Public CO2 As Float 'calcula CO2 del PP systems '  
12 Public PP_IRGA_temp As Float 'Temperatura del banco de CO2 '  
13 Public PP_RH_mbar As Float 'mbar de H2O sensor HR sistemas PP '  
14 Public PP_RH_temp As Float 'RH sensor temperature '  
15 Public PP_CO2_pressure As Float 'presion IRGA mbar, igual a hPa '
```

Nota: Este fragmento del código muestra la declaración de las variables.

3.1.2. Definición de tablas

El siguiente paso es establecer nuestras tablas de datos es decir convertir nuestras variables en tablas como se observa en el código 3.2.

Código 3.2: Declaracion de tablas

```
1 'Define Data Tables.  
2 DataTable (Data_Sec1,1,-1) 'establece cantidad de registros en auto.  
3   DataInterval (0,1,Sec,10)  
4   Sample (1,GPS_TIMESTAMP,String)  
5   FieldNames ("GPS_TIMESTAMP_UTC")  
6   Sample (1,batt_volt,FP2)  
7   FieldNames ("Battery_voltage")  
8   Sample (1,GGA_Fix,FP2)  
9   FieldNames ("Position_Quality")  
10  Sample (1,GGA_SatNum,FP2)  
11  FieldNames ("#_of_satellites")  
12  Sample (1,GGA_HDOP,FP2)  
13  FieldNames ("Horizontal_Dilution_of_Precision")  
14  Sample (1,Latitude_DD,IEEE4)
```

Nota: Este fragmento del código establece la declaración de las tablas utilizando las variables planteadas al inicio del código.

3.1.3. Declaración de rutinas

La siguiente parte seria establecer las rutinas para ello haremos uso de las ecuaciones vistas en el capitulo uno de las cuales utilizaremos de ejemplo la ecuación 1.7.

Código 3.3: Declaracion de rutinas

```
1  ' VoltSe (CO2_raw,1,mV2500,2,1,0,60,2,0)
2  CO2=(CO2_raw*CO2_span_value)+CO2_offset
3  CO2_lowpass = CO2*CO2_lowpass_A+ZZZ_CO2_table.CO2_lowpass(1,1)
4  *CO2_lowpass_B
5  If CO2_lowpass=NAN Then CO2_lowpass=0
```

Nota: En esta etapa del código se muestra brevemente usa rutina de filtro recursivo de una sola etapa para datos de CO₂

3.1.4. Declaración de control de procesos

Por ultimo se establece el control e intervalos del procesado de información en el bloque del programa principal como en el codigo 3.4.

Código 3.4: Main program procesos

```
1  'Main Program '
2  BeginProg
3  SerialOpen(Com1,38400,0,0,200) 'GPS '
4  SerialOpen (ComRS232,19200,0,0,300) 'PP Systems SBA-5 CO2 monitor '
5  'Send SBA-5 configuration '
6  Delay (0,3,Sec)'wait 3 sec for SBA-5 to wake up'
7  SerialOut (COMRS232,"!",",",0,100)'turn off automatic data output '
8  Delay (0,1,Sec)
9  SerialOut (COMRS232,"00,5000",",",0,100) 'cambia range a 5000 ppm CO2 '
10 Delay (0,1,Sec)
```

Nota: En esta parte se establecen el intervalo, medidas, procesado, control, y llamadas a las tablas de datos por ejemplo esta etapa controla el puerto serial de comunicación con el SBA-5 el tiempo de cambio.

Una vez terminado el código y compilarlo cargamos nuestro programa con PC400 comprobamos la visualización de las sustancias a medir en una tabla con el programa de PC400 3.1 donde podemos observar las variables de nuestro programa en ejecución.

Figura 3.1

Visualización programa en ejecución en PC400

RecNum	203	PP_RH_temp	25.80	SO2_ManufactP	-50.86
TimeStamp	2024 10:25:26	PP_CO2_pressure	898.00	SO2_IdealP	-56.45
Pump_pwr	true	CO2_lowpass	-0.98	SO2_raw	-50.00
PTemp	26.18	CO2_string	14.7 25.8 898	H2S	-25.23
batt_volt	13.08	NBytesReturned_CO2	37.00	H2S_NoP	-25.00
SampleP	898.00	CO2_data(1)		H2S_ManufactP	-25.23
H2O_hPa	14.70	CO2_data(2)	50324	H2S_IdealP	-28.23
H2O_ppmv	16,369.71	CO2_data(3)	47573	H2S_raw	-25.00
Sat_vap_P	33.22	CO2_data(4)	-0.98	H2O_span_value	1.00
RH	44.25	CO2_data(5)	32.2	H2O_offset	0.00
PP_CO2_zero_counts	50,324.00	CO2_data(6)	14.7	CO2_span_value	1.00
PP_CO2_counts	47,573.00	CO2_data(7)	25.8	CO2_offset	0.00
CO2	-0.98	CO2_data(8)	898	CO2_lowpass_A	0.23
PP_IRGA_temp	32.20	SO2	-50.86	CO2_lowpass_B	0.77
PP_RH_mbar	14.70	SO2_NoP	-50.00	SO2_span_value	1.00

Nota: Captura de pantalla visualización del programa corriendo en PC400

El siguiente paso sera calibrar para lo cual dispondremos de dos contenedores de gases con una proporción de gases de 25 ppmv para H₂S y SO₂, 1000 ppmv para CO₂. Tal como se ve en el procedimiento del capítulo 1 en la sección 1.5.2 de este documento y en (Technology, 2015)

Capítulo 4

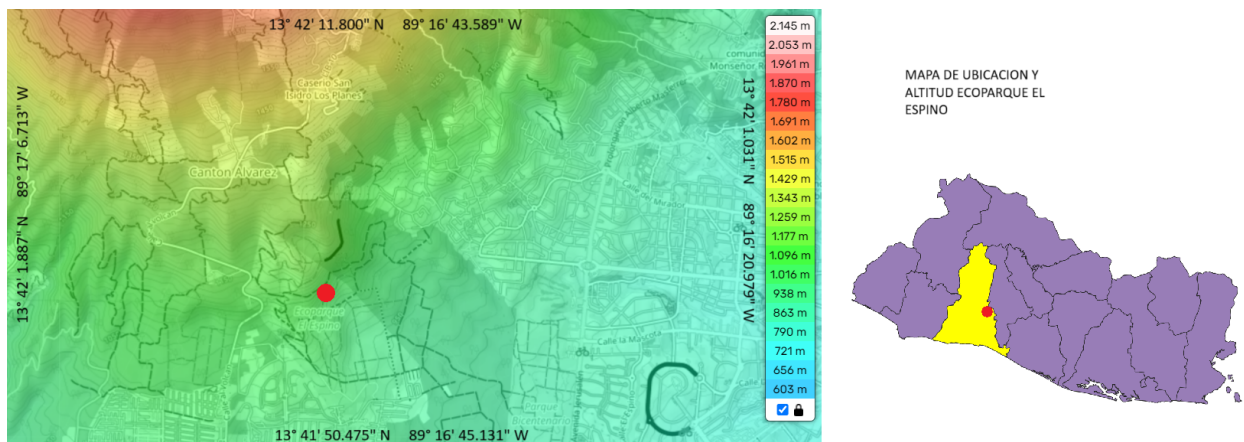
Resultados de las pruebas de campo

4.1. Áreas de estudio

La implementación de este proyecto, como su investigación se desarrollo su prueba en tres áreas distintas una que corresponden a Ecoparque El Espino, son los ausoles o respiraderos del volcán de San Salvador, llamados “El infiernillo” por el ruido que hacen y las fumarolas de vapor de agua que tiran cuyas coordenadas son 13.7002, -89.2786, Cerca de la ciudad de San Salvador y Santa Tecla, Blvr. Sta. Elena 20, zona central de El Salvador. (ElSalvadorEsBello, 2021)

Figura 4.1

Ecoparque el Espino ubicación latitud y longitud



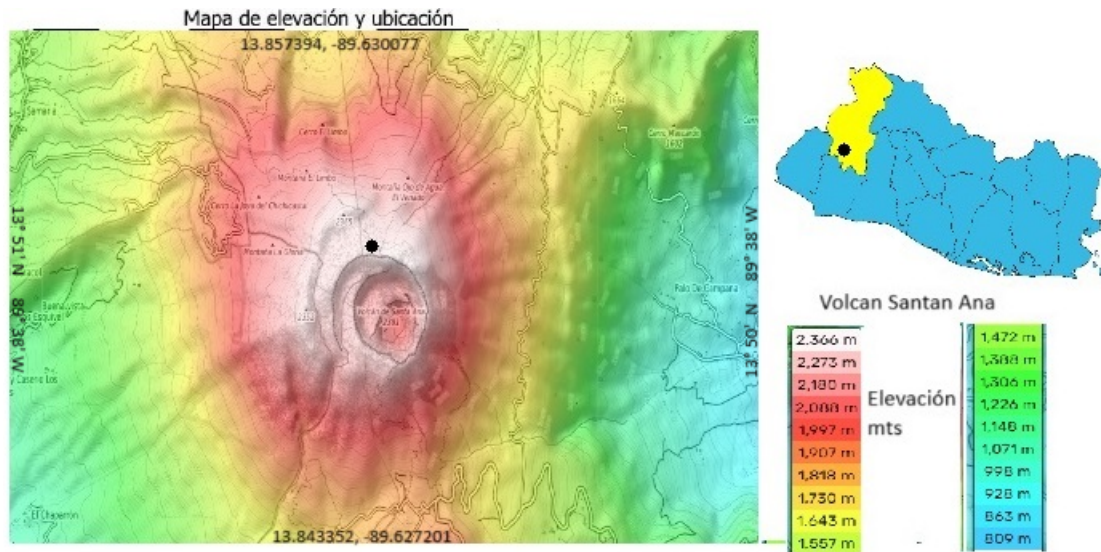
Nota: Ecoparque El Espino, este mapa geografico muestra la ubicación de los ausoles o respiraderos del volcán de San Salvador, llamados “El infiernillo”, coordenadas son 13.7002, -89.2786 obtenida a través de (topographic map.com, 2019).

El volcán de Santa Ana en la zona de occidente que corresponde al cráter de Ilamatepec tiene una elevación de 2,381 m s. n. m.; por lo que es el volcán más alto de El Salvador se ubica a 20 kilómetros, desde cerca del área urbana de Chalchuapa (al norte noroeste del volcán) hasta el volcán San Marcelino, al suroeste del volcán de Santa Ana cuya coordenadas geográficas son latitud de 13.8514 y longitud -89.6290.

Las principales actividades de la región son la agricultura y el turismo, por ello no te arrepentirás de los paisajes que verás desde que vayas en la carretera, además, de los puestos de ventas de frutos que caracterizan a la zona. Una vez comiences a subir el volcán, la experiencia con la flora y la fauna será increíble, brindándote además un clima fresco y delicioso. El ascenso es de nivel medio (5/10), con un clima que varía. Entre las recomendaciones de los excursionistas están: la ropa cómoda, agua, gafas de sol, bloqueador, gorra o sombrero y calzado adecuado para montañismo o senderismo. (de El Salvador, 2014)

Figura 4.2

Mapa de ubicación “cráter volcán de Santa Ana”, latitud y longitud



Nota: Este mapa geográfico muestra la ubicación del punto de medición en el “cráter volcán de Santa Ana” cuyas coordenadas geográficas son latitud de 13.8516, y longitud -89.6289 obtenida de (topographic map.com, 2019)

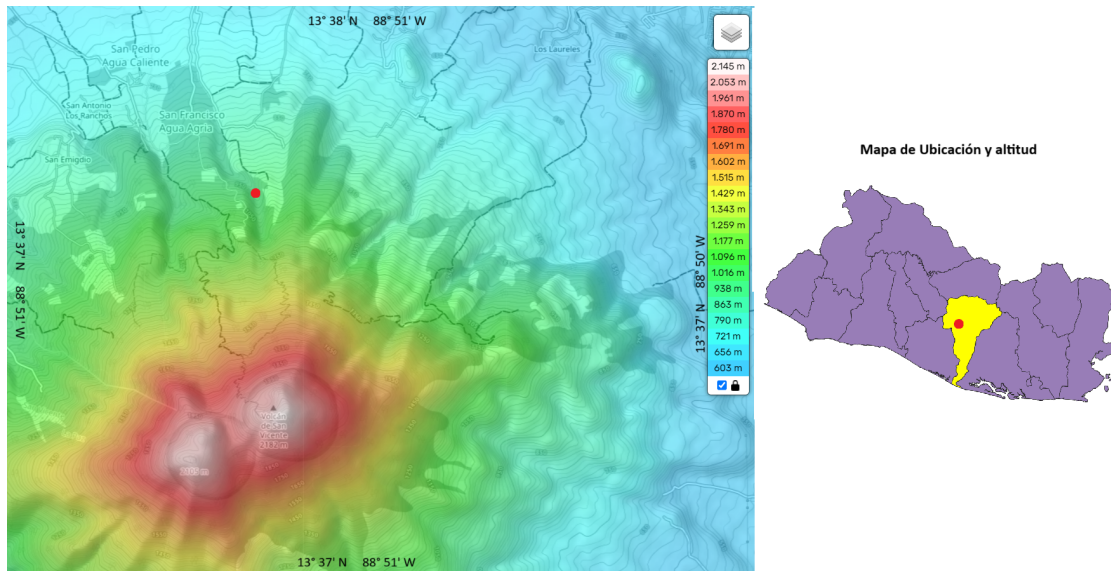
El volcán de San Vicente en la zona paracentral-oriental limitado al Norte por Tepetitán, al Oeste por San Francisco Aguas Agrias, Verapaz y Guadalupe, al Sureste por San Cayetano Istepeque y San Vicente respectivamente. El área geotérmica de esta zona se localiza en el flanco Norte del volcán de San Vicente, en la base cercana a la cumbre del volcán a unos 800 msnm. Este volcán se sitúa 60 km al este de San Salvador, El Salvador. Este complejo volcánico cuenta con fuentes termales y fumarolas conocidas como “Los Infiernillos” las cuales poseen variada intensidad, de donde se eligió una fumarola de intensidad moderada que no superó una temperatura de 100 °C. El Volcán de San Vicente está ubicado hacia el centro del territorio de El Salvador, aproximadamente a unos 5 km al Oeste de la cabecera del departamento de San Vicente, también llamada San Vicente. Este tiene una altura de 2180 msnm y sus coordenadas geográficas son latitud 13.6239, Norte y longitud -88.8509 Oeste.

En este lugar las aguas termales brotan del subsuelo generando un ruido silbante por la alta presión del calor; al acercarse hasta estas fumarolas se pueden ir admirando paisajes

naturales, las casas de los cantones, los sembrados de caña de azúcar y café; y sentir el aire fresco de dicho lugar, que se vuelve más caliente a medida que se avanza hasta los ausoles.(turismoesa, 2014)

Figura 4.3

Mapa de ubicación “Infiernillos San Vicente” latitud y longitud



Nota: Mapa de ubicación “Infiernillos San Vicente” con datos de elevación espacial sobre el nivel medio del mar, ubicado en la zona norte del volcán de San Vicente, Cantón Agua Agria, Guadalupe coordenadas geográficas son latitud 13.6239 Norte y longitud -88.8509 obtenida de (topographic map.com, 2019)

4.2. Normas de regulación NSO 13.11.01:01

Con el fin de garantizar un consenso nacional e internacional, los proyectos de estudio elaborado fue aprobado como NSO 13.11.01:01 CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL. INMISIONES ATMOSFÉRICAS por el Comité Técnico de Normalización 11. La oficialización de la norma conlleva la ratificación por la Junta Directiva y el Acuerdo Ejecutivo del Ministerio de Economía.

Esta norma establece los límites de inmisiones de los principales contaminantes del aire, que garantizan una calidad del aire ambiental aceptable para la salud y la vida humana en particular y para la vida silvestre en general. Representan un nivel que se puede alcanzar mediante la aplicación de técnicas adecuadas de control y minimización de emisiones. Las normas deberán establecer la concentración máxima que se espera alcanzar en tiempos instantáneos o prolongados. Los tiempos y periodos de control son regulados por el SNET Figura 1.1. Los informes se establecen SNET de manera mensual, la captura de datos de campo se establece por lo menos una vez cada dos meses debido a la diversidad volcánica con la que cuenta el territorio salvadoreño.

La evaluación de la calidad del aire en un área determinada, se llevará a cabo durante lapsos de muestreo que comprendan variaciones climatológicas y estacionales, si las hubiere, y considerando los tipos y características de las fuentes de emisión más importantes del sector, ciclos de operación representativos de la producción promedio anual de las fuentes, así como cualquier otra condición del área que pueda incidir en la calidad del aire.

Este lapso de muestreo comprenderá un tiempo mínimo de muestreo de cuatro (4) semanas, una cantidad mínima de veinte (20) muestras efectivas, distribuidas durante todo el lapso del muestreo, con una frecuencia mínima de captación de una (1) muestra cada tres (3) días, para estudios que se realicen en un lapso menor de seis (6) meses, y con una frecuencia mínima de una (1) muestra cada seis (6) días, para estudios efectuados en lapsos mayores a seis (6) meses. Así mismo los periodos de medición reflejan las variaciones diurnas y nocturnas y los valores máximos, para los casos de mediciones continuas. El número de puntos de muestreo y su ubicación deberá permitir que se detecten las variaciones de concentración debido a las fuentes existentes. En todo caso la localización de las estaciones de muestreo será fuera del lindero de cualquier fuente. La determinación de la concentración de contaminantes en el aire podrá ser realizada por los métodos de muestreo, periodos de medición y métodos analíticos (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, 2006).

4.3. Desarrollo y resultado de las Mediciones

Ya que este estudio se busca la creación de un dispositivo prototipo de medidor de gases volcánicos el cual servirá de ayuda en las funciones de monitorio volcánico, que busca entender mejor los sistemas volcánicos, para poder realizar predicciones de su actividad. Las técnicas de monitoreo incluyen el sísmico, de deformación, de gases, hidrológico, y visual, entre otros. Del cual el objetivo de nuestro estudio se basa en la medición de los gases de CO₂, SO₂, H₂S, presentes en las emisiones volcánicas.

El día 10 de julio del año 2024 se realizó una visita de campo al cono eruptivo Cerro la Olla o Ecoparque fumarola los infiernillos ubicado en Santa Tecla, La libertad entre San Salvador, El Salvador. Donde se realizaron diferentes mediciones de emisiones de CO₂, el área de estudio se visualiza en la imagen de la Figura 4.1 y 4.4.

Figura 4.4

Toma de emisiones de CO₂ Ecoparque fumarola los infiernos

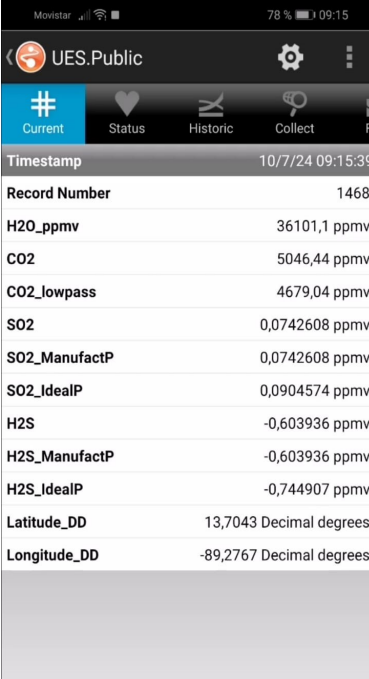


Nota: En esta fotografía se muestra la toma de emisiones de CO₂ por multigas, Ecoparque fumarola los infiernos ubicado en Santa Tecla, La libertad entre San Salvador, El Salvador. (Zaldívar, 2024)

Las visualizaciones del datalogger las realizaremos con la aplicación de LoggerLink cuyo nombre es CO₂ unidad de ppmv como vemos en la Figura 4.5

Figura 4.5

Visualización de emisiones de CO₂ en LoggerLink



The screenshot shows the LoggerLink mobile application interface. At the top, the status bar displays 'Movistar', signal strength, Wi-Fi, and battery level at 78% with the time 09:15. The app header includes a back arrow, 'UES.Public', a settings gear, and a menu icon. Below the header is a navigation bar with icons for 'Current', 'Status', 'Historic', 'Collect', and 'Fill'. The main content area displays a data record with the following fields:

Field	Value
Timestamp	10/7/24 09:15:39
Record Number	1468
H2O_ppmv	36101,1 ppmv
CO2	5046,44 ppmv
CO2_lowpass	4679,04 ppmv
S02	0,0742608 ppmv
S02_ManufactP	0,0742608 ppmv
S02_IdealP	0,0904574 ppmv
H2S	-0,603936 ppmv
H2S_ManufactP	-0,603936 ppmv
H2S_IdealP	-0,744907 ppmv
Latitude_DD	13,7043 Decimal degrees
Longitude_DD	-89,2767 Decimal degrees

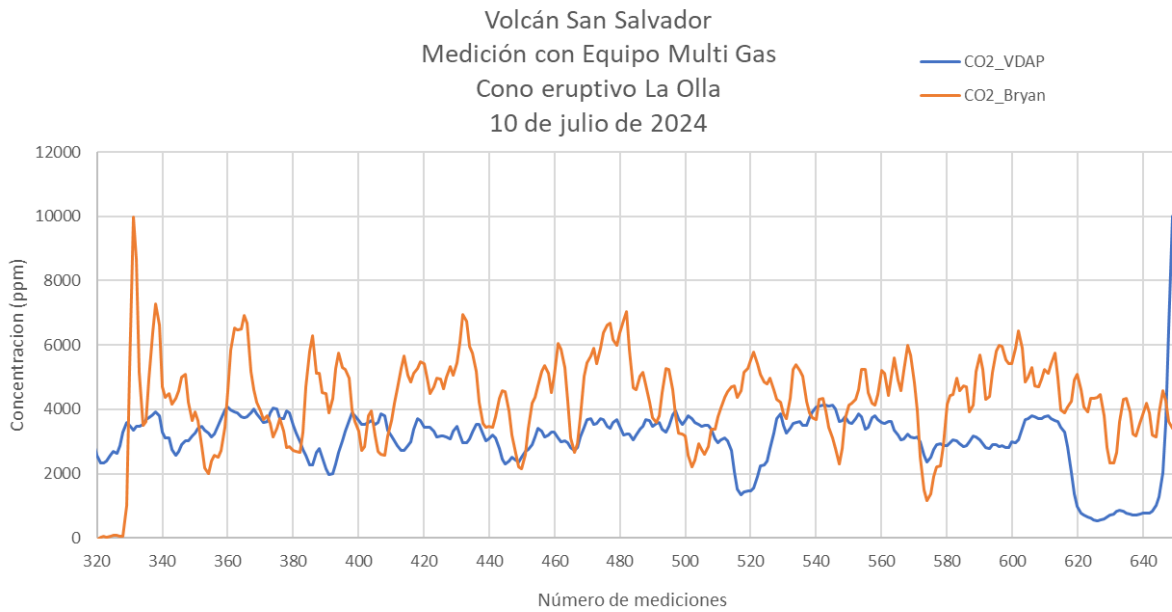
Nota: Visualización de emisiones de CO₂ en LoggerLink en unidades ppmv.

4.3.1. Toma de datos Cerro de la Olla Ecoparque

Las emisiones obtenidas durante esta prueba podemos observarlas en la gráfica mostrada en la Figura 4.6. Los resultados obtenidos en esta prueba señalaron un error bastante elevado de 68% lo cual podemos comprobar al ver las dispersiones de error de la gráfica al encontrarse estos bastantes alejados de los presentados por el Ministerio de medio ambiente.

Figura 4.6

Comparación de emisiones de CO₂ Cerro de la Olla, Eco parque el Espino



Nota: Comparación de emisiones de CO₂ obtenida por multigas en Cerro de la Olla, Eco parque el Espino Coordenadas 13.7175, -89.2758 eje y concentraciones en ppmv, eje x numero de medición.

4.3.2. Toma de datos de volcán de Santa Ana

Luego de las pruebas preliminares se ajusto los sensores nuevamente siguiendo las indicaciones de vistas en el capítulo 1 para SBA-5. Procedemos a realizar una nueva prueba esta vez de los sensores de SO₂, H₂S, CO₂, con el nuevo ajuste esta vez en la ubicación de la Figura 4.2. Ubicándonos cerca del cráter del volcán de Santa Ana realizamos otra toma de datos de la Figura el día 23 de julio de 2024 como se ve en la Figura 4.7.

Figura 4.7

Cráter volcán Santa Ana

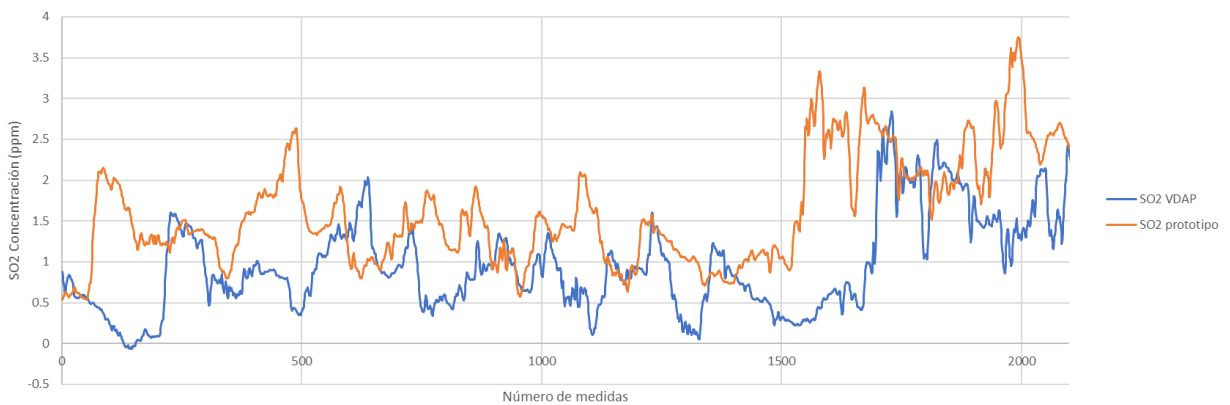


Nota: Cráter volcán Santa Ana, fotografía de ubicación tomada en el lado este del cráter en las coordenadas 13.8483, -89.6251.

Comparamos los datos obtenidos con los obtenidos por el Ministerio de medio ambiente y obteniendo la gráfica comparativa obtenida en la Figura 4.8.

Figura 4.8

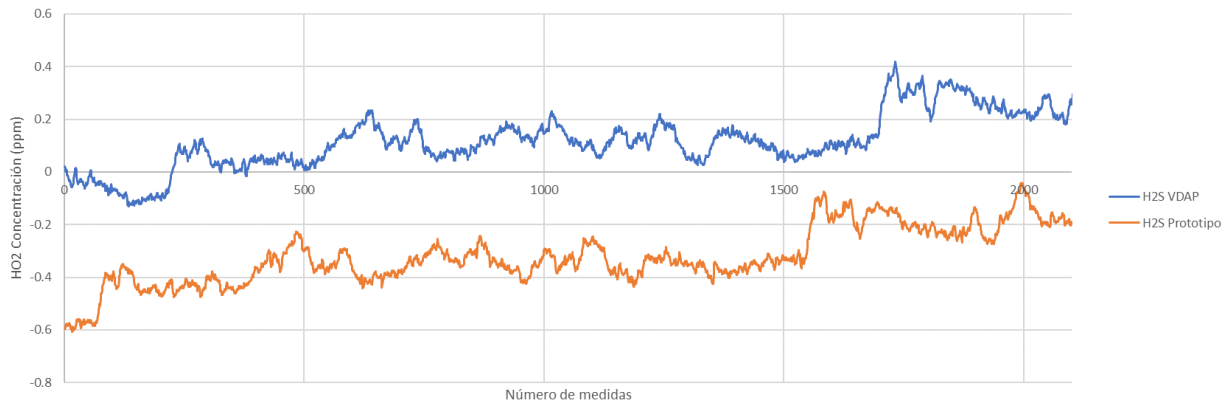
Comparación de emisiones de SO₂ volcán de Santa Ana



Nota: Comparación de emisiones SO₂ volcán de Santa Ana, coordenadas 13.8521, -89.6297, gráfica obtenida de MARN Lic. Francisco M.

Figura 4.9

Comparación de emisiones H₂S volcán de Santa Ana



Nota: Comparación de emisiones H₂S volcán de Santa Ana, coordenadas 13.8521, -89.6297, gráfica obtenida de MARN Lic. Francisco M.

El valor medio de los datos de las emisiones para SO₂ encontramos que un 10.91 % que se encuentra en desfase de adelanto para aproximadamente de 160 datos, lo que proporciona un 7.56 % de error respecto al valor objetivo. Para H₂S se obtuvo 13.32 % un desfase en atraso de 150 datos con una coincidencia de un 7.09 % de valores cercanos al objetivo porcentajes de error se deben en gran medida a la calibración de los sensores, y el retraso en la sensibilidad de los mismos al recopilar los datos.

4.3.3. Toma de datos volcán de San Vicente Los Infernillos

La siguiente mediciones se llevaron a cabo en los infernillos de volcán de San Vicente de la Figura 4.10 y 4.11 y se realizó el día 15 de agosto de 2024 donde se analizaran los datos de CO₂, SO₂ y H₂S.

Figura 4.10

Imagen satélite área de estudio los infiernillos volcán de San Vicente



Nota: Imagen satélite área de estudio infiernillos volcán de san Vicente, coordenadas 13.6243, -88.8511, imagen obtenida de (Jennifer Mejia, 2023)

Figura 4.11

Área infernillos volcán de san Vicente

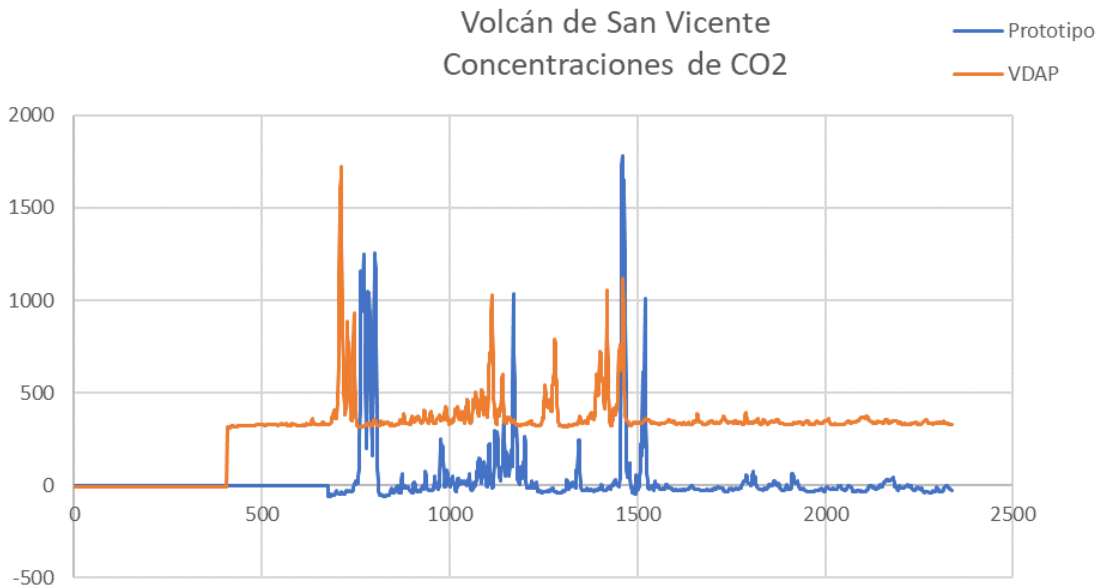


Nota: Área infernillos volcán de san Vicente, fotografía tomada en las coordenadas 13.6243, -88.8511.

En esta área se tomaron muestras de emisiones de los cuales se obtuvieron los resultados presentados en la siguiente gráfica de las Figuras 4.12, 4.13 y 4.14.

Figura 4.12

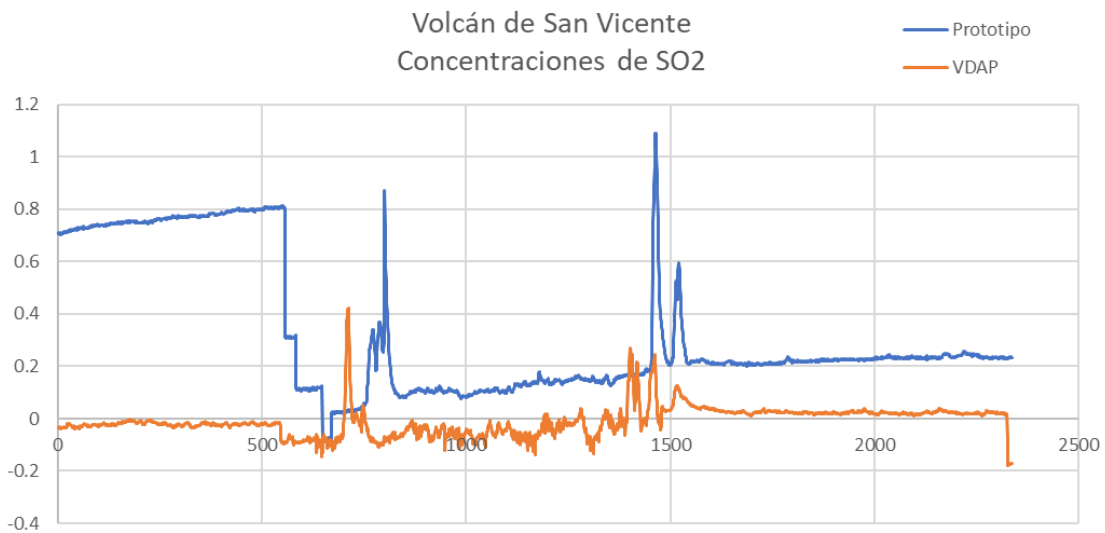
Comparación de emisiones de CO₂ volcán de San Vicente



Nota: Comparación de emisiones de CO₂ volcán de San Vicente, Los infernillos canto de Agua Agria coordenadas 13.6243, -88.8511, gráfica obtenido por MARN Lic. Francisco.

Figura 4.13

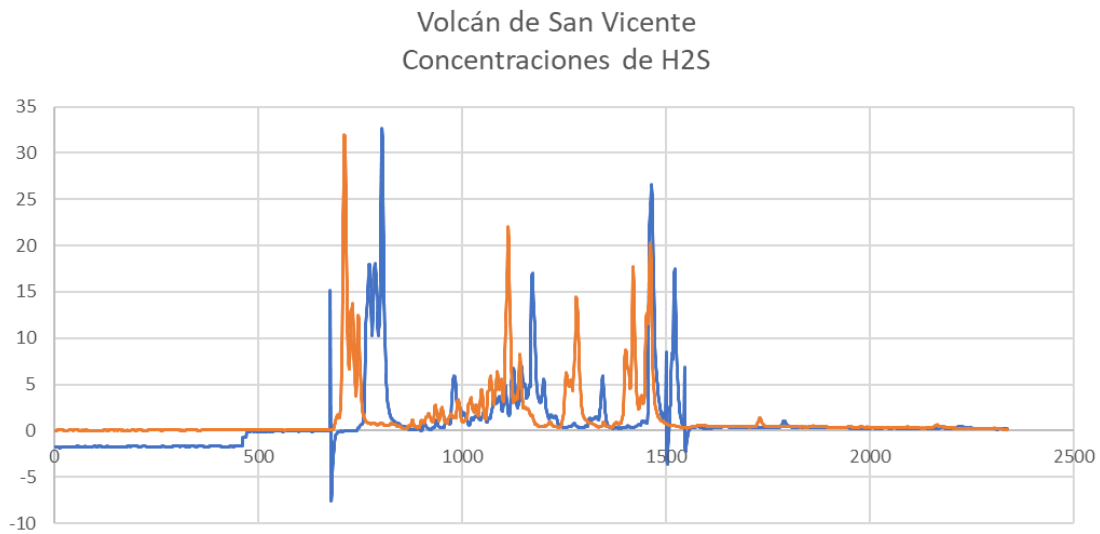
Comparación de emisiones de SO₂ volcán de San Vicente



Nota: Comparación de emisiones de SO₂ volcán de San Vicente, Los infernillos canto de Agua Agria coordenadas 13.6243, -88.8511, gráfica obtenido por MARN Lic. Francisco.

Figura 4.14

Comparación de emisiones de H₂S volcán de San Vicente



Nota: Comparación de emisiones de H₂S volcán de San Vicente, Los infernillos canto de Agua Agria coordenadas 13.6243, -88.8511, gráfica obtenido por MARN Lic. Francisco.

Analizando la tendencia y valor medio de los datos de ambas emisiones para CO₂ se obtuvo un porcentaje de desfase en adelante del 3%, aproximadamente de 70 datos y un porcentaje de error de 20.08% 480 ppmv por debajo en la coincidencia, para SO₂ se obtuvo un 4.28% de desfase de adelante para aproximadamente de 100 datos, un porcentaje de error del 4.29%. Para H₂S un 2.57% un desfase en adelante de 60 datos con una coincidencia con un porcentaje de error de 2.67% valores que se deben en gran medida a la calibración de los sensores, y el retraso en la sensibilidad de los mismo de respuesta, embargo se ha visto una gran mejora en los mismos viéndose disminuido el error y necesario centrar el zero en ambos

Capítulo 5

Conclusiones

- Con la implementación de este equipo de medición se sientan las bases para la construcción de más dispositivos similares, tomando como principal objetivo la mejora continua de estos. Al evaluar nuestra implementación, los resultados de error para CO₂ fueron de 20.08 %, de SO₂ de 4.29 % y para H₂S, mostró porcentaje de error de 2.67 % en la última salida de campo que se desarrolló en los infiernos zona para-central del volcán de San Vicente.
- La comparación de ambos casos muestra que el error se debe en gran medida a la calibración de los sensores, y el retraso en respuesta a la sensibilidad electrónica. Sin embargo, se ha visto una gran mejora en los resultados.
- Con la implementación de este equipo de medición se sientan las bases para la construcción de más equipos de medición similares al construido en este proyecto, tomando como principal objetivo la mejora continua de estos, remarcando su utilidad e importancia en el monitoreo volcánico del país.
- Es necesario ajustar la sensibilidad de los sensores para mejorar la toma de datos y centrar el zero utilizando la técnica propuesta por los creadores del sensores repetidas veces.
- Con la finalización de este proyecto se logró adaptar el mecanismo de funcionamiento de un analizador de CO₂ de cámara de infrarrojos a las necesidades de medición de los sensores H₂S y SO₂.
- El prototipo construido aun es una versión preliminar y esta sujeta a mejoras cumple con la respuesta esperada en los resultados que han sido favorables a medida que ajusto en cada toma de datos de campo y a medida que se realizaban mas ensayos.
- Llevar a cabo este proyecto puede resultar muy costoso pero bastante accesible en las implementaciones deseadas ya que la cámara infrarroja al ser bastante conocida y utilizada en la industria cuenta con documentación útil para trabajarla en distintos ámbitos de estudios ecológicos.
- La actividad volcánica, es sin duda alguna, un evento que ningún grupo de investigación debería pasar por alto. La historia nos ha demostrado que han existido una infinidad

de catástrofes producidas por estos colosos, que, si bien, es imposible predecir con exactitud (y mucho menos evitar), han cobrado consigo las vidas de muchas familias, la salud de otros, y las tierras de muchas poblaciones.

- Este tipo de proyecto ayuda a la monitorización constante de cualquier volcán, ya que es una aplicación escalable y de fácil implementación; lo cual genera que el análisis de volcanes se pueda extender a lo largo del país, y así poder estar sabedores de cualquier anomalía, y tomar pronta acción para salvar la mayor cantidad de vidas posible.
- Por el rendimiento de los resultados obtenidos podemos decir que si bien los volcanes se encuentran activos, gozan de un comportamiento saludable que por el momento y no son posible riesgo en los próximos 10 años, aunque por su naturaleza aun es susceptible a que este resultado cambio debido a aspectos externos como el mismo movimiento de placas.

5.1. Presupuesto de construcción

Para poder elaborar un proyecto similar utilizando los componentes de este prototipo a continuación se muestra una tabla de presupuesto aproximado de gasto estos pueden cambiar en función del tiempo, en que se realice ya que la tecnología sigue avanzando lo que puede dificultar la obtención o facilitar la misma como vemos en la tabla 5.1.

Tabla 5.1

Presupuesto de los componentes utilizados

No	Item	Vendor	Qty	Precio
1	PP systems SBA-5 CO ₂ analyzer	PP Systems https://ppsystems.com/	1	\$1125
2	City Tech SO ₂ sensor	McNeill International	1	\$803
3	City Tech H ₂ S sensor	McNeill International,	1	\$803
4	Montaje de impresión 3D	fiLAB	1	\$15
5	Chasis de Aluminio	Chatarrería El Slavador	1	\$25
6	Accesorio de tubo unión de 1/4"	US plastics	4	\$9.64
7	Tapón roscado de 1/4-28 UNF	US plastics	5	\$1.55
8	Tornillos	vidri el salvador	50	\$3.16
9	CR-300 datalogger	campell	1	\$750
10	GPS garmin 18x	amazon	1	\$85.66
11	Borrera	custom USGS / Controltek	2	\$5.99
12	Silicone	various	1	\$1.5
13	Cinturones seguridad, 12" y 15"	amazon	2	\$14.5
14	Charger LiFePO4 battery	batteryspace.com	1	\$22.5
15	1/8" conectores de polipropileno	amazon	5	\$6.99
16	1/8" polypropylene connectors en L	amazon	2	\$6.99
17	1/4" OD, 1/8" ID resistente tygon tubing	amazon	10'	\$9.49
18	Cinta de doble bloqueo	amazon	1	\$15.99
19	terminales TB1502	amazon	1	\$6.12
20	Arandelas con dientes internos	Vidri	8	\$1.14
21	particle filter	common lab supplies	1	\$79.95
22	LiFePO4 Battery	www.batteryspace.com	1	\$79.99
23	Tubo de silicone 3/16"	amazon	3 pies	\$8.24
24	LiFePO4 Battery charger	www.batteryspace.com	\$1	\$25
25	Antrader DB9 RS232	amazon	1	\$7.99
26	convertidor oki 78SR-5/1.5-W36C	amazon	1	\$11.99
27	7/16" Broca de taladro	freund	1	\$7.60
28	Pelican Storm case iM2050	Amazon	1	\$119.95
Total				\$4052.93

5.2. Resumen de software utilizado

En esta sección se detalla los software mas importantes utilizados.

Tabla 5.2

Software de diseño

Software	Descripción
PC400	Software de programación CRBasic
FRONT PANEL DESIGNER	Diseño de Láminas de metal
Autodesk Fusion	Diseño de impresión 3D
Autodesk Eagle	Diseño de circuitos eléctricos
Loggernet	Aplicación de conexión con CR300
Gas	Programa de configuración SBA-5
G5PCApp	Programa de actualización SBA-5
SNSRXCFG_350	Programa de configuración GPS 18x
Putty	Super terminal para comunicación serial GPS

5.3. Multi-GAS – Parámetros de Rendimiento

En esta sección se detallan el rendimiento energético del equipo estación Multigas.

Consumo eléctrico

Standby : 24 mAh

Adquisición en modo permanente: 550 mAh

Adquisición en modo portátil (con WIFI): 650 mAh

Horas del MultiGAS

Tiempo GMT

Tabla 5.3

Tiempo de operación

Ejemplos	t_{adq} (h/d)	$t_{standby}$ (h/d) $\frac{24h - T_{adq}}{24}$	Consumo eléctrico t_{adq} por día (mAh)	Consumo eléctrico $t_{standby}$ por día(mAh)	Consumo eléctrico total por día (mAh)	Consumo eléctrico total 7 días (mAh)
30 min de adquisición cada 6h	$(24h/6h) \times 0.5h$ = 2h	24h-2h =22h	2x550mAh =1100mAh	22 x 24 mAh = 528 mAh	1100 + 528 = 1628 mAh	7 x 1628 mAh = 11396mAh
30 min adquisición cada 2h	$(24h/6h) \times 0.5h$ =6h	24h-6h =18h	6x550mAh =3300mAh	18x24mAh =432mAh	3300+432 =3732mAh	7x3732mAh =26124 mAh

Nota: Tabla del consumo eléctrico del dispositivo.

Haciendo uso de los datos obtenidos de la tabla 5.3 y la calculadora de vida útil de obtenida en (Digikay, 2024). Para:

Capacidad: 6Ah

Consumo del Dispositivo: 3300mAh

Vida estimada de la batería: 1.818 Horas

Glosario

- IRGA: Infra Red Gas Analyzer (Analizador de gases por infrarrojos)
- Comunicación inalámbrica: es aquella en la que la comunicación (emisor/receptor) no se encuentra unida por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. En este sentido, los dispositivos físicos solo están presentes en los emisores y receptores de la señal, entre los cuales se encuentran antenas, computadoras portátiles, PDAs, teléfonos móviles, etcétera.
- Concentración de gas: la cantidad de gas que se queda en la atmósfera después de las complejas interacciones que tienen lugar entre la atmósfera, la biosfera, y los océanos. Existen varias formas de expresar concentraciones. En gases las más utilizadas son %v/v (porcentaje en volumen), mg/L, g/m³, ug/mL y umol/mol.
- Dióxido de carbono (CO₂): es un compuesto de carbono y oxígeno que existe como gas incoloro en condiciones de temperatura y presión estándar. Está íntimamente relacionado con el efecto invernadero.
- El ácido sulfhídrico (H₂S): es un gas incoloro inflamable, de sabor algo dulce y olor a huevos podridos; en altas concentraciones puede ser venenoso. Otros nombres con los que se conoce incluyen ácido hidrosulfúrico, gas de alcantarilla y sulfuro de hidrógeno. Generalmente se puede detectar el olor a bajas concentraciones en el aire, entre 0.0005 y 0.3 partes por millón (ppm) (0.0005 a 0.3 partes de ácido sulfhídrico en 1 millón de partes de aire).
- Dióxido de azufre (SO₂): es una forma gaseosa de contaminación del aire, hecha de dos componentes: azufre y oxígeno. Esto se forma cuando se queman combustibles ricos en azufre, como el petróleo, el diésel o el carbón. El dióxido de azufre ya existe en la composición del aire, pero debido a sus diversas fuentes naturales y artificiales, la concentración de SO₂ puede aumentar, lo que provoca efectos graves en los seres humanos, las plantas y todo el ecosistema.
- Flujo de gas: describe cualquier efecto que parece pasar o viajar a través de una superficie o sustancia, esta sustancia que fluye va descrita a la de un gas.
- Fractura geológica: se entiende por fractura cualquier superficie de discontinuidad producida por la rotura de una masa rocosa (deformación frágil). Hay dos tipos principales de fracturas: las fallas y las diaclasas.

- **Monitoreo:** es un proceso permanente que consiste en revisar el cumplimiento de las actividades programadas y si con esas actividades estamos alcanzando las metas propuestas.
- **Monitoreo volcánico:** Consiste en registrar y conocer la dinámica del volcán a partir de los diferentes tipos de sismos asociados al fracturamiento de rocas (sismo volcánico – tectónicos), ascenso y acumulación de magma y gases (sismo tipo largo periodo, explosión) que ocurren en el interior de la estructura volcánica.
- **Salida de campo:** método tradicional de la geología apoyados con equipos de ensayo y almacenaje de información adaptados a cada trabajo concreto utilizados por técnicos especializados. Se hace la toma de muestras y realización de ensayos.
- **Sensor:** son herramientas que detectan y responden a algún tipo de información del entorno físico. es un dispositivo que detecta el cambio en el entorno y responde a alguna salida en el otro sistema. Un sensor convierte un fenómeno físico en un voltaje analógico medible (o, a veces, una señal digital) convertido en una pantalla legible para humanos o transmitida para lectura o procesamiento adicional
- **Transmisión de datos:** es el proceso de transmisión de un flujo continuo de datos (también conocidos como flujos) que generalmente se introducen en el software de procesamiento de flujos para obtener información valiosa. Un flujo de datos consta de una serie de elementos de datos ordenados en el tiempo.
- **Vulcanología:** es la rama de la geología que estudia el vulcanismo y todas sus manifestaciones, como volcanes, géiseres, fumarolas, erupciones volcánicas, magmas, lavas, tefras, etc... Los vulcanólogos visitan frecuentemente los volcanes terrestres, en especial los que están activos, para observar las erupciones y recoger restos volcánicos como la tefra (ceniza o piedra pómez), rocas y muestras de lava.
- **CRBasic es el editor:** de programas usado para escribir programas para el CR300. Se puede ejecutar desde la barra de aplicaciones de LoggerNet o PC400.
- **Fumarola:** Grieta de la tierra por donde salen gases sulfurosos o vapores de agua cargados de algunas otras sustancias.
- **Baud rate:** tasa de transferencia define cómo de rápido son transmitidos los datos en una línea serie. Suele expresarse en bits por segundo (bps) o baudios. Si hacemos la inversa de la tasa de transferencia, obtenemos el tiempo necesario para transmitir un simple bit.
- **mbar:** El milibar (mbar) es una unidad de presión equivalente a una milésima parte del bar, un bar es igual a 1000 (mil) milibares. Es una de las unidades científicamente aceptadas para medir el peso de la atmósfera (o presión ejercida por la atracción gravitatoria) sobre la superficie terrestre.
- **Data logger:** es un grabador independiente típicamente pequeño y relativamente económico que monitorea y registra datos en tiempo real, tales como voltaje, temperatura y

corriente. Se elige un registrador de datos en lugar de un sistema de adquisición de datos cuando la aplicación no requiere grabación de alta velocidad, pero sí requiere tiempos de grabación prolongados.

- TXD: abreviatura de Transmit Data (transmisión de datos) , es la línea o cable para transmitir datos de un dispositivo a otro. Por ejemplo, en un puerto serial , el pin 3 es TxData , que es el pin de transmisión de datos.
- RXD: El módulo que comunica con la aplicación del cliente utilizando las siguientes señales: Puerto RS-232 /TXD la aplicación envía datos a la línea de señal del módulo Aplicación.
- GPS: El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de radionavegación de los Estados Unidos de América, basado en el espacio, que proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo.
- EDM: Medición Electrónica de Distancias (EDM) es un método para determinar la longitud entre dos puntos mediante ondas electromagnéticas. La EDM se realiza habitualmente con instrumentos digitales llamados teodolitos . Los instrumentos EDM son equipos de medición.
- IGN: El Instituto Geográfico y del Catastro Nacional (también conocido como IGN) es la agencia cartográfica nacional de El Salvador. El instituto es la institución encargada de gestionar la información geográfica, cartográfica y catastral del país.
- CDM: Connected Device Management (CDM) son plataformas de software, que se utiliza para gestionar la conexión entre los productos inteligentes conectados entre si como son las máquinas que trabajan en los procesos industriales y otros niveles superiores de la arquitectura como son los sistemas de análisis de datos
- SDM: Synchronous Device for Measurement(SDM) expanden la capacidad del datalogger en cuanto a medidas, puertos de control digital y canales de salida analógicos. Son dispositivos que tienen su propio direccionamiento, de forma que en el mismo datalogger pueden conectarse varios de ellos forma simultánea.
- M2M: es un acrónimo que significa "machine to machine." "máquina a máquina" por su traducción literal al español. Su concepto engloba a toda aquella tecnología que admita el intercambio de información entre dispositivos, es decir, que envíen datos y se comuniquen.
- PakBus Roating Service: es servicio independiente y está diseñado para ayudar a aliviar algunos de los dolores de cabeza que generan las comunicaciones de datos móviles/celulares dinámicos.
- OD: Diámetro externo
- ID: Diámetro interno

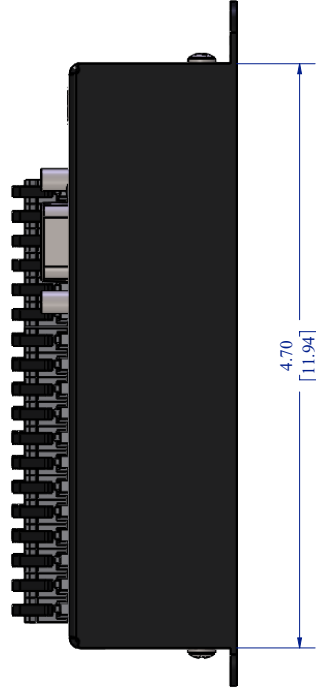
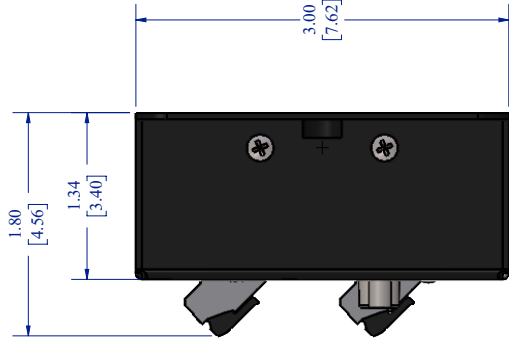
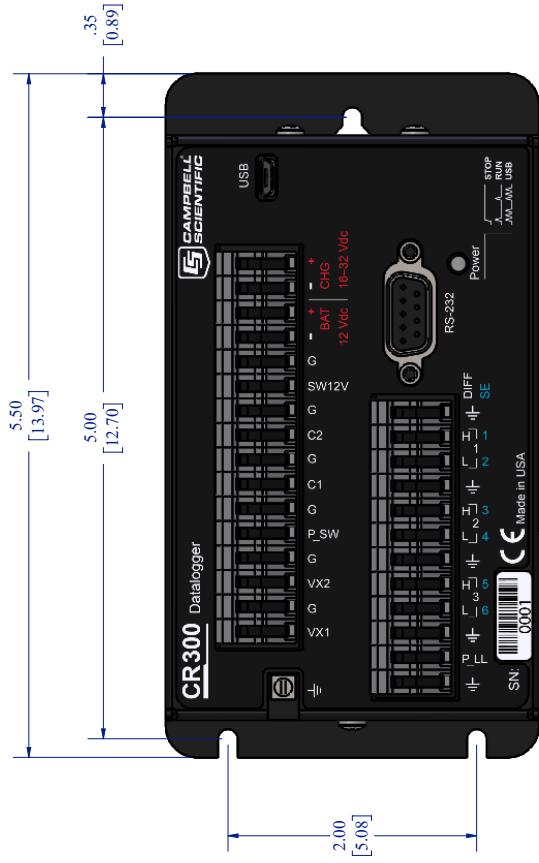
Referencias

- Andrews, R. (2023). *Programación de un registrador de datos cr1000*. Kingston, Canadá: Appropedia. Descargado de https://www.appropedia.org/Programming_a_CR1000_Datalogger/es
- Autodesk. (2024). *Autodesk fusion: More than cad, it's the future of design and manufacturing*. Autodesk fusion 360. Descargado de <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Brailsofort, C. (2018). Instruction sheet-series td-2 pumps [Manual de software informático]. Instruction Braifolrd Company.
- Campbell, S. (2006). Manual curso cr1000 loggernet [Manual de software informático]. [dokumen_tips_curso_cr1000_loggernet_cast.pdf](https://www.campbellsci.com/dokumen_tips_curso_cr1000_loggernet_cast.pdf). Autor.
- Campbell, S. (2021a). Pc400 datalogger support software version 4.7 [Manual de software informático]. [pc400 - 106.pdf](https://www.campbellsci.com/pc400). Autor. Descargado de <https://www.campbellsci.com/pc400>
- Campbell, S. (2021b). *Pc400 software nivel intermedio para datalogger*. Autor. Descargado de <https://www.campbellsci.com/pc400>
- Campbell, S. (2022). *Crbasic help*. Campbell. Descargado de <https://help.campbellsci.com/crbasic/cr6/>
- Campbell, S. (2023). Series compact datalogger manual cr300 [Manual de software informático]. [CampbellCR300.pdf](https://www.campbellsci.com/cr300.pdf). USA: Autor.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, C. (2006). *Norma nso 13.11.01:01 salvadoreña*. Calidad del aire ambiental - Inmisiones atmosféricas.pdf. Colonia Médica, Avenida Dr. Emilio Alvarez, Pasaje Dr. Guillermo Rodríguez Pacas, No.51, San Salvador, El Salvador, Centro América. Descargado de info@conacyt.gob.sv
- Control, A. M. (2024). *Comunicación rs-232*. Programming Interface Fusion API & User's Manual. 3805 Calle Tecate, Camarillo, CA 93012 USA: Autodesk fusion 360. Descargado de <https://www.a-m-c.com/es/experiencia/technologies/peripheral-interface/rs-232/>
- de El Salvador, M. d. T. (2014). *Volcán de santa ana - ilamatepec*. El Salvador travel. Descargado de <https://elsalvador.travel/destination/santa-ana-volcano-ilamatepec/>
- de Ventilación SLU, S. S. (2019, may). *Velocidad del aire*. Descargado de <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-velocidad-del-aire/>
- Digikey. (2024). *Calculador de vida útil de una batería*. <https://www.digikey.com/es/resources/conversion-calculators/conversion-calculator-battery-life>.
- ElSalvadorEsBello. (2021). *Ecoparque el espinó, el salvador*. El Salvador es Bello Artículo. Descargado de <https://elsalvadoresbello.com/ecoparque-el-espinó-santa-tecla-el-salvador/>
- en popa 365, V. (2021). *Escala beaufort. la intensidad del viento*. info@vientoenpopa365.com. Descargado de <https://www.vientoenpopa365.com/escala-beaufort/>

- Express, P. (2024). *DiseÑador del panel frontal*. Info@frontpanelexpress.com. Descargado de <https://www.frontpanelexpress.com/front-panel-designer#download>
- Flowers, G. C. (1979). *Correction of holloway's (1977) adaptation of the modified redlich-kwong equation of state for calculation of the fugacities of molecular species in supercritical fluids of geologic interest*. Berkeley, California 94720, USA: Department of Geology and Geophysics, University of California. Flowers1979_Article_CorrectionOfHollowayS1977Adapt.pdf.
- Go, S. (2024). *Monitoreo de la humedad y temperatura: Beneficios y usos*. Prol. Paseo de la Reforma 61. Int. 6B1, Paseo de las Lomas Álvaro Obregón, CDMX: ventas@sensorgo.mx. Descargado de <https://sensorgo.mx/monitoreo-de-humedad/>
- González, J. (2003). *Cuaderno técnico i: Comunicaciones serie (hw)*. IA Robotic. Descargado de <http://www.iearobotics.com/proyectos/cuadernos/ct1/ct1.html>
- INGEMMET, O. V. (2022). *Sector energías y minas*. <http://ovi.ingemmet.gob.pe/>
- Jennifer Mejia, M. M. (2023). *Thermal activity monitoring of san vicente volcano using landsat 8 paper conescapan*. UES.
- Kelly, P. (2019). *Configuring sba-5 co2 pp systems* [Manual de software informático]. 20190616 Configuring SBA_5.pdf. MARN ARCHIVES RECOLLECTION US.
- LAMBERTI, M. C. I. (2018). *Estudio de las emisiones difusas de dióxido de carbono en los complejos volcánicos copahue – caviahue y planchón – peteroa*, publisher = universidad de buenos aires facultad de ciencias exactas y naturales departamento de ciencias geológicas. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n6935_Lamberti.pdf.
- Lockinc. (2024). *Greenfeed standard calibrations, co2 recoveries, and auto-recoveries*. Standard Calibrations CO2 Recovies and Auto Recoveries.pdf.
- M., A. (2023). *Fusion 360: todo lo que necesitas saber sobre el software 3d*. 3D natives. Descargado de <https://www.3dnatives.com/es/fusion-360-software-290420202/#!>
- RJ, S. (2017). *Sincronización de ntpd con un garmin gps 18 lvc a través de gpsd*. Programming Interface Fusion API & User's Manual. RJ SYSTEM. Descargado de <https://www.rjsystems.nl/en/2100-ntpd-garmin-gps-18-lvc-gpsd.php>
- SNET, G. S. (2018). *Programa de vigilancia*. <https://www.snet.gob.sv/ver/vulcanologia/vigilancia/programa+de+vigilancia/>.
- S&P. (2024). *Humedad relativa, específica y absoluta*. Sistemas de Ventilación SLU. Descargado de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-relativa-especifica-absoluta/>
- SYSTEM, P. (2015). *Sba-5 co2 analyzer manual* [Manual de software informático]. 800811-SBA5.Operation.V106.pdf. Autor.
- SYSTEM, P. (2018). *Firmware upgrade for generation 5 products using the g5pcapp* [Manual de software informático]. 80142-1 Firmware Upgrade with G5PcApp Software.V1.0.pdf.
- Tecnology, C. (2015). *Standard 4-20 ma transmitter* [Manual de software informático]. OP12- Standard 4-20mA Transmitter (Toxic CiTiceLs).pdf.
- topographic map.com. (2019). *Mapa topográfico del mundo*. Descargado de <https://es-es.topographic-map.com/map/>
- turismoesa. (2014). *Los infiernillos*. Ruta de los ausoles. Descargado de <https://descubreelsalvador.wordpress.com/2014/11/18/los-infiernillos/>

- UNLP. (2021). *Tp medición de intercambio de gases: metodología irga*. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/104082/mod_resource/content/1/TP%20IRGA%202021.pdf .
- Valderrama, J. (2024). *Ecuación de estado redlich–kwong*. Wikipedia. Descargado de https://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaci%C3%B3n_de_estado_Redlich%E2%80%93Kwong
- Wafer Sensor, I. (2021, 6). *Design and implementation of an iot based lpg and co gases monitoring system*. AIRCC Publishing Corporation. Descargado de <https://aircconline.com/csit/papers/vol11/csit110803.pdf>
- Zaldívar, C. A. H. Z. A. H. (2024). *Toma de emisiones de co₂ cerro de la olla ecoparque el espino*. Calidad del aire ambiental - Inmisiones atmosfericas.pdf. Descargado de https://www.linkedin.com/posts/c%C3%A9sar-alexander-herrera-zald%C3%ADvar-12b385218_censodepoblaciaejnyvivienda-activity-7216913716217298944-sx_Q/

Anexos



© 2018 CAMPBELL SCIENTIFIC, INC.
 THIS DRAWING CONTAINS THE
 TRADE SECRETS OF CAMPBELL SCIENTIFIC, INC.
 THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF
 CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. ANY
 REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE
 WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF
 CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. IS PROHIBITED.

MEASUREMENT AND CONTROL DATALOGGER

CR300



SCALE 1:1

UNITS: IN

6/27/2019

SBA-5

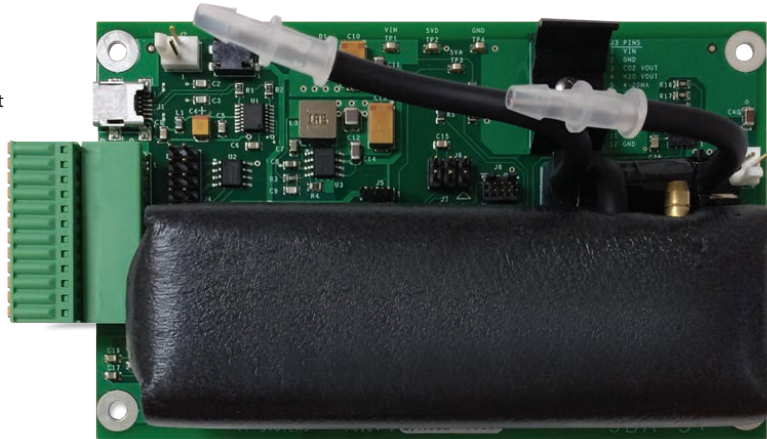
CO₂ Gas Analyzer

With Optional H₂O Measurement

The SBA-5 is designed for accurate, reliable and continuous measurement of CO₂. It is extremely easy to set up and integrate into your instrument or it can be used as a stand-alone gas analyzer. The SBA-5 features our innovative “Auto-Zero” technology ensuring long term stability, accuracy and calibration. The SBA-5 requires minimal maintenance without the need for factory recalibration that saves both time and money.

Product Features

- High precision, compact, non-dispersive infrared gas analyzer for CO₂
- Accuracy: < 1% over calibrated CO₂ range
- CO₂ ranges up to 100000 ppm (10%)
- Automatic pressure and temperature compensation
- Operation from 6-18 VDC power supply
- Small footprint (12 cm L x 3.5 cm H x 7.5 cm W)
- Powerful **GAS** software package
- Analog and digital output
- Low power consumption
- Low cost
- Available options include:
 - H₂O sensor (Solid state)
 - Sampling pump
 - Absorber column (for Zero)
 - Enclosure



User Programmable

A perfect solution for custom applications and for users that demand accuracy, reliability and long term stability



The SBA-5 can be supplied in a rugged, anodized, aluminum enclosure with convenient USB port, gas connections and terminal block for sensor inputs/outputs.

Applications

- Plant growth chambers
- Environmental control rooms
- Incubators
- Fruit storage
- FACE sites
- Breweries
- Indoor air quality and safety
- Industrial monitoring
- CO₂ leakage detection
- Oceanography
- Ambient air monitoring

Product Data Sheet

Product Datasheet

T3H Hydrogen Sulfide Transmitter

Document Purpose

The purpose of this document is to present the performance specification of the T3H transmitter.

This document should be used in conjunction with Operating Principles (OP12) and the Product Safety Datasheet (PSDS 5).

The data provided in this document are valid at 20°C, 50% RH and 1013 mBar for 3 months from the date of sensor manufacture. For guidance on sensor performance outside of these limits, please refer to the Operating Principles.

Output signal can drift below the lower limit over time. For guidance on the safe use of the sensor, please refer to the Operating Principles.

Product Data Sheet

- Key Features & Benefits:**
- Robust 3-Series packaging
 - Industry standard 4-20 mA output

Technical Specifications

MEASUREMENT

Sensor Type Used	3H
Filter	None
Output	4-20 mA d.c.
Response Time (T ₉₀)*	<35 Seconds at 20°C
Resolution	0.25 ppm
Zero Shift (-20°C to +40°C)	< 2 ppm equivalent
Repeatability	1% of signal
Linearity	Linear

ELECTRICAL

Power Supply Required	10 - 35 VDC single-ended
Output Impedance	4 MΩ
Calibration	Via built-in span and zero potentiometers

MECHANICAL

Mounting	Via mounting nose supplied
Weight	58 g including mounting accessory
Position Sensitivity	None

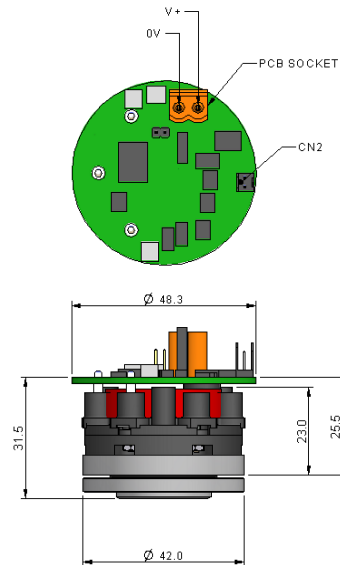
ENVIRONMENTAL

Operating Temperature Range	-20°C to +50°C
Recommended Storage Temp	0°C to 20°C
Temperature Compensation	None
Operating Pressure Range	Atmospheric ± 10%
Pressure Coefficient	0.008 ± 0.002% signal/mbar
Operating Humidity Range	15 - 90% RH non-condensing

LIFETIME

Long Term Sensitivity Drift*	<2% signal loss/month
Expected Operating Life	Two years in air
Storage Life	6 months in CTL container

Product Dimensions



All dimensions in mm

All tolerances ±0.15 mm unless otherwise stated

RANGES AVAILABLE

3H CiTiceL 4-20 mA Transmitters are available with the following precalibrated ranges, and can be recalibrated to intermediate ranges.

Range	Order Code
0-5 ppm	TC4A-1A
0-10 ppm	TC4B-1A
0-20 ppm	TC4C-1A
0-30 ppm	TC4D-1A
0-50 ppm	TC4E-1A
0-100 ppm	TC4F-1A
0-200 ppm	TC4G-1A
0-300 ppm	TC4H-1A

* Specifications are valid at 20°C, 50% RH and 1013 mBar, using City Technology recommended circuitry. Performance characteristics outline the performance of sensors supplied within the first 3 months. Output signal can drift below the lower limit over time.

Product Data Sheet

Poisoning

CiTiceLs are designed for operation in a wide range of environments and harsh conditions. However, it is important that exposure to high concentrations of solvent vapours is avoided, both during storage, fitting into instruments and operation.

When using sensors with printed circuit boards (PCBs), degreasing agents should be used before the sensor is fitted. Do not glue directly on or near the CiTiceL as the solvent may cause crazing of the plastic.

Cross Sensitivity Table

Whilst CiTiceLs are designed to be highly specific to the gas they are intended to measure, they will still respond to some degree to various other gases. The table below is not exclusive and other gases not included in the table may still cause a sensor to react.

IMPORTANT NOTE : The cross sensitivity data shown below does not form part of the product specification and is supplied for guidance only. Values quoted are based on tests conducted on a small number of sensors and any batch may show significant variation. For the most accurate measurements, an instrument should be calibrated using the gas under investigation.

Gas	Concentration Used (ppm)	3H (ppm H ₂ S)
Carbon Monoxide, CO	300	<6
Sulfur Dioxide, SO ₂	5	<1
Nitric Oxide, NO	35	0
Nitrogen Dioxide, NO ₂	5	≈ -1
Chlorine, Cl ₂	1	≈ -0.1
Hydrogen, H ₂	10,000	<15
Hydrogen Cyanide, HCN	10	0
Hydrogen Chloride, HCl	5	0
Ethylene, C ₂ H ₄	100	0

SAFETY NOTE

This sensor is designed to be used in safety critical applications. To ensure that the sensor and/or instrument in which it is used, are operating properly, it is a requirement that the function of the device is confirmed by exposure to target gas (bump check) before each use of the sensor and/or instrument. Failure to carry out such tests may jeopardize the safety of people and property.

Every effort has been made to ensure the accuracy of this document at the time of printing. In accordance with the company's policy of continued product improvement City Technology Limited reserves the right to make product changes without notice. The products are always subject to a programme of improvement and testing which may result in some changes in the characteristics quoted. As the products may be used by the client in circumstances beyond the knowledge and control of City Technology Limited, we cannot give any warranty as to the relevance of these particulars to an application. It is the clients' responsibility to carry out the necessary tests to determine the usefulness of the products and to ensure their safety of operation in a particular application.

Product Data Sheet

Product Datasheet

3STF Sulfur Dioxide Sensor

Document Purpose

The purpose of this document is to present the performance specification of the 3STF Sulfur Dioxide gas sensor.

This document should be used in conjunction with the Operating Principles (OP08) and the Product Safety Datasheet (PSDS 11).

The data provided in this document are valid at 20°C, 50% RH and 1013 mBar for 3 months from the date of sensor manufacture.

Output signal can drift below the lower limit over time. For guidance on the safe use of the sensor, please refer to the Operating Principles OP08.

Product Data Sheet

- Key Features & Benefits:**
- Robust, 3-Series packaging
 - Range of accessories available

Technical Specifications

MEASUREMENT

Operating Principle	3-electrode electrochemical
Nominal Range	0-100 ppm SO ₂
Maximum Overload	500 ppm SO ₂
Filter	To remove H ₂ S
Sensitivity*	0.37 ± 0.07 µA/ppm
Response Time (T₉₀)*	<50 Seconds
Baseline Offset (clean air)*	-0.25 to +0.5 ppm equivalent
Zero Shift (+20°C to +40°C)	1 ppm equivalent
Resolution	0.5 ppm (electronics dependant)
Repeatability	1% of signal
Output Linearity	Linear

ELECTRICAL

Recommended Load Resistor	10 Ω
Bias Voltage	Not Required

MECHANICAL

Weight	22 g
Orientation	Any

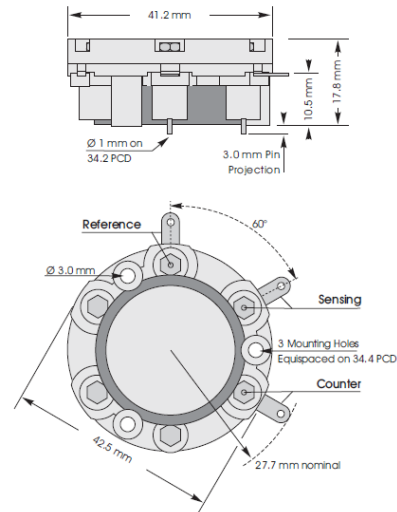
ENVIRONMENTAL

Operating Temperature Range	-20°C to +50°C
Recommended Storage Temp	0°C to 20°C
Operating Pressure Range	Atmospheric ± 10%
Pressure Coefficient	0.015% signal / mbar
Operating Humidity Range	15 - 90% RH non-condensing

LIFETIME

Long Term Sensitivity Drift	<2% signal loss / month
Expected Operating Life	Two years in air
Storage Life	6 months in CTL container

Product Dimensions



All dimensions in mm
All tolerances ±0.15 mm unless otherwise stated
3SH shown with side tags and tin pins

AVAILABLE OPTIONS

Sensor	Description	Part Number
3STF	With side tag and PCB pin connections	AD004-J04
3STF(S)	With side tag connection	AD004-004
3STF(G)	With gold plated PCB pin connection	AD004-304

IMPORTANT NOTE: Soldering to the pin connections will seriously damage the sensor and invalidate the warranty.

* Specifications are valid at 20°C, 50% RH and 1013 mBar, using City Technology recommended circuitry. Performance characteristics outline the performance of sensors supplied within the first 3 months. Output signal can drift below the lower limit over time.

Product Data Sheet

Poisoning

CiTiceLs are designed for operation in a wide range of environments and harsh conditions. However, it is important that exposure to high concentrations of solvent vapours is avoided, both during storage, fitting into instruments and operation.

When using sensors with printed circuit boards (PCBs), degreasing agents should be used before the sensor is fitted. Do not glue directly on or near the CiTiceL as the solvent may cause crazing of the plastic.

Cross Sensitivity Table

Whilst CiTiceLs are designed to be highly specific to the gas they are intended to measure, they will still respond to some degree to various other gases. The table below is not exclusive and other gases not included in the table may still cause a sensor to react.

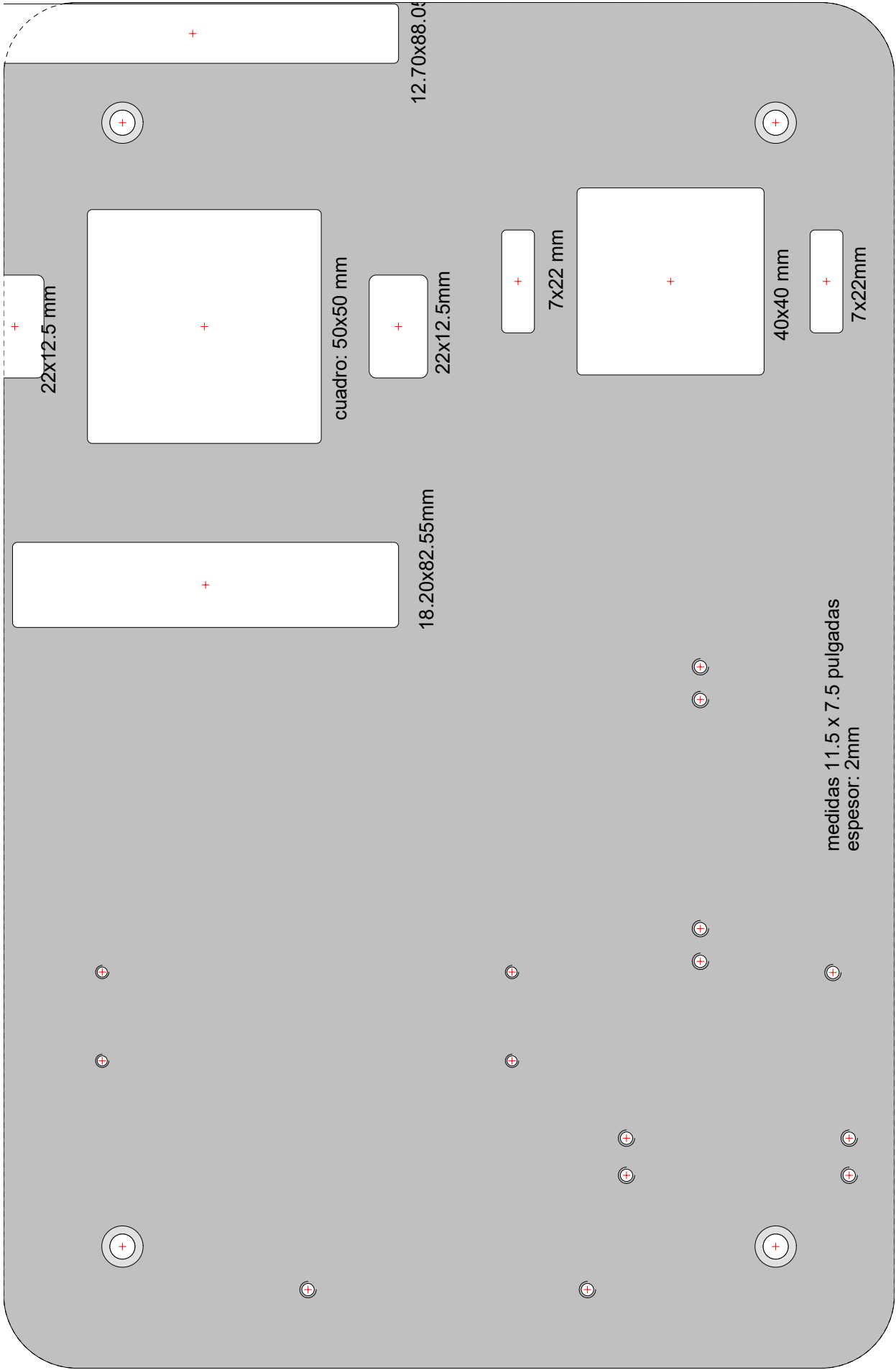
IMPORTANT NOTE : The cross sensitivity data shown below does not form part of the product specification and is supplied for guidance only. Values quoted are based on tests conducted on a small number of sensors and any batch may show significant variation. For the most accurate measurements, an instrument should be calibrated using the gas under investigation.

Gas	Test Gas (ppm)	3STF (ppm SO ₂)
Carbon Monoxide, CO	300	<5
Hydrogen Sulfide, H ₂ S	15	0
Nitric Oxide, NO	35	0
Nitrogen Dioxide, NO ₂	5	-5
Chlorine, Cl ₂	1	< -0.5
Hydrogen, H ₂	100	0
Hydrogen Cyanide, HCN	10	<5
Hydrogen Chloride, HCl	5	0
Ethylene, C ₂ H ₄	100	0

SAFETY NOTE

This sensor is designed to be used in safety critical applications. To ensure that the sensor and/or instrument in which it is used, are operating properly, it is a requirement that the function of the device is confirmed by exposure to target gas (bump check) before each use of the sensor and/or instrument. Failure to carry out such tests may jeopardize the safety of people and property.

Every effort has been made to ensure the accuracy of this document at the time of printing. In accordance with the company's policy of continued product improvement City Technology Limited reserves the right to make product changes without notice. The products are always subject to a programme of improvement and testing which may result in some changes in the characteristics quoted. As the products may be used by the client in circumstances beyond the knowledge and control of City Technology Limited, we cannot give any warranty as to the relevance of these particulars to an application. It is the clients' responsibility to carry out the necessary tests to determine the usefulness of the products and to ensure their safety of operation in a particular application.



1.5.3 GPS 18x LVC, GPS 18x LVC-5m, and GPS 18x-5Hz

These products interface to a serial port. The units accept TIA-232-F (RS-232) level inputs and transmit voltage levels that swing from ground to the positive supply voltage, TIA-232-F (RS-232) polarity. They also have reverse polarity protection. The cable contains wires for power, ground, receive, transmit, and measurement pulse output.



At the end of the cable, the wires are terminated in a connector that is used by Garmin for testing purposes. Most customers will remove this connector and replace it with another connector of their own choosing. Removing the factory installed connector and/or replacing with another customer-supplied connector will have no effect on the warranty (see section 1.2 Limited Warranty). The factory-installed connector will mate with JST right-angle PCB-mount connector (model BM06B-SRSS-TBT) or side-entry PCB-mount connector (model SM06B-SRSS-TB). You may obtain technical information on these PCB-mount mating connectors from the JST Web site: www.jst.com.

Note: Unless otherwise specified, all references to the GPS 18x LVC also include the GPS 18x LVC-5m.

1.6 TECHNICAL SPECIFICATIONS

Specifications are subject to change without notice.

1.6.1 Physical Characteristics

1.6.1.1 Size

61 mm (2.4 inches) in diameter and 19.5 mm (0.77 inches) in height

1.6.1.2 Weight

- GPS 18x USB: 3.7 oz (105 g)
- GPS 18x PC: 6.3 oz (180 g)
- GPS 18x LVC-5m (5 meter cable): 5.6 oz (160 g)
- GPS 18x-5Hz (5 meter cable): 5.8 oz (165 g)

1.6.1.3 Color

Black

1.6.1.4 Case Material

Polycarbonate thermoplastic that is waterproof to IEC 60529 IPX7 level (immersion in 1 meter of water for 30 minutes)

1.6.1.5 Cable Length

- GPS 18x USB: 2 meter
- GPS 18x PC: 2 meter
- GPS 18x LVC: 5 meter (Garmin Part Number 010-00321-36)
- GPS 18x-5Hz: 5 meter

1.6.2 Electrical Characteristics

1.6.2.1 Input Voltage

- GPS 18x USB: 4.4–5.5 Vdc
- GPS 18x PC: 8–30 Vdc (Automotive supply from cigarette lighter jack)
- GPS 18x LVC: 4.0–5.5 Vdc
- GPS 18x-5Hz: 4.0–5.5 Vdc

1.6.2.2 Input Current

- GPS 18x USB: 110 mA @ 5.0 Vdc
- GPS 18x PC: 65 mA @ 12 Vdc

- GPS 18x LVC: 90 mA @ 5.0 Vdc
- GPS 18x-5Hz: 100 mA @ 5.0 Vdc

1.6.2.3 CMOS Serial Output Levels

- GPS 18x PC: 0 Vdc to 5 Vdc (Asynchronous Serial, TIA-232-F (RS-232) Compatible Polarity)
- GPS 18x LVC and GPS 18x-5Hz: 0 Vdc to V_{in} , between 4 and 5.5 Vdc (Asynchronous Serial, TIA-232-F (RS-232) Compatible Polarity)

1.6.2.4 GPS Receiver Sensitivity

-185 dBW minimum

1.6.2.5 Environmental Characteristics

- Operating Temperature: -30°C to +80°C (-22°F to +176°F)
- Storage Temperature: -40°C to +90°C (-40°F to +194°F)

1.6.3 GPS Performance

1.6.3.1 Receiver

WAAS enabled GPS receiver continuously tracks and uses multiple satellites to compute and update your position.

1.6.3.2 Acquisition Times

- Reacquisition: Less than 2 seconds
- Hot: Approx. 1 second (all data known)
- Warm: Approx. 38 seconds (initial position, time, and almanac known; ephemeris unknown)
- Cold: Approx. 45 seconds

1.6.3.3 Update Rate

- GPS 18x USB, PC, and LVC: 1 record per second
- GPS 18x-5Hz: 5 records per second

1.6.3.4 Accuracy

- GPS Standard Positioning Service (SPS)
Position: < 15 meters, 95% typical
Velocity: 0.1 knot RMS steady state
- WAAS
Position: < 3 meters, 95% typical
Velocity: 0.1 knot RMS steady state
- Measurement Pulse Output Time: ± 1 microsecond at rising edge of the pulse
- Dynamics: 999 knots velocity (only limited at altitude greater than 60,000 feet), 2g dynamics

1.6.4 Interfaces

1.6.4.1 GPS 18x Electrical Characteristics

- GPS 18x USB: USB 2.0 full-speed protocol compatible, as well as USB 1.1 full-speed protocol.
- GPS 18x PC and LVC: TIA-232-F (RS-232) compatible asynchronous receiver. Default setting is 4800 baud.
- GPS 18x-5Hz: TIA-232-F (RS-232) compatible asynchronous receiver. Default setting is 19200 baud.

1.6.4.2 Garmin Interface and Garmin USB Protocol

Refer to the *Garmin Device Interface Specification* found in the Garmin Device Interface SDK for information about the Garmin Interface and the Garmin USB Protocol. At the time of this publication, this document is located on the Garmin Web site at <https://www8.garmin.com/support/commProtocol.html>.

See [Appendix B: Garmin Binary Output Format](#) for additional information concerning access to binary data from the GPS 18x USB.

1.6.4.3 GPS 18x PC, GPS 18x LVC, & GPS 18x-5Hz Protocols

- NMEA 0183 Version 2.0 or NMEA 0183 Version 2.30 (Version 2.0 is factory default, programmable by data field 7 of the PGRMC1 sentence described in section [4.1.4 Additional Sensor Configuration Information \(PGRMC1\)](#)).
- Available NMEA 0183 output sentences include GPALM, GPGGA, GPGSA, GPGSV, GPRMC, GPVTG, GPGLL, PGRME, PGRMF, PGRMID, PGRMM, PGRMT, PGRMV, and PGRMB (Garmin proprietary sentences). See section [4.2 Transmitted NMEA 0183 Sentences](#) for format descriptions.
- Configuration and initialization is accomplished with NMEA 0183 input sentences. Allows initialization of information such as expected position, date, time, earth datum, and differential mode. See section [4.1 Received NMEA 0183 Sentences](#) for format descriptions.
- Configurable for binary data output.

1.6.4.4 Measurement Pulse Output (GPS 18x LVC & GPS 18x-5Hz only)

- GPS 18x LVC: 1 Hz pulse with programmable width, configurable in 20 ms increments from 20 ms to 980 ms. See section [4.1.3 Sensor Configuration Information \(PGRMC\)](#) for details about configuring the Measurement Pulse Output (or PPS) feature.
- GPS 18x-5Hz: 5 Hz pulse synchronized with the time of fix. One of the five pulses will align with the UTC second boundary. The pulse width is programmable from 20 ms to 180 ms. The PGRMC sentence will indicate which pulse is at the top-of-the-second. See section [4.1.3 Sensor Configuration Information \(PGRMC\)](#) for details about configuring the Measurement Pulse Output (or PPS) feature.
- 1 μ s accuracy for all conditions in which the GPS 18x LVC or GPS 18x-5Hz has reported a valid and accurate position fix for at least the previous 4 seconds.

2 GPSX 18x LVC & GPS 18x -5Hz WIRING AND PINOUTS

The GPS 18x LVC/18x-5Hz interfaces to a serial port. The unit accepts TIA-232-F (RS-232) level inputs and transmits voltage levels from ground to the input voltage, TIA-232-F (RS-232) polarity.

The GPS 18x LVC/18x-5Hz wires are terminated with a six-wire connector that is used by Garmin for testing purposes. You can remove this connector without voiding your warranty (see section [1.2 Limited Warranty](#)).

2.1 GPS 18x LVC & GPS 18x -5Hz PINOUT

GPS 18x Pin #	Color	Signal Name	Wire Gauge
1	Yellow	Measurement Pulse Output	28
2	Red	Vin	26
3	Black	Ground	28
4	White	Transmit Data	28
5	Black	Ground	26
6	Green	Receive Data	28

Table 1: GPS 18x LVC & GPS 18x-5Hz Wire Pinout