Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Física

Desarrollo, análisis, correlación de datos y evaluación de un sistema de medición de calidad de aire

TESIS

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

AUTOR

Fernando ROSAS SIANCAS

ASESORES

Mg. Octavio FASHÉ RAYMUNDO

Oscar Rolando BALTUANO ELÍAS (Coasesor)

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Rosas, F. (2018). *Desarrollo, análisis, correlación de datos y evaluación de un sistema de medición de calidad de aire*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Física]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Fernando Rosas Siancas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	42427236
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-3142-1150
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Octavio Fashé Raymundo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10351868
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6743-7800
Datos de coasesor	
Nombres y apellidos	Oscar Rolando Baltuano Elías
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10301565
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-1767-7141
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Lucas Arnaldo Alvarado Pinedo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08568231
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	José Carlos Eche Llenque.

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10710458
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Arnulfo Alipio Guillen Guevara
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08413331
Datos de investigación	
Línea de investigación	Oceanografía Física y Física de la Atmósfera
Grupo de investigación	Grupo de Investigación en Ciencias de la Tierra, Clima y Medio Ambiente
Agencia de financiamiento	Perú, Fondo para la Innovación, la Ciencia y la Tecnología (FINCYT). 161-FINCYT-IA-2013IPEN:"Diseño e Implementación de una Red de Sensores para Monitoreo en Tiempo Real de Parámetros de Calidad de Aire". 161-fincyt-ia-2013.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Laboratorio de instrumentación nuclear y desarrollo electrónico en el centro nuclear Oscar Miroquesada de la guerra (RACSO) País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Carabayllo Centro poblado: Afueras del centro poblado Huarangal. Dirección: Av. Jose Saco Km. 13 - Carabayllo Latitud: -11.79948 Longitud: -77.01224
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2015 - agosto 2016
URL de disciplinas OCDE	Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA

Siendo las 11:00 horas del jueves 04 de enero de 2018, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Físicas (Auditorio 109), bajo la Presidencia Mg. Lucas Alvarado Pinedo (Presidente), Lic. José Carlos Eche Llenque (Miembro), Mg. Octavio Fashé Raymundo (Asesor), Ing. Oscar Rolando Baltuano Elías (Co-asesor), Lic. Arnulfo Guillen Guevara (Suplente), se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Tesis para la Licenciatura en Física, mediante la Modalidad M1, del Bachiller:

ROSAS SIANCAS, FERNANDO

Dando lectura al Resumen del Expediente, el Presidente del Jurado, invitó al Bachiller Rosas Siancas, Fernando, a realizar una exposición de Trabajo de Tesis titulado: "Desarrollo, análisis, correlación de datos y evaluación de un sistema de medición de calidad de aire".

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente, invitó al Bachiller y al público a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión, para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado el Mg. Lucas Alvarado Pinedo, invitó al candidato y al público a pasar a la Sala de Sesión, para dar lectura al resultado de la deliberación. Ha obtenido la calificación de:

Bueno	16	Dieciseis
(MENCIÓN)	(NÚMERO)	(LETRAS)

Finalmente, el Presidente del Jurado, propone al consejo de la Facultad que se le declare Licenciado en Física al Bachiller Rosas Siancas, Fernando. Siendo las..... Horas, se levanta la Sesión.

Mg. Lucas Alvarado Pinedo
PRESIDENTE

Lic. José Carlos Eche Llenque
MIEMBRO

Mg. Octavio Fashé Raymundo
ASESOR

Ing. Oscar Rolando Baltuano Elías
CO - ASESOR

Lic. Arnulfo Guillen Guevara
SUPLENTE

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

1. Facultad: Ciencias Físicas
2. Escuela Profesional: Física
3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad: Mg. Jiménez Tintaya, César Omar
4. Apellidos y nombres de la autoridad académica: Mg. Jiménez Tintaya, César Omar
5. Operador del programa Informático de similitudes: Mg. Jiménez Tintaya, César
6. Documento evaluado: Tesis para optar el Título profesional de Licenciado en Física: "Desarrollo, análisis, correlación de datos y evaluación de un sistema de medición de calidad de aire"
7. Autor del documento: Fernando Rosas Siancas
8. Fecha de recepción del documento: 24/10/22
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes: 07/11/22
10. Software utilizado
    - Turnitin
11. Configuración del programa detector de similitudes
    - Excluye textos entrecomillados
    - Incluye Bibliografía
    - Excluye cadenas menores a 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes: 5% (cinco por ciento)
13. Fuentes originales de las similitudes encontradas
    - docplayer.es < 2 %
    - es.slideshare.net < 1%
    - nanopdf.com < 1%
    - hdl.handle.net< 1%
14. Observaciones: ninguna
15. Calificación de originalidad
    - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones
16. Fecha del Informe: 07 de noviembre del 2022

UNMSM
Firmado digitalmente por JIMENEZ TINTAYA Cesar Omar FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 09.11.2022 09:02:02 -05:00

Firma del Evaluador

En agradecimiento a Dios, mi esposa e hija, a mis padres, hermanos y a toda mi familia que son lo más importante en mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mis amores Margarita Collazos y Brianna Rosas, mis padres Gaspar Rosas y Vitalia Siancas , mis hermanos; Román, Gaspar, Marina, Micaela, Flor y Gladys. Por el gran apoyo incondicional que me brindaron en toda mi vida. A Dios por darme el privilegio de pertenecer en esta maravillosa familia.

A mi profesor y asesor, Mg. Octavio Fashé Raymundo, por sus enseñanzas académicas y asesoramiento en este trabajo de tesis además de su apoyo y comprensión en todo este periodo.

Agradezco al Ing. Oscar Baltuano Elias, mi co-asesor, de la Dirección de Investigación del IPEN, por permitirme estar en el Proyecto 161-FINCYT-IA-2013IPEN.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se desarrollará un medio de medición para el monitoreo de la calidad del aire, cuyo diseño involucra el uso de sensores electroquímicos y ópticos de bajo costo con el objetivo de implementar varios sensores para monitorear en que condición esta el aire en tiempo real correspondiente al proyecto **161-FINCYT-IA-2013**.

Este sistema integrará seis sensores de gases contaminantes como el dióxido de nitrógeno, SO_2, etc. estos serán calibrados según especificación del fabricante. El sistema cuenta también con un medidor de material particulado, de temperatura y humedad (HR).

Nuestros datos serán guardados en el sistema a través de una memoria micro SD de 16Gb integrada al equipo, también será posible acceder a los datos mediante un servidor central desde internet que será transmitido a través de un El Shield GPRS V1.4 que es configurado y controlado mediante su UART utilizando comandos AT.

Asimismo, tendrá una conexión directa mediante cable USB conectado a una computadora con un interfaz gráfico usuario. La alimentación del sistema solo es de solo 12 voltios.

Tabla de Contenido

Resumen

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia del estudio……..... 8
1.2 Antecedentes.……..... 8
1.2.1 Sustancias peligrosas……..... 8
1.2.2 Sistema de medida……..... 9
1.2.2.1 Procedimiento establecido por el estado...……..... 9
1.2.3 Los sensores en la actualidad……..... 9
1.2.4 Situación actual…….....…. 9
1.3 Planteamiento del problema……..... 10
1.4 Objetivos……... 11
1.4.1 General……... 11
1.4.2 Específicos…… 11
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO
2.1 Contaminación atmosférica…….. 12
2.2 Calidad del aire…… 12
2.2.1 Fuentes de contaminación……. 12
2.2.2 Contaminantes atmosféricos…….……. 12
2.2.3 Métodos de medida de los contaminantes del aire…… 13
2.2.4 Técnicas de medida de los contaminantes del aire...…….. 13
2.2.4.1 Analizador de O_3 (Fotometría UV) ……...……. 14
2.2.4.2 Analizador de monóxido de carbono (Fotometría IR) ……... 14
2.2.4.3 Analizador de NOx (Quimiluminiscencia) …… 14
2.3 Tipos de sensores y tecnología de la medición……. 15
2.3.1 Tecnología de la medición……. 15
2.3.1.1 Partes por millón (PPM) ……. 15
2.3.1.2 Humedad relativa (HR) …….. 15
2.3.1.3 Temperatura (ºC) ……..... 15
2.3.2 Sensores de gas…….……. 16
2.3.2.1 Como funciona el sensor electroquímico…...…… 16
2.3.3 Sensores de humedad……. 17
2.3.3.1 Del tipo mecánicos ……. 17
2.3.3.2 Bulbo húmedo-Bulbo seco…….. 18

2.3.3.3 Del tipo Capacitivos……. 19
2.3.4 Sensores de temperatura…… 19
2.3.4.1 Del tipo Resistor…… 19
2.3.4.2 Del tipo semiconductor……..……. 19
2.3.4.3 Del tipo Termopar…….…….. 20
CAPITULO 3: PROCEDIMIENTO PARA LA RECEPCIÓN DE LOS DATOS
3.1 Por qué se usará Arduino Due ……. 21
3.2 Interconexión del Arduino...…… 22
3.3 Realización del programa ……. 23
CAPITULO 4 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN
4.1 Procedimientos generales……..…… 24
4.2 Elementos constitutivos……..... 24
4.3 Apagado y encendido del equipo……. 31
4.4 Ensamblaje del prototipo…….. 42
4.4.1 Toma de muestra para la calibración……..…… 42
4.4.2 Ingreso de las muestras……..…… 42
4.4.3 Ensamblaje de las partes...…… 43
4.4.4 Subrutina de entradas análogas y salida digital…… 44
4.4.4.1 Adquisición de la muestra……. 44
4.4.5 Subrutina comunicación pc…….. 44
4.4.5.1 Cálculo de la muestra …….. 44
4.4.6 Monitoreo.…… 45
4.4.7 Recopilación de la data..…… 45
4.4.8 Exportación de la información…….. 46
CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y RESULTADOS
5.1 Generalidades…….. 47
5.2 Instrumentos utilizados para las pruebas ……. 47
5.3 Organización de los instrumentos……. 47
5.4 Proceso de calibración……. 47
5.5 Obtención de los voltajes iniciales para el sensor de NO2…… 48
5.6 Obtención de los voltajes iniciales para el sensor de SO2…….. 48
5.7 Obtención de los voltajes iniciales para el sensor de O3…..…… 49
5.8 Obtención de los voltajes iniciales para el sensor de CO……..…… 50
5.9 Resultados obtenidos en campo…… 51

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
6.1 Conclusiones…….. 54
6.2 Recomendaciones…….. 55

REFERENCIAS
ANEXOS A
ANEXOS B

CAPÍTULO1

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental juega un papel muy importante en el desarrollo de la humanidad, pues el progreso tecnológico, por una parte y el acelerado crecimiento demográfico, por la otra, producen la alteración del medio, llegando en algunos casos a atentar contra el equilibrio biológico de la tierra. Por ello, es importante proteger los recursos renovables y no renovables y tomar consciencia de que el saneamiento del ambiente es fundamental para la vida sobre el planeta.

El adelgazamiento del ozono, el calentamiento de la tierra, la degradación de los bosques, entre otros problemas ambientales, hizo tomarle importancia al medio ambiente, tal es el caso, que en 1972 se celebró en Estocolmo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, conocida como **Cumbre de la Tierra de Estocolmo,** planteando principios comunes que ofrezcan a los pueblos del mundo inspiración y guía para preservar y mejorar el medio humano. Posteriormente se realizaron la **Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, Johannesburgo y Rio+20 en** los años 1992, 2002 y 2012 respectivamente. Todos estos con el mismo objetivo: plantear compromisos entre los países miembros de preservar el medio ambiente.

En el Perú a través del decreto legislativo Nº 613, promulgado el 8 de setiembre de 1990 se establece un conjunto de derechos, políticas e instrumentos de gestión que siguen siendo centrales para la política actual. En ese sentido se estableció la regla que estandariza la calidad de nuestro aire, fue publicada en El Peruano el 8 de diciembre de 1999.

El **Código del Medio Ambiente** fue reemplazado por la vigente **"Ley General del Ambiente"**, donde se presenta el Estándar de Calidad Ambiental (ECA – artículo 31°) que establece el nivel de concentración de las sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente.

De acuerdo con lo expresado, la tesis se enfoca en los contaminantes del aire, desarrollando y evaluando un nuevo sistema de medición de estos, como una posibilidad real para el desarrollo de medidores remotos de bajo costo, siendo una alternativa a los sistemas de medición comerciales actualmente existentes, donde su costo y mantenimiento es sumamente alto.

1.1 Importancia del estudio

La contaminación del aire es un problema que se incrementa año a año, convirtiéndose en uno de los problemas ambientales con mayor importancia a nivel mundial. La contaminación se genera de muchas maneras, pero la mayor parte es provocada por el hombre.

La razón de esta preocupación radica en el daño que pueda ocasionar en nuestra salud, estudios realizados demuestran que este tipo de contaminación generan complicaciones asmáticas, enfermedades bronquiales e inclusive hasta muerte prematura (EPA, 1999), por ello, el monitoreo de estos para un control de calidad ambiental se torna indispensable.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Sustancias peligrosas En el Perú según El Decreto Supremo Nº074-2001-PCM se establece como contaminantes criterio del aire: Dióxido de azufre, monóxido de carbono,

dióxido de nitrógeno, ozono, dióxido de nitrógeno, sulfuro de hidrogeno, material particulado y plomo.

1.2.2 Sistema de medida

Para nuestros niveles de contaminantes criterio, es necesario contar con métodos que produzcan resultados comparables, es decir, que sean específicos, sensibles, estables, precisos y exactos y se deben llevar a cabo usando métodos de referencia.

1.2.2.1 Procedimiento establecido por el estado

Tabla 1.2 Métodos de referencia

Contaminante	Método de referencia	Norma técnica peruana
Dióxido azufre	Fluorescencia UV	En proceso
PM10	Separación inercial / filtración	NTP 900.030 del 24 de abril del 2003
Monóxido de carbono	Infrarrojo no dispersivo	NTP 900.031 del 24 de julio del 2003
Dióxido de nitrógeno	Quimiluminiscencia	NTP 900.033 del 02 de julio del 2004
Ozono	Fotometría UV	En proceso
Plomo	Método PM-10 (espectrofotometría de absorción atómica)	NTP 900.032 del 23 de noviembre del 2003
Sulfuro de hidrogeno	Fluorescencia UV	En proceso

1.2.3 Los sensores en la actualidad

A medida que la ciencia avanza, se fueron descubriendo elementos que reaccionan con los gases y la importancia radica por ser sensibles y selectivos con estos.

1.2.4 Situación actual

Actualmente, en el Perú, existen instituciones que realizan el monitoreo de la calidad del aire con estaciones fijas o móviles: **Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), PROTRANSPORTE y OEFA.**

Cabe resaltar, que, en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Aire y Gestión de los Datos, formulado por DIGESA se menciona los procesos que se tienen que realizar para la monitorización del aire.

En base a esto, se toma como iniciativa (**PROYECTO, 161-FINCYT-IA-2013**) el desarrollo de un nuevo sistema de medición para el monitoreo de la calidad del aire, cuyo diseño involucra el uso de sensores electroquímicos y ópticos de bajo costo con el objetivo de implementar un conjunto sensores para monitorear la contaminación de nuestro aire y en tiempo real, así abarcar gran parte del territorio peruano.

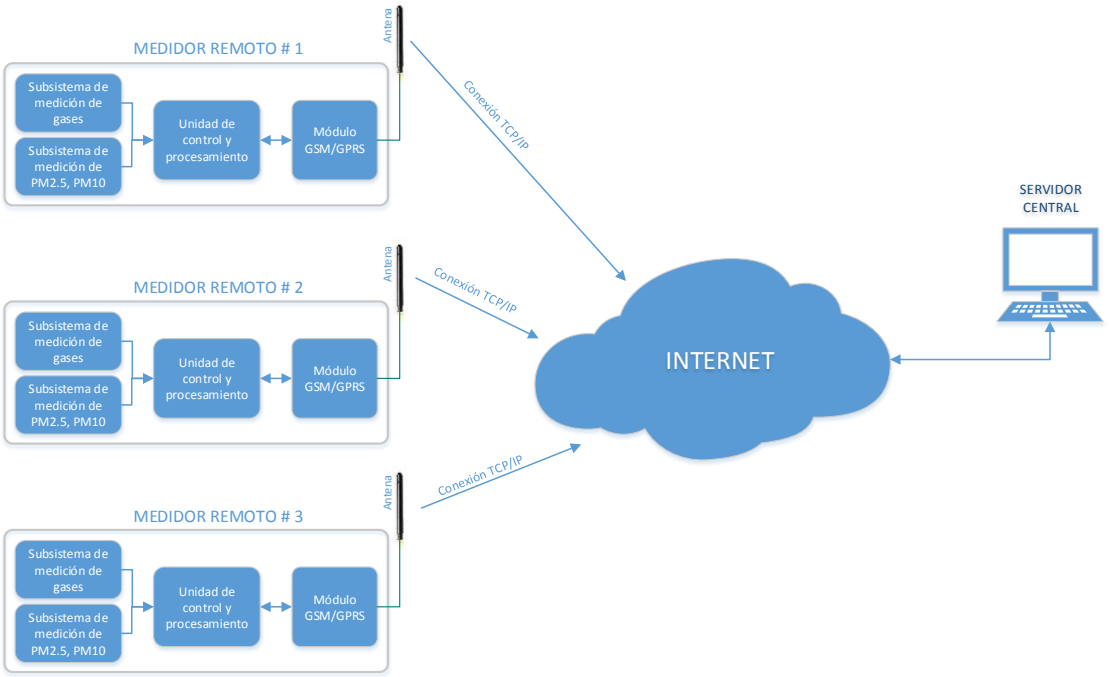


Figura 1: Diagrama de bloques y diseño básico, Sólo se muestran por claridad, 3 medidores remotos.

Actualmente se cuenta con sensores potenciométricos selectivos de gases de lectura directa desarrollados por Alphasense y métodos ópticos usando tecnología láser para detectar material particulado, si bien es cierto, existen sistemas de medición comerciales que usan estos sensores, el costo y mantenimiento es sumamente alto. Entonces, se considera necesario plantear: el desarrollo del sistema de control electrónico, el sistema de adquisición de datos y el sistema de comunicación que permita operar estos medidores de forma remota y transmitir dicha información a una estación central.

Este sistema integrará seis sensores de gases contaminantes, un medidor de material particulado, de temperatura y humedad (HR). Nuestros datos serán guardados en el sistema a través de una memoria micro SD integrada al equipo, también será posible acceder a los datos mediante un servidor central desde internet. Además de una conexión directa mediante cable USB conectado a una computadora con un interfaz gráfico usuario. La alimentación del sistema solo es de solo 12 voltios. En el proyecto se plantea implementar 6 medidores remotos (figura1) que serán capaces de transmitir en tiempo real la información obtenida de la concentración de los gases contaminantes a un servidor central.

1.3 Planteamiento del problema

DIGESA menciona los requisitos para programas de monitoreo, este proceso conlleva a gastos de tiempo y dinero, por el costo de los equipos y capacitación de personal para el control de estos, por esta razón, no es posible tener estaciones de monitoreo en determinado espacio de un distrito. Debido a ello se planteó, como una opción, implementar un equipo que recepcione los datos y así analizar el aire con sensores de bajo costo, pero confiables, por ejemplo, uso de sensores de una empresa británica ALPHASENSE, que cumple con la norma ISO 9001:2000 que garantiza su calidad y buen funcionamiento para un alto rango de concentraciones.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Contribuir en el desarrollo del hardware que mida la aglomeración de los gases dañinos de manera síncrona, que incluya elementos de instrumentación (filtros, reguladores, amplificadores, etc) y comunicación.

1.4.2 Específicos

- Desarrollo y evaluación del correcto funcionamiento y mejora del sistema de medición.
- Implementación de un programa para el procesamiento de los datos y el estudio de estos.
- Verificar que el equipo cumpla con los parámetros técnicos proporcionados por el Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos, elaborado por la Dirección General de Salud Ambiental (**DIGESA**).
- Análisis de datos en laboratorio y en campo.

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es debido a elementos dañinos dentro del aire que afectan al medio que lo rodea. Estos compuestos alteran nocivamente la concentración normal del aire, de modo que implique riesgos, daños o molestias graves a los habitantes.

Existen contaminantes producidos por la naturaleza. Sin embargo, los más perjudiciales son los generados por nosotros por la producción incontrolada de estos. Ya es momento de ser consientes y parar este problema.

2.2 Calidad del aire

Es el grado de aglomeración de los contaminantes en la atmosfera en un momento y espacio determinado. Es importante saber que la topografía de una ciudad hace más vulnerable o no a tener estos contaminantes, tal es el caso, que si se encontrasen en un valle con escaso movimiento del aire dificultaría la difusión de estos. **[2]**

2.2.1 Fuentes de contaminación

Contaminantes emitidos de manera natural: A través del proceso de desgaste de la superficie, deterioro de los desechos orgánicos, etc.

Contaminantes emitidos por causas de la actividad del hombre: producido por fuentes fijas (industrias estacionarias), puntuales [3] (lugares comerciales) y móviles.

2.2.2 Contaminantes atmosféricos la tabla 2.1 nos muestra los contaminantes atmosféricos y algunos efectos producidos

Tabla 2.1 contaminantes atmosféricos. [3]

Contaminante	Fuentes antropogénicas	Fuentes biogénicas	Efectos
Dióxido de carbono (CO_2)	• Quema de residuos	• Desintegración del material orgánico	• Calentamiento del globo.
Monóxido de carbono (CO)	• Principalmente es automotor	• Incendios forestales	• Inhibe el paso de oxigeno en la sangre
Dióxido de azufre (SO_2)	• Quema de cartón y leña	• Volcanes en actividad	• Precipitaciones ácidas • Produce tos
Óxido de nitrógeno (NO)	• Uso de fertilizantes que contienen nitrógeno	• Reacciones biológicas en superficies y aguas	• Problemas respiratorios • Reduce la acción de los pulmones en asmáticos
Amoniaco (NH_4)	• Tratamientos de desechos	• Descomposición biológica	• Lluvia acida
Hidrocarburos (HC)	• vaporización de combustible pintura	• Procesos biológicos	• Puede producir cáncer.

	• Refinería, industria química		
Ozono (O_3)	• Fotocopiadoras	• Disociación hemolítica de NO2 por radiación solar • Oxidación de hidrocarburos	• Irrita en alto grado los ojos y pulmones • Reduce la cosecha
Material particulado (MP)	• Combustión • Procesos industriales	• Desgaste de superficies y rocas	• Medio de transporte para metales
Plomo (Pb)	• Aditivo en gasolina • Actividades industriales • Insumos agrícolas	• Volcanes en actividad	• Afecta el sistema neuronal • Inhibe el aprendizaje en niños

2.2.3 Métodos de medida de los contaminantes del aire

Podemos encontrar una infinidad de procesos para medir a los gases solo mencionaremos a los más representativos.

- Método de muestreo pasivo
- Método de muestreo con bioindicadores
- Método de muestreo activo
- Método de muestreo automático
- Método de muestreo óptico de percepción remota

2.2.4 Técnicas de medida de los contaminantes del aire

2.2.4.1 Analizador de O_3 (Fotometría UV)

El principio de operación que utilizan los analizadores de ozono, O3, se conoce como el método de fotometría UV y consiste en medir la cantidad de luz ultravioleta, a una longitud de onda de 254 nm, absorbida por el ozono presente en una muestra. El principio de operación se basa en la Ley de Beer-Lambert. Cuando la muestra pasa por el interior de las celdas, la molécula de ozono absorbe una cantidad de luz (I), la cual se compara con la cantidad de luz medida en la celda de referencia (I_0) para calcular la concentración (C). La concentración obtenida se corrige a condiciones de temperatura y presión del interior de la celda de absorción, los cuales son medidos de manera independiente. La concentración del gas se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$I = I_0 . e^{\alpha LC}$$

(A condiciones estándar de P y T)

$$O_3(ppm) = \frac{10^6}{\alpha * L} * Log_{10} \frac{I_0}{I} * \frac{760}{P} * \frac{T}{273}$$

En la gráfica se puede observar el funcionamiento del analizador de O_3

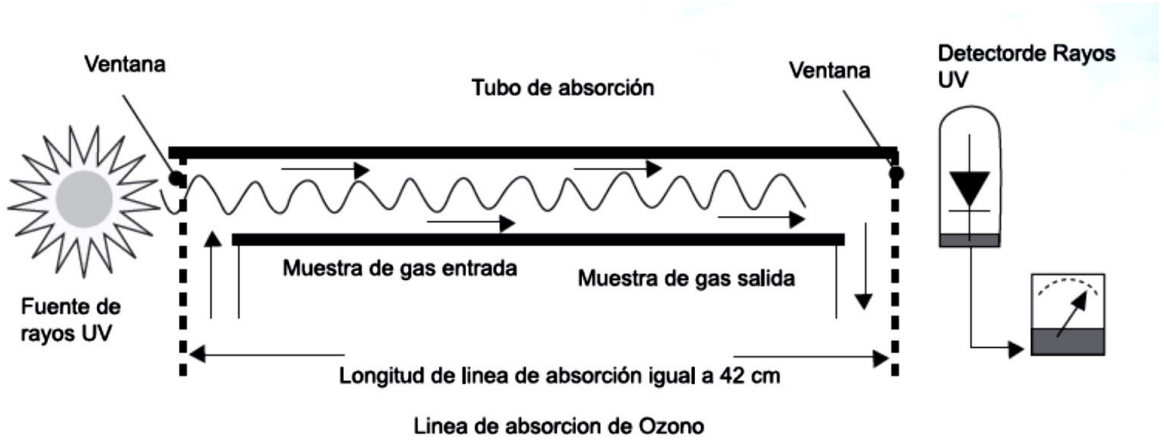


Figura 2: Bosquejo del analizador

2.2.4.2 Analizador de monóxido de carbono (Fotometría IR)

El CO tiene la capacidad de retener energía en ciertas longitudes de onda, este principio es el que se usa para medir, en este caso, la retención de luz infrarroja por parte de las moléculas del CO.

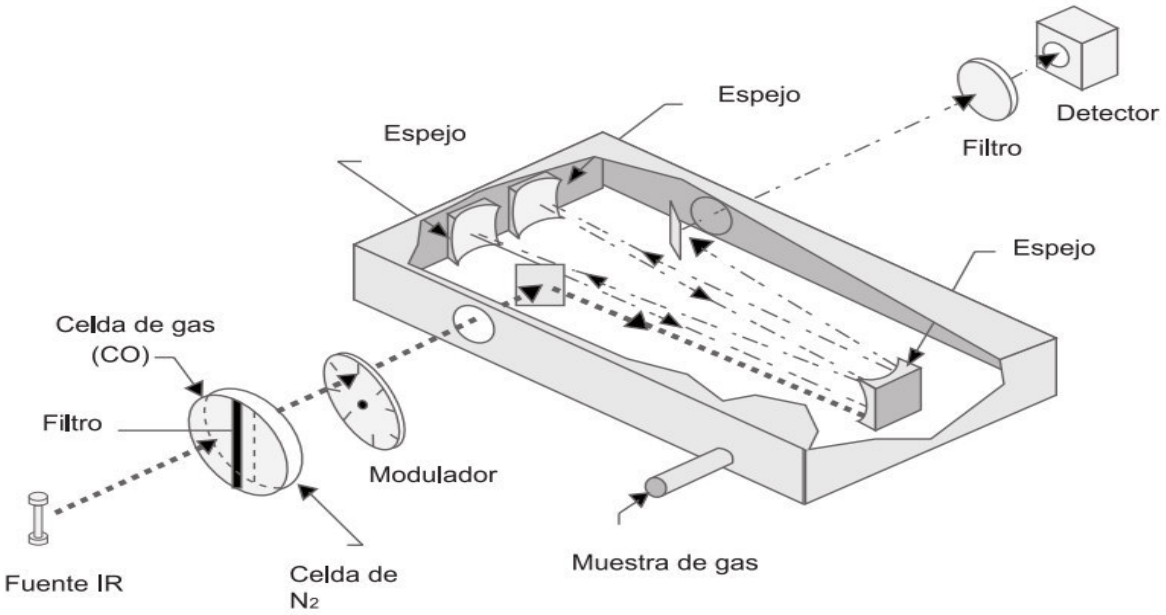


Figura 4: Modelo del funcionamiento del analizador de CO. [5]

2.2.4.3 Analizador de NOx (Quimiluminiscencia)

Se mide la intensidad de luz (500-3000 nm) originada por una reacción química entre el NO y O_3

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2^* + O_2$$

$$NO_2^* \rightarrow NO_2 + hv$$

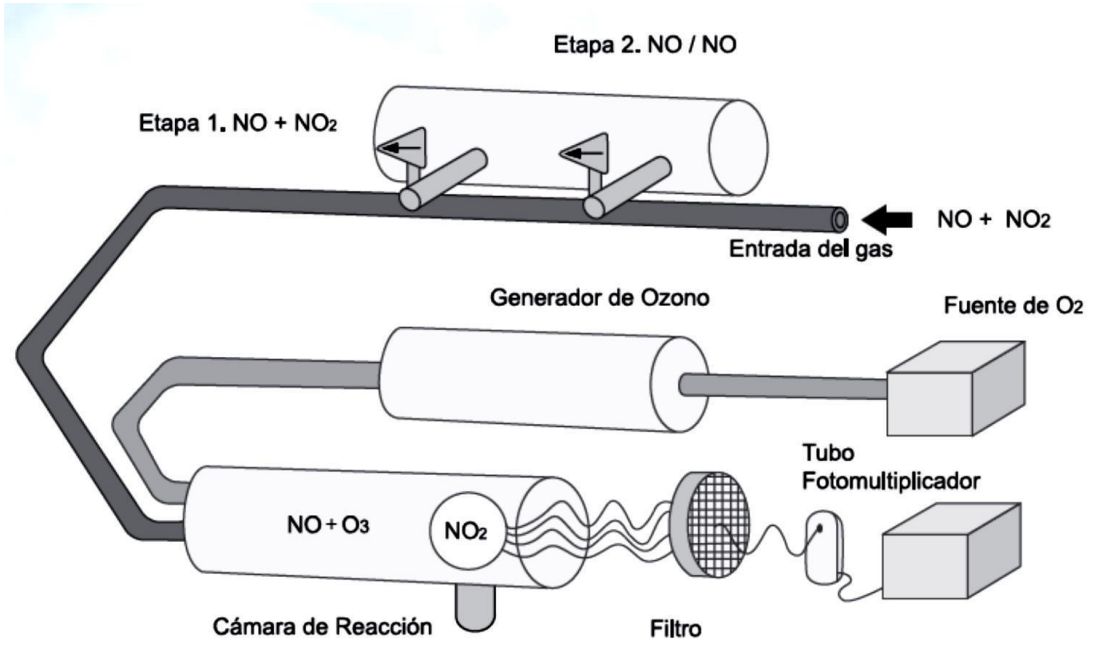


Figura 5: Modelo del funcionamiento del analizador de NO.[5]

2.3 Tipos de sensores y tecnología de la medición

2.3.1 Tecnología de la medición

2.3.1.1 Partes por millón

"Partes por millón (abreviado como ppm) es la unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades (traza) en una mezcla. Generalmente suele referirse a porcentajes en peso en el caso de sólidos y en volumen en el caso de gases (caso del ppm utilizado en calidad del aire). Así, 5 ppm de CO equivale a decir que existen 5 unidades de volumen de CO por cada millón de unidades de volumen de aire. Por ejemplo, 5 ppm de CO serían 5 litros de CO en cada millón de litros de aire". **[6]**

2.3.1.2 Humedad relativa (HR)

"La humedad relativa en el medio ambiente es una cantidad numérica que indica el cociente entre en la humedad absoluta del medio ambiente y la cantidad máxima de vapor de agua que admite el aire por unidad de volumen, esta cantidad se mide en porcentaje de humedad relativa (%) y su valor está normalizado de tal forma que la humedad relativa máxima posible del medio ambiente es del 100%, la determinación del valor de la humedad relativa del medio ambiente está muy ligada a la temperatura del medio ambiente en el momento de la medición, por lo que es común considerar y realizar la medición de ambas variables al mismo tiempo". **[7]**

2.3.1.3 Temperatura (ºc)

Mide cuan agitadas se encuentran las moléculas en relación con la energía que recibe o se le quita, para medirla utilizamos los termómetros y sensores.

2.3.2 Sensor de gas

Es aquel instrumento idóneo que registra una magnitud física o la concentración por medio de una reacción química **[8]**

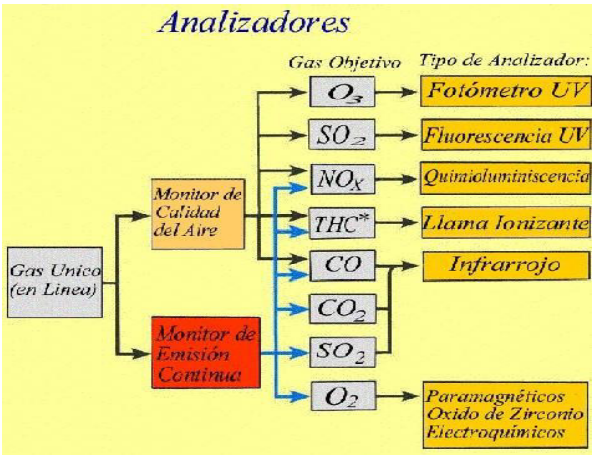


Figura 7. Esquema del analizador de gas [8]

"Los sensores químicos constan de un conjunto de elementos que se pueden agrupar en tres bloques básicos (Figura 1.2) que son: 1) el elemento de reconocimiento capaz de interaccionar de forma selectiva con el analito o analitos interacción que no tiene porqué ser a través de una reacción química; 2) el elemento transductor mediante el cual se transforma la información química en información física, generalmente eléctrica; 3) un sistema electrónico para la amplificación y procesado de la señal que nos genera resultados en las unidades químicas (molaridad, porcentaje) o físicas (presión) de interés". **[8]**

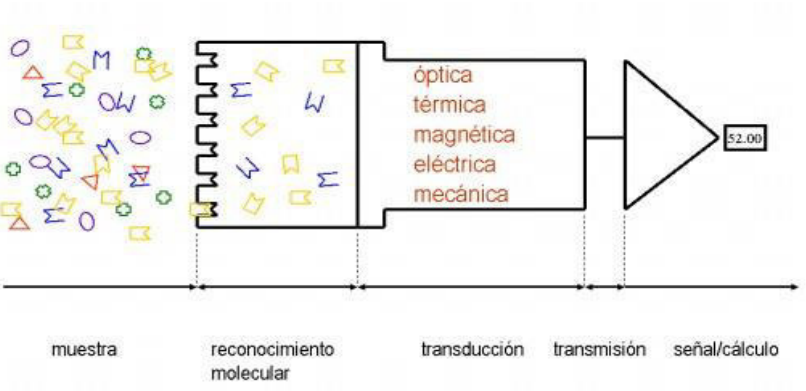


Figura 8. Esquema funcional del sensor químico [8]

2.3.2.1 Como funciona el sensor electroquímico

"Un típico sensor electroquímico consiste en un electrodo sensor (cátodo) y un contra electrodo (ánodo) separados por una delgada capa de electrolito. El gas que entra en contacto con el sensor reacciona sobre la superficie del electrodo sensor generando una reacción de oxidación o reducción. Los materiales del electrodo específicamente desarrollados para el gas de interés catalizan estas reacciones. Una corriente proporcional a la concentración de gas es generada la que puede ser medida para determinar la concentración de gas". **[8]**

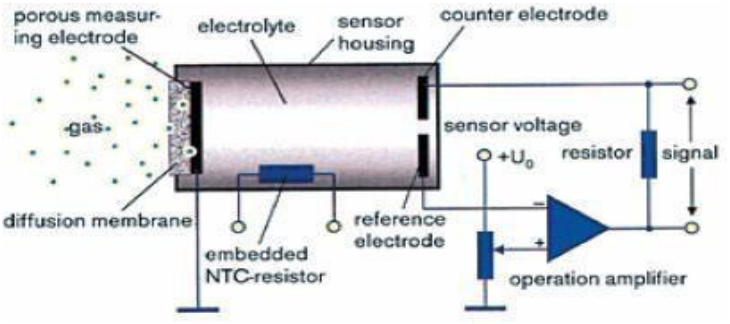


Figura 9 Operatividad del sensor [8]

Atributos

"El concepto erróneo más común acerca de los sensores electroquímicos es que todos tienen las mismas características de desempeño y confiabilidad. Por el contrario, hay muchas maneras en que los sensores electroquímicos están construidos dependiendo del tipo de gas a detectar y del fabricante. Cada tipo de sensor es diferente". **[8]**

Dentro de los atributos tenemos:

Mínimo uso energético. "Esto permite que el sensor sea usado en unidades portátiles alimentadas con baterías". **[8]**

Son sensibles. "Este sensor es fundamentalmente conveniente para aplicaciones de límite permisible en el área de trabajo. No es apto para aplicaciones de gases combustibles". **[8]**

Es selectivo. "Comparado con otros sensores, algunos sensores electroquímicos son bastante selectivos al gas objetivo para el cual fueron diseñados. Algunos sensores, sin embargo, pueden tener una pobre selectividad dependiendo del gas a ser detectado". **[8]**

Duración. "La expectativa de vida de un sensor electroquímico depende de diversos factores incluyendo el gas a ser detectado y las condiciones medioambientales en que el sensor es usado. Generalmente, la expectativa de vida es uno a tres años. Algunos sensores son especificados de acuerdo con la dosificación de exposición del gas, como por ejemplo un sensor de amoníaco típicamente catalogado para 5000 ppm horas. En otras palabras, si el sensor es expuesto a 50 ppm de amoníaco constantemente, el supuesto es que el sensor sobrevive por 100 horas. Alrededor de 30 gases pueden ser detectados con los sensores electroquímicos en bajos rangos de ppm. Sensores diseñados para detectar gases tales como monóxido de carbono, sulfato de hidrógeno, dióxido de sulfuro, cloro y dióxido de nitrógeno son buenos sensores capaces de comportarse de acuerdo a las expectativas. Sensores para otros gases pueden ser mucho menos confiables de lo especificado. En general, un sensor electroquímico es un tipo popular de sensor comúnmente usados en instrumentos portátiles para aplicaciones de bajas concentraciones. Para aplicaciones estacionarias, el uso es más limitado". **[8]**

2.3.3 Sensores de humedad

2.3.3.1 Del tipo mecánico

"La idea de este tipo de sensores es aprovechar los cambios en las dimensiones que sufren ciertos tipos de materiales en presencia de la humedad. Los más afectados son algunas fibras orgánicas y sintéticas, como por ejemplo el cabello humano. Al aumentar la humedad relativa, las fibras aumentan de tamaño, es decir, se alargan. Luego esta

deformación debe ser amplificada de alguna manera (por palancas mecánicas, o circuitos electrónicos) y debe ser graduada de acuerdo a la proporcionalidad con la humedad relativa" **[9]**.

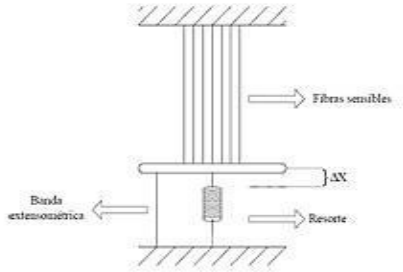


Figura 12: Diagrama de operatividad sensor mecánico**[9]**

"El desplazamiento (ΔX) puede ser medido de diversas maneras, en la figura 12 se aprecia una de ellas la cual consiste en ubicar una banda extensométrica (filamento resistivo que puede ser metálico o semiconductor) entre la parte móvil y la estable. Al variar ΔX en forma proporcional a la humedad presente, también lo hará la banda cambiando la resistencia de ella, luego la variación de la resistencia puede ser convertida a voltaje usando algún circuito de medición de ΔR como lo es el puente de Wheatstone. El error de medición de este tipo de sensores es mínimo de 3% y su ventaja radica principalmente en que es fácil de reproducir, sin embargo, es poco robusto y no es de gran utilidad en aplicaciones industriales. Su rango de operación es de humedades relativas entre 15% y 95% a temperatura ambiente entre los –20[°C] y 70[°C]. Uno de los requisitos para lograr una medición más confiable es que el aire circule a una velocidad de 3[m/s]". **[9]**

2.3.3.2 Bulbos, húmedo y seco

"La psicometría desde hace tiempo es uno de los métodos más populares para la monitorización de la humedad debido a su simplicidad y bajo costo. Un psicómetro industrial típico consiste en un par de termómetros eléctricos acoplados uno de los cuales opera en estado húmedo. Cuando el dispositivo funciona la evaporación del agua enfría el termómetro humedecido, resultando una diferencia cuantificable con la temperatura ambiente o la temperatura del bulbo seco". **[7]**

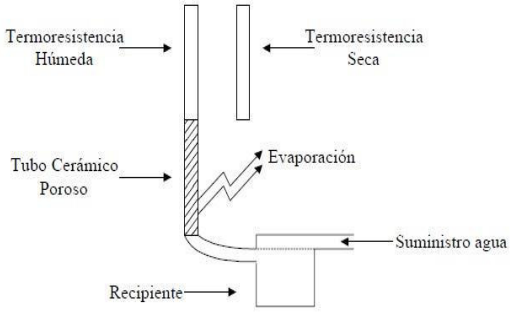


Figura 13. Diagrama de operatividad **[9]**

"El psicómetro provee una alta precisión en las proximidades del punto de saturación (100% RH) y es fácil de operar y reparar, por otra parte a baja humedad relativa (menos del 20%) el desempeño es pobre y el mantenimiento debe intensificarse. No puede

utilizarse a temperaturas menores de 0° y, siendo el propio psicómetro una fuente de humedad, no pude utilizarse tampoco en ambientes pequeños o cerrados. Los psicómetros son utilizados típicamente para control ambiental en recintos". **[9]**

2.3.3.3 Del tipo capacitivo

"Son quizás los más difundidos en la industria y meteorología, pues son de fácil producción, bajo costo y alta fidelidad. El principio en el cual se basa este tipo de sensores, es en el cambio que sufre la capacidad (C en [Farad]) de un condensador al variar la constante dieléctrica del mismo" **[9]**.

$$C = \varepsilon \frac{A}{D} \qquad 1.2$$

Siendo:

- C: capacitancia.
- ε: constante dieléctrica.
- A: área de las placas.
- D: la distancia entre las placas.

2.3.4 Sensores de temperatura

2.3.4.1 del tipo resistor

Obedece al cambio de la resistencia en cada grado que varía su temperatura **[10]**

$$\boldsymbol{Rf = R_0(1 + \alpha T)} \qquad \mathbf{1.3}$$

Siendo:

-Ro: es la resistencia en ohmios a 0°C

-Rf: es la resistencia en ohmios a t °C

- $\boldsymbol{\alpha}$: Coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0° y 100° C es de $0{,}003850\Omega^{-1}.\,°C^{-1}$.

-T: Temperatura en grados centígrados

2.3.4.2 Del tipo semiconductor

"Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo(o positivo) de valor elevado, por lo que presentan unas variaciones rápidas y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños en la temperatura". **[10]**

"La corriente que circula a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea exclusivamente a los cambios de temperatura del proceso". **[10]**

2.3.4.3 del tipo termopar

La dilatación del metal es aprovechada por estos sensores, consiste en dos metales juntos con diferente coeficiente de dilatación que al interactuar con el calor son capaces de deformarse. De ahí se busca la relación de este con la temperatura.

Atributos:

- Respuesta rápida a las variaciones de temperatura.
- No necesita alimentación.
- Rango de temperatura grande:-270 a 3000°C.
- Es susceptible al ataque químico de agentes oxidantes y ruido.
- Respuesta no lineal.
- La corriente por el termopar debe ser pequeña para despreciar el efecto Joule.

CAPITULO 3

PROCEDIMIENTO PARA LA RECEPCIÓN DE LOS DATOS

Arduino es una plataforma electrónica basada en hardware y software, es un microcontrolador con entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. Esta plataforma es libre, además, es multiplataforma, es decir, a diferencia de otros microcontroladores que solo están limitados a Windows, este es compatible con los demás sistemas.

Hay muchos otros microcontroladores y plataformas de microcontroladores disponibles para la informática física, sin embargo, Arduino saca ventaja pues es económico, sencillo de fácil uso, ya sea que lo use un profesor, estudiante o aficionado. [11].

Con todo lo mencionado, Arduino se convierte en una pieza importante para el desarrollo del nuevo sistema de medida de la concentración de gases contaminantes en tiempo real, proyecto que se desarrolla en esta tesis.

3.1 Por qué se usará Arduino Due

Este a diferencia del Arduino Uno y Leonardo, tiene un microcontrolador de 32 bits esto permitirá realizar un mejor procesamiento de los datos, puesto que los sensores recibirán mucha data.

Tabla 3.1 Detalle de especificaciones técnicas

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Microcontrolador	AT91SAM3X8E
Tensión de funcionamiento	3,3V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-16V
E/S digitales prendedores	54(de los cuales 12 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	12
Pines de salida analógica	2 (DAC)
Corriente total de salida CC en todas las líneas de E/S	130mA
Corriente CC para Pin 3,3V	800mA
Corriente DC 5V para el Pin	800Ma
Memoria flash	512kB todo disponible para las aplicaciones del usuario
SRAM	96Kb (dos bancos: 64kB y 32kB)
Velocidad de reloj	84 MHz
Longitud	101,52mm
Anchura	53,3mm
Peso	36g

3.2 Interconexión del Arduino

Es importante resaltar la variedad de dispositivos que pueden conectarse con el Arduino Due, esto lo hace indispensable para nuestro propósito. Si deseamos comunicarnos en serie contamos con un transmisor Asíncrono Universal (UARTS), la programación dependerá del sistema operativo que usemos; para Windows nuestro archivo tendrá que tener un formato .inf, sin embargo, para OSX y Linux el reconocimiento será automático. La conexión serie - usb permitirá programar la placa por medio del microcontrolador ATmega16U2, mientras se transmiten los datos un led intermitente indicará el proceso.

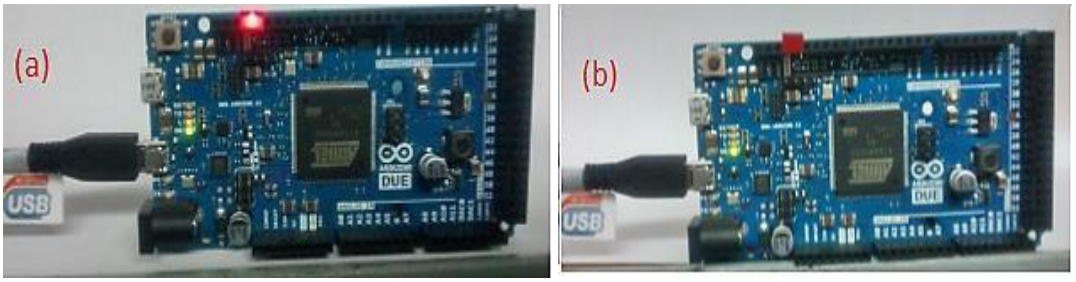


Figura 16: (a) Intercambio de datos led activado; (b) led apagado luego de un segundo

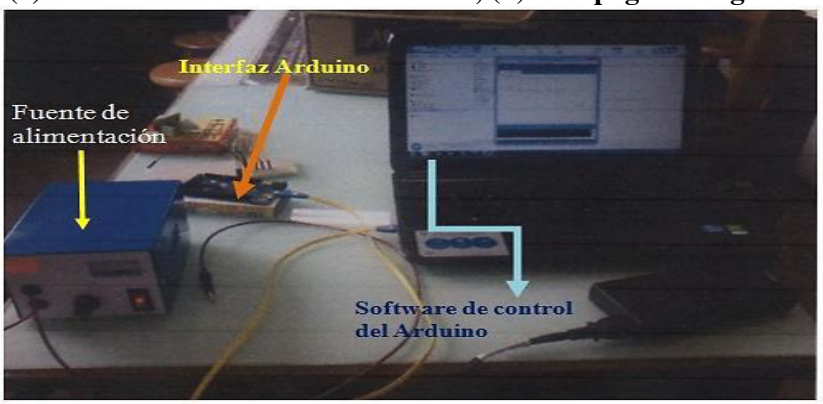


Figura 17: Fuente de encendido y toma de la data

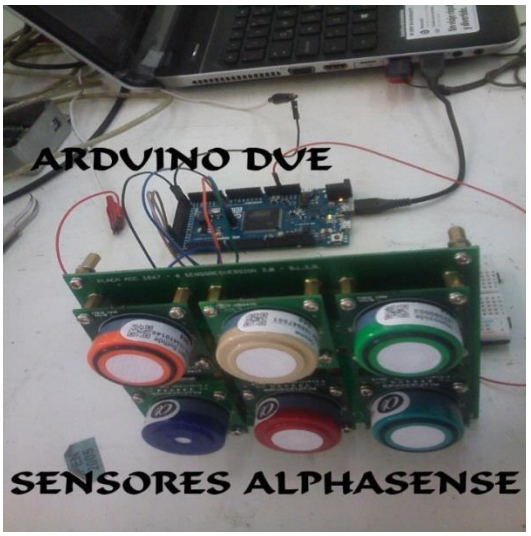


Figura 18: transferencia de la data utilizando Arduino

3.4. Realización del programa

Los datos son registrados por nuestros sensores gracias a la programación de un software que controla y un procedimiento de recepción de la información.
La programación fundamentada en un lenguaje C++ y conocido como “sketch” está dividida en estructura, valores y funciones. La configuración del programa de Arduino divide el proceso en “setup” y “loop”. “Setup” donde “loop()” representa la ejecución.

Aquí se muestra el esquema del programa:

```
Long OP1,OP2;
OP1PROM,OP2PROM;
Float VOP1,VOP2;
Int=0;
Int t_sec=10;
Void setup() {
Serial.begin(115200);
AnalogReadResolution(12);
}
Void loop(){
OP1=0;
OP2=0;
For(i=0;i<100;i++){
OP1 +=analogRead(0);
OP2 += analogRead(1);
}
OP1PROM = OP1/100.0;
OP2PROM = OP2/100.0;
VOP1 = OP1PROM * 3.3 /
4.095;
VOP2 = OP2PROM * 3.3 /
4.095;
Serial.print(“ - ”);
Serial.println(VOP2);
```

CAPITULO 4

CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

4.1 PROCEDIMIENTOS GENERALES

En esta sección se explicará, a groso modo, como se diseñó y ensambló el sistema recepción de datos para el control de los gases contaminantes del aire. Este sistema será autosuficiente, pues será capaz de guardar la información en una computadora o vía internet (datos GPRS), todas las especificaciones técnicas de los sensores fueron tomadas en cuenta.

En nuestro país debido a los contaminantes atmosféricos presentes en la capital y alguna otra región, necesita realizar una vigilancia del medio. Aun así, solo cuenta actualmente 10 estaciones fijas de monitoreo y todas en la capital. Uno de los posibles factores sería el costo elevado de los equipos, a parte de la capacitación del personal para una correcta manipulación de estos. Por ello, la necesidad de tener un equipo portátil a bajo costo pero confiable, es indispensable, de ahí la importancia de este proyecto.

4.1.1 Atributos del equipo

Este sistema debe presentar como mínimo las siguientes características:

- Almacenamiento de la información captada por los sensores. Y tener un registro cronológico de los datos guardados.
- Permitir al usuario seleccionar el parámetro que desea analizar en tiempo real. Por ello, el sistema estará conectado en forma perenne a una fuente de alimentación.
- El equipo guardará la información cada 15 segundos.
- Capacidad de realizar mediciones simultáneas de los sensores implementados en el sistema.
- Adquisición, manipulación, reporte en la computadora.

4.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

De acuerdo a la pequeña introducción acerca de los diferentes tipos de sensores de gases tóxicos, para el proyecto se decidió utilizar los del tipo electroquímico de la marca Alphasense de la serie B4 para detectar: Dióxido de Nitrógeno (NO_2), SO_2, NO, H_2S, O_3 y CO. Ademas del medidor de material particulado, T(ºC) y HR(%).

Se eligieron sensores de esta marca debido a que son robustos a la exposición a ambientes exteriores, son duraderos y confiables. Siendo ésta una característica fundamental del proyecto que se desarrollará.

Además estos sensores poseen una tecnología validada para el control de los contaminantes de Aire.



Para obtener una correcta lectura en nuestros sensores, Alphasense tiene una Placa de Sensor Individual (Individual Sensor Board - ISB) que provee una salida de tensión de doble canal (una salida para el Work Electrode y otra para el Auxiliar Electrode).

Figure 1 ISB



Se analizó el Manual de Usuario del ISB[2] de la empresa fabricante y se pudo obtener un resumen de lo principal. El propósito del manual es explicar cómo opera el circuito del ISB, cómo se conecta a la fuente y se obtienen las lecturas de los sensores respectivos.
En la figura siguiente se muestra el circuito del ISB, este circuito ha sido diseñado sólo para el uso con la familia B4 de Alphasense de sensores de gas con 4 electrodos.
El circuito utiliza un opamp para provee una corriente balanceada hacia el electrodo de conteo; posee dos salidas que son un electrodo de trabajo (Working Electrode –WE, denominado OP1) y un electrodo auxiliar (Auxiliar Electrodo – AUX, denominado OP2), éste último es usado para compensar la corriente cero.

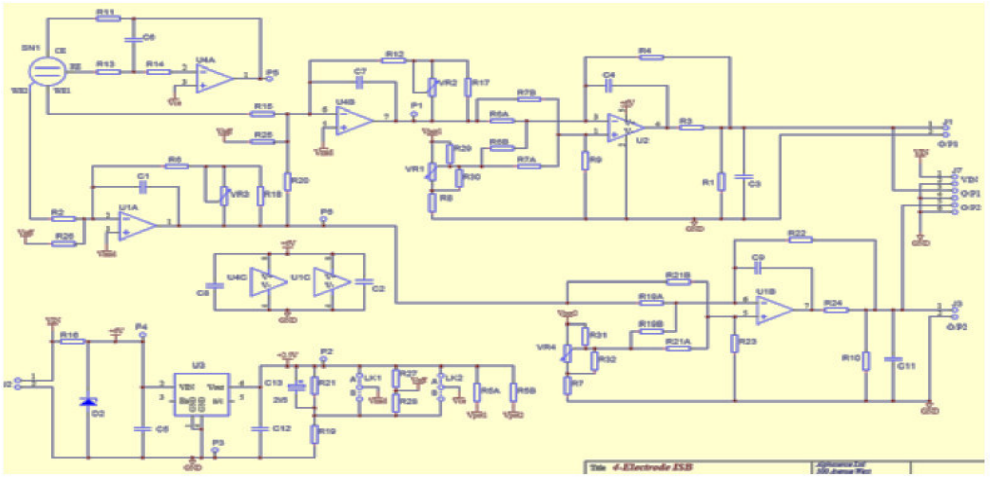


Figura 19. Esquemático del circuito del ISB

La fuente de alimentación DC recomendada para la placa ISB es de 3.5 a 6.4 VDC.
Tanto el voltaje offset (expresado en mV) y la sensitividad del sensor (expresado en nA/ppm) están incluidos en las etiquetas de los paquetes del ISB – sensor, que fueron comprados juntos.

Tabla 4.1. Características en las etiquetas ISB de los sensores de difeerentes tipos de gases

GAS	VOLTAJE DE TRABAJO OFFSET WE Zero (mv)	VOLTAJE AUXILIAR OFFSET WA Zero (mv)	SENSITIVIDAD DEL SENSOR (nA/ppm)	GANANCIA DEL ISB (mV/nA)
CO	344	341	477	0.8
H_2S	381	341	1775	0.8
NO	341	304	735	0.8
NO_2	216	237	-454	-0.726
O_3	353	355	-567	-0.726
SO_2	394	358	370	0.8

Recomendaciones:

- Tener circuitos digitales cerca del ISB puede distorsionar la calidad de la señal.
- Es importante desacoplar tanto la fuente de voltaje como el ADC del ISB.
- Se recomienda usar para el descople dos capacitores de 10nF y 100nF cerca del molex.

Las dimensiones de la placa ISB de acuerdo al manual se muestran en la figura 3.

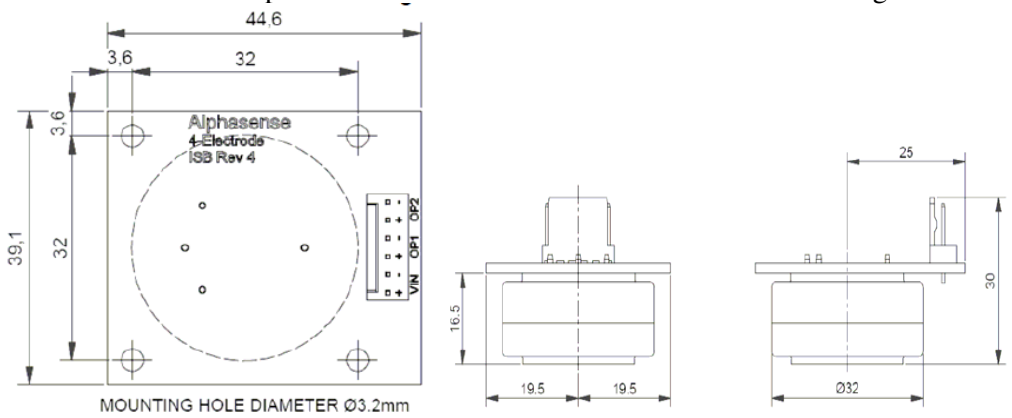


Figura 20. Dimensiones del ISB y las locaciones de sus agujeros para su montaje

De acuerdo a las etiquetas puestas a los sensores, éstos están enumerados de la siguiente manera:

- Sensor 1 → Sensor NO_2
- Sensor 2 → Sensor SO_2
- Sensor 3 → Sensor NO
- Sensor 4 → Sensor H_2S
- Sensor 5 → Sensor O_3
- Sensor 6 → Sensor CO

En diferentes días se obtuvieron las lecturas de los electrodos (trabajo(WE) y auxiliar (AUX)) de tres sensores (del 1 al 3), obteniéndose los siguientes resultados:

✓ Para el Sensor 1, alimentado con Vcc = 5.0292 V, se muestran los voltajes leídos con un multímetro en diferentes tiempos, donde el tiempo cero representa la lectura a partir de las 10:32 a.m. del día 27-03-15.

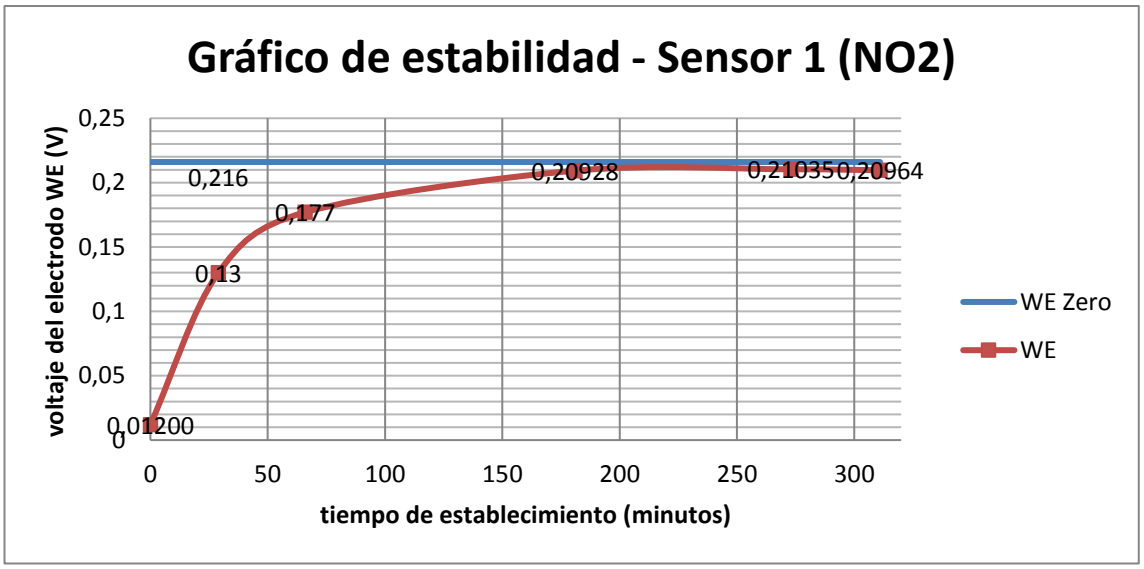


Figura 21 gráfico de estabilidad del voltaje del electrodo de trabajo para el NO2

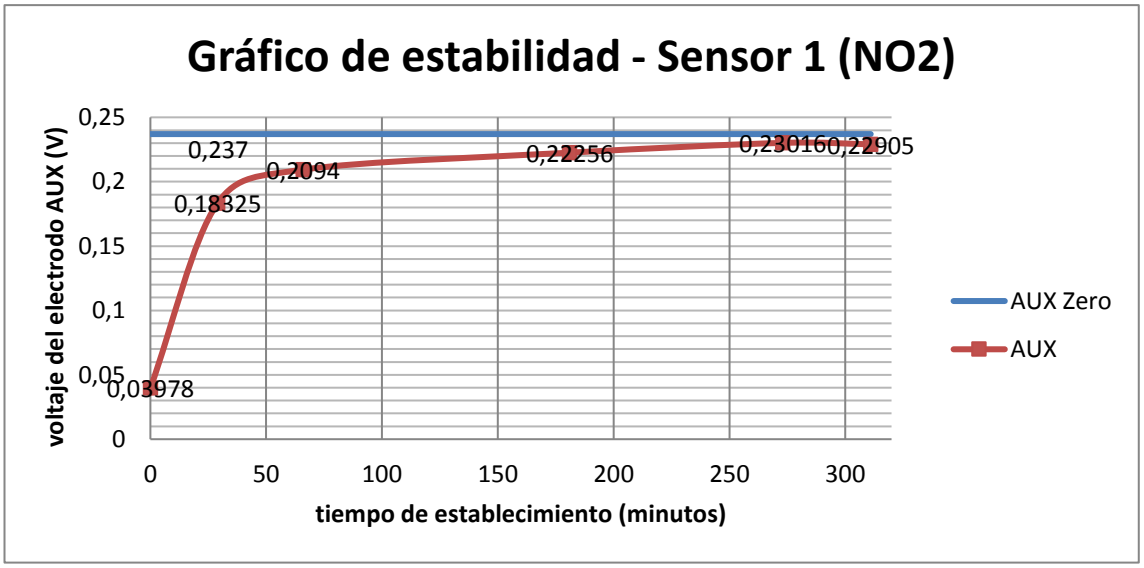


Figura 22: gráfico de estabilidad del voltaje del electrodo auxiliar para el NO2

Como se puede apreciar de los gráficos anteriores, para el sensor 1 se infiere que aproximadamente luego de 180 minutos de conectado a fuente el sensor obtiene datos estables.

✓ Para el Sensor 2, alimentado con Vcc = 4.989 V, se muestran los voltajes leídos con un multímetro en diferentes tiempos, donde el tiempo cero representa la lectura a partir de las 9:43 a.m. del día 31-03-15.

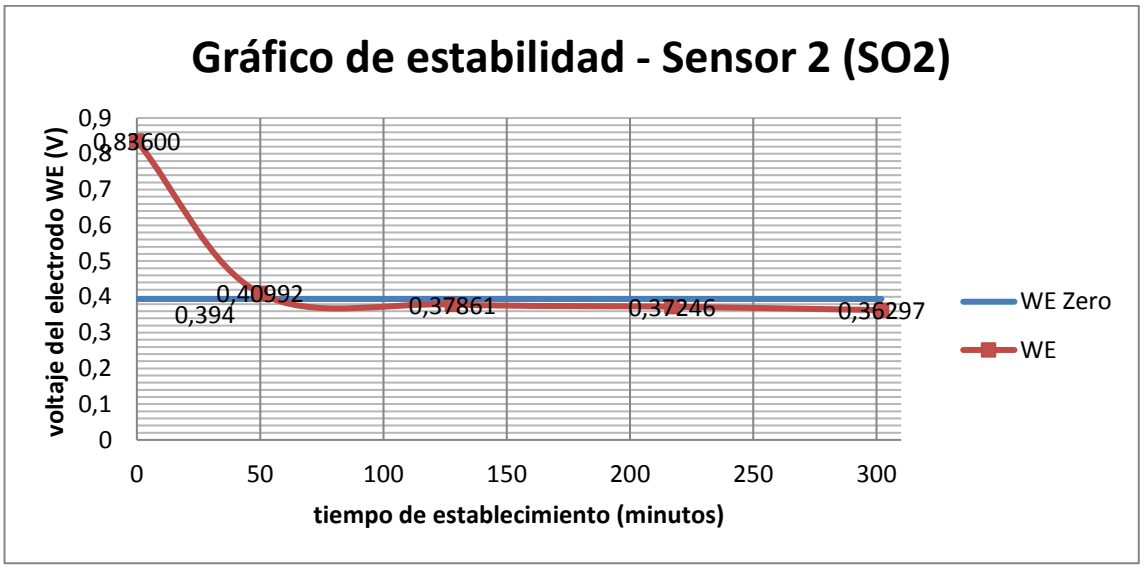


Figura 23: gráfico de estabilidad del voltaje del electrodo de trabajo para el SO2

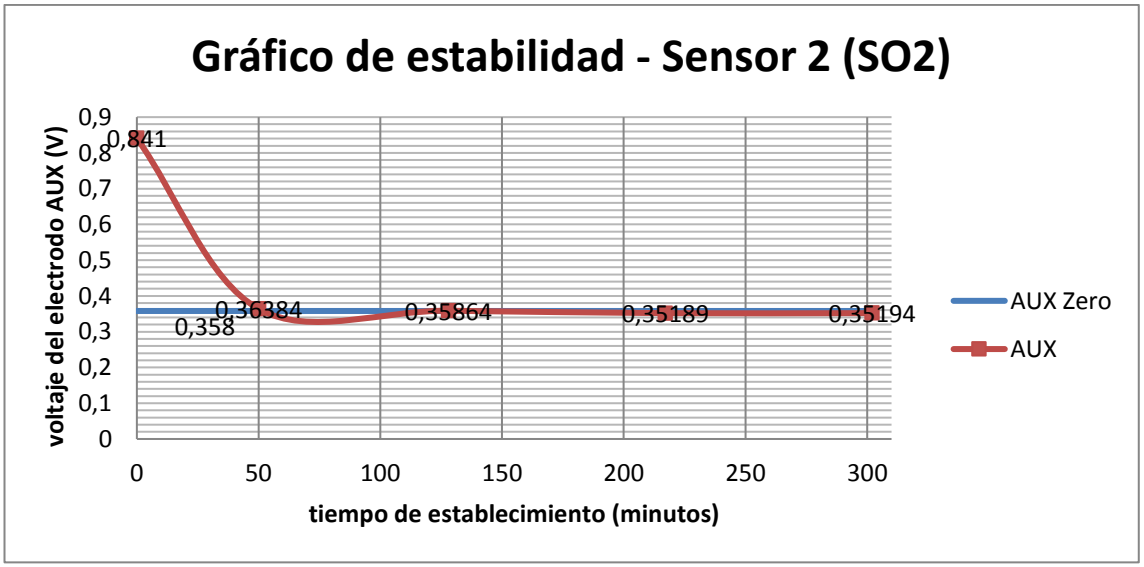


Figura 24: gráfico de estabilidad del voltaje del electrodo auxiliar para el SO2

Como se puede apreciar de los gráficos anteriores, para el sensor 2 se infiere que aproximadamente luego de 50 minutos de conectado a fuente el sensor obtiene datos estables.

✓ Para el Sensor 3, alimentado con Vcc = 5.015 V, se muestran los voltajes leídos con un multímetro en diferentes tiempos, donde el tiempo cero representa la lectura a partir de las 9:41 a.m. del día 10-04-15.

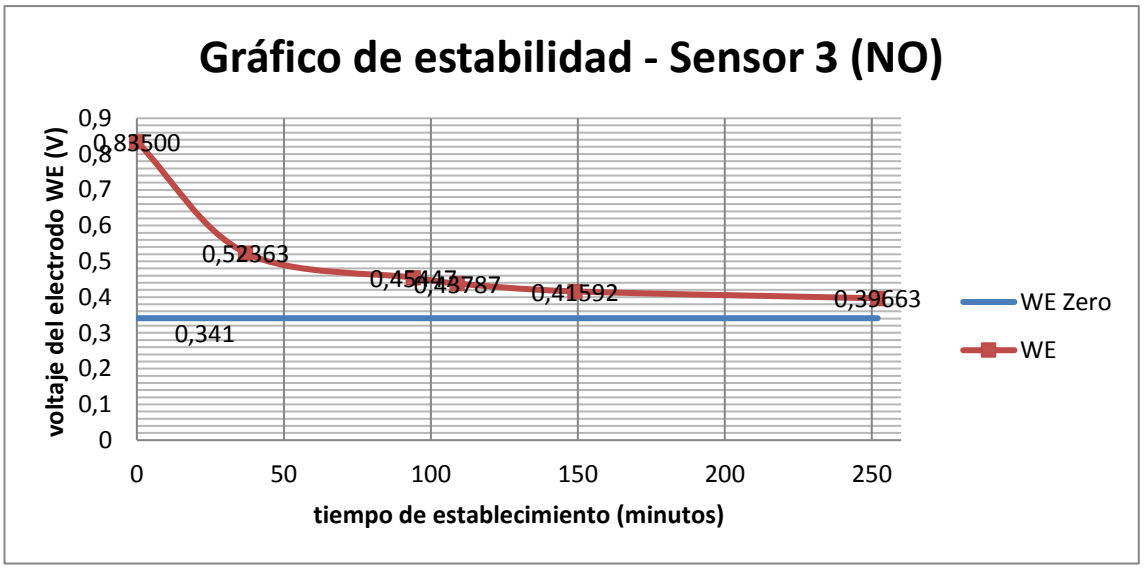


Figura 25: gráfico de estabilidad del voltaje del electrodo de trabajo para el NO

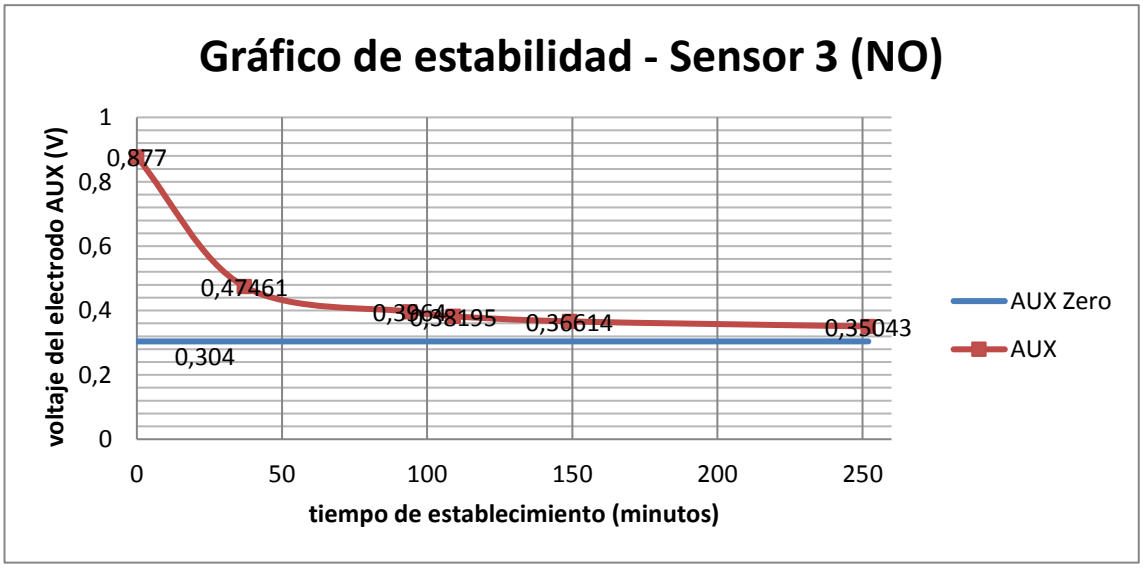


Figura 26: gráfico de estabilidad del voltaje del electrodo auxiliar para el NO

Como se puede apreciar de los gráficos anteriores, para el sensor 3 se infiere que aproximadamente luego de 200 minutos de conectado a fuente el sensor obtiene datos estables.

De forma paralela a la medición de los tiempos de establecimiento de las lecturas de los sensores vistos anteriormente, se desarrolló un circuito y una placa respectiva para los ADC's 1867 de 16 bits que se utilizará para adquisición de los datos enviados por los 6 sensores con sus ISB's respectivos.
La utilización de este ADC es debido a que la tarjeta Arduino DUE utilizada para la adquisición inicial de la data poseía ADC's internos de 12 bits y en base al manual del ISB para reducir el ruido es recomendado usar una mayor resolución.

De la hoja de datos del ADC 1867 [anexo B2], fabricado por Linear Technology, se pueden sacar algunas características importantes de este conversor:

- Tiene una tasa de muestreo de 200Ksps.
- Resolución de 16 bits.
- Comunicación SPI y empaquetado SSOP.
- Operación normal con 5V.
- Posee 8 canales multiplexados con entrada simple o diferencial y en modo de conversión unipolar o bipolar.

En la figura 4 se muestra la configuración de pines del ADC 1867 y el filtro RC recomendado por el fabricante para un entrada simple, configuración que se utiliza para la data de todos los sensores en el proyecto.

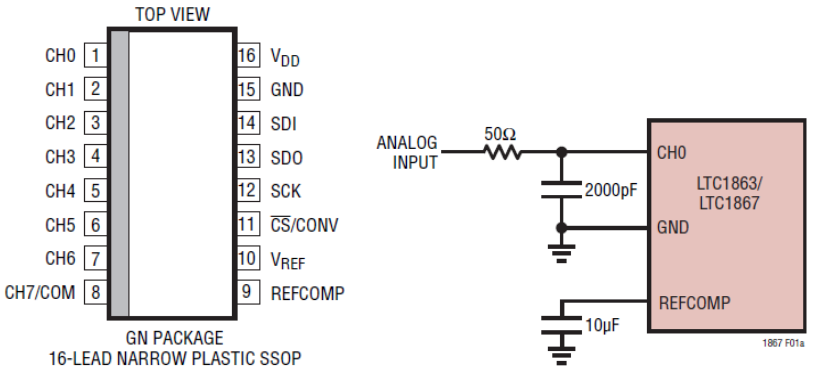


Figura 27. Configuración de pines y entrada simple del ADC 1867

En el circuito que se muestra a continuación se utilizan 2 ADC's debido que cada sensor tiene dos salidas (WE y AUX), utilizando por tanto 6 canales por cada conversor por 3 sensores respectivamente.

Como se mencionó en un párrafo anterior se utiliza la configuración del filtro RC para simple entrada en los ADC's, asimismo se utilizan los valores recomendados por la hoja técnica del conversor para los capacitores de desacople en la fuente de alimentación, en el voltaje de referencia y en el Refcomp.

La alimentación de los sensores y de los conversores están separadas (siendo del mismo valor), pero compartiendo la misma tierra.

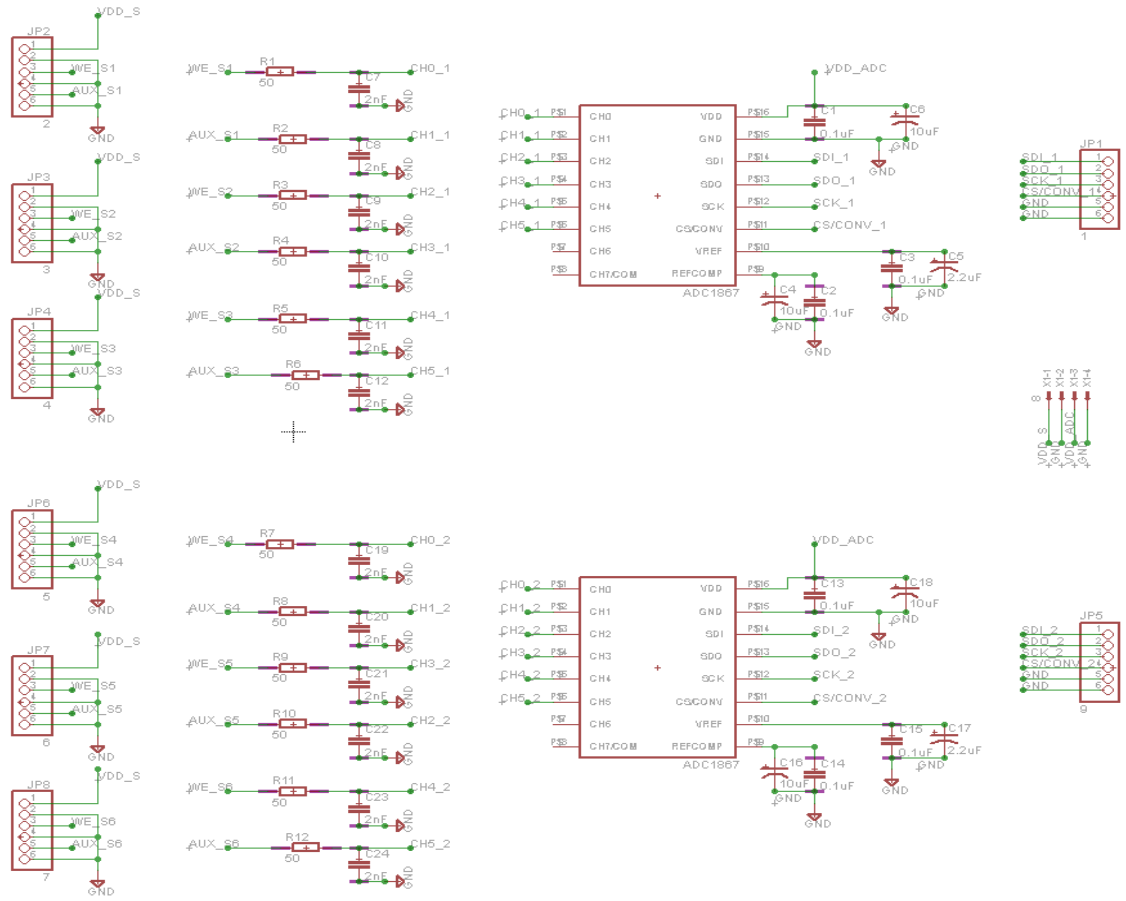


Figura 28. Circuito de los ADC's con sus respectivas entradas de los sensores.

4.3 APAGADO Y ENCENDIDO DEL EQUIPO

- PULSADOR: Servirá para la alimentación de energía de todas las partes del equipo.

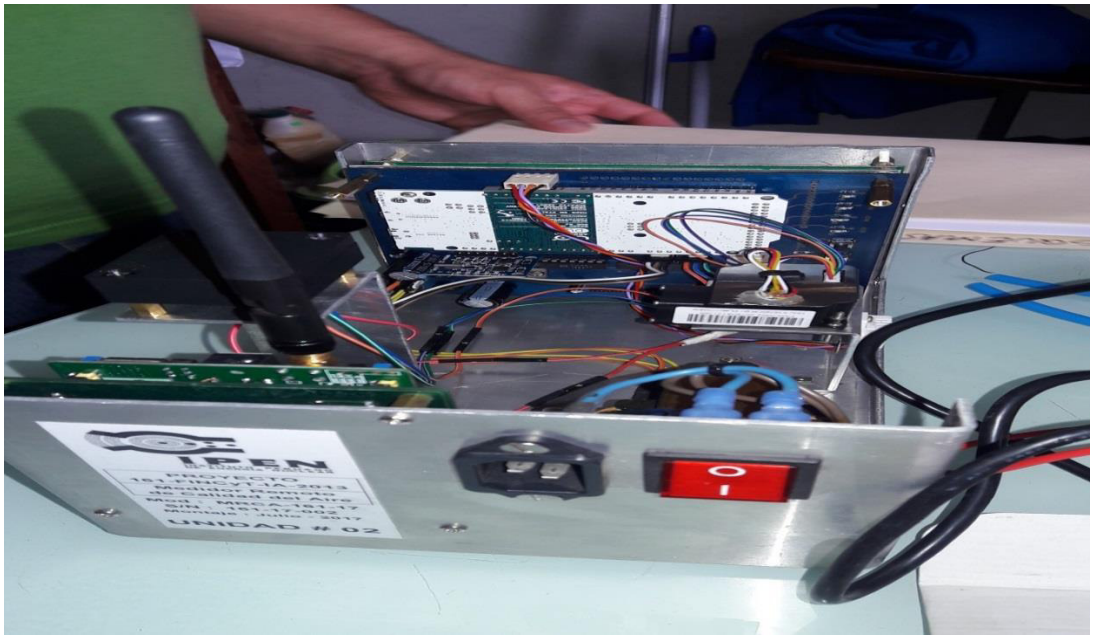


Figura 29. Panel frontal del sistema de medida

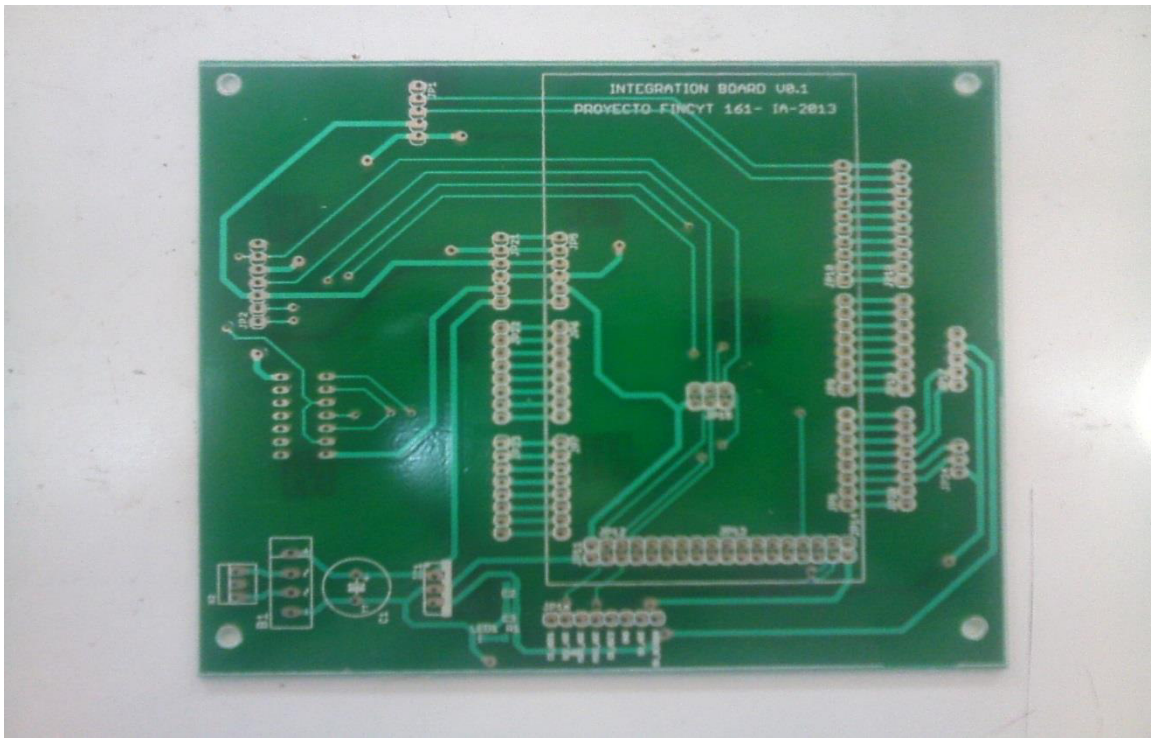


Figura 30: Impreso para el control de recepción de la data

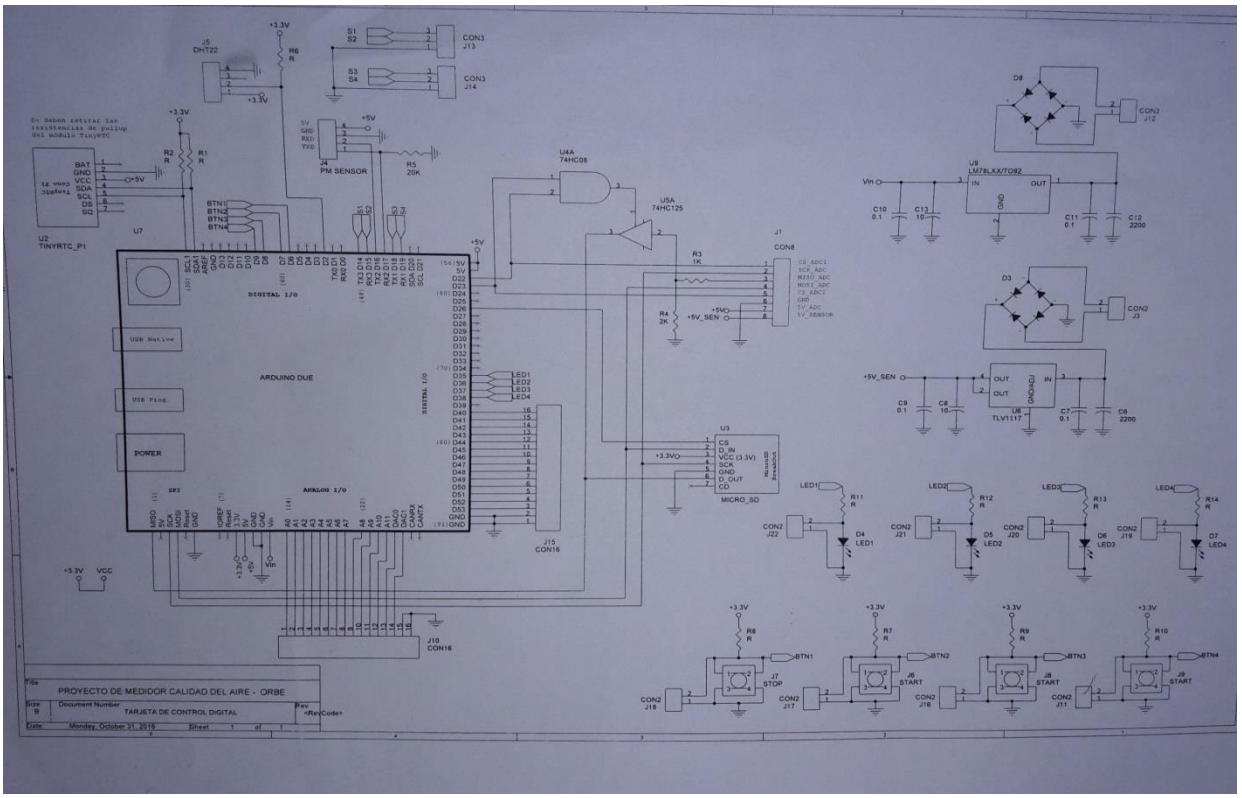


Figura 31. Circuito para el control de recepción de la data

Para la transmisión a distancia de toda la información obtenida de los sensores en tiempo real se ha trabajado con 2 Shields GPRS V1.4 SLD33149P como se muestra en la Fig.32.



Figura 32: Shield GPRS V1.4.

Se mencionarán algunas características del Shield, las cuales son fundamentales para proyecto, la información completa se encuentra en su página web de referencia [12]. Este Shield GPRS mandará la data desde un sitio remoto, siendo así un componente importante para el proyecto. Este funcionará como un celular.



Fig.33 SIM900 - SIMCOM utilizado en el Shield GPRS.

Algunas otras características del Shield GPRS son:

- Banda Cuadrada de 850/900/1800/1900 MHz, con lo cual se podría trabajar con redes GSM a través de todo el mundo.
- Se puede realizar su control mediante comandos AT: Comandos Estándar: GSM 07.07 & 07.05 | Comandos Mejorados: SIMCOM Comandos AT.
- Servicio de mensajes cortos, se puede enviar una pequeña cantidad de datos a través de la red (ASCII o hexadecimal).
- En el shield está incluido la antena GSM y la tarjeta SIM, como se muestra en la Fig.34.

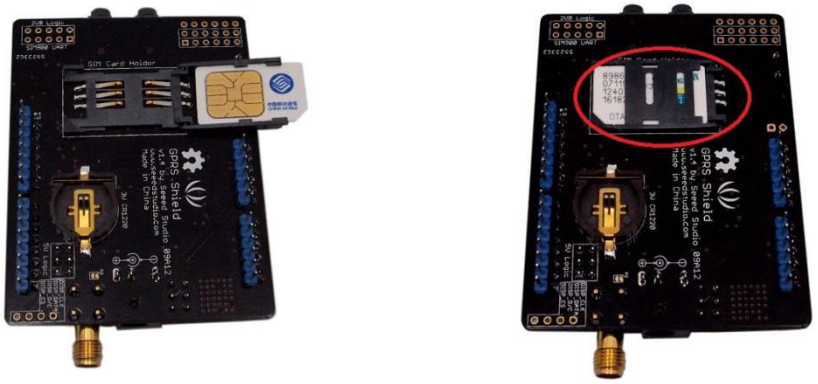


Fig.34 La tarjeta SIM y su soporte dentro del Shield GPRS en la parte trasera.

Para las pruebas de funcionamiento de los 2 Shields disponibles utilizados tarjetas SIM de Claro y Movistar, además el shield GPRS se montó sobre una tarjeta Arduino UNO. Para ambas tarjetas SIM mencionadas se hicieron las pruebas de enviar y leer breves mensajes de textos mediante código en Arduino y los cuales están disponibles en el internet. Se utiliza la librería disponible de GSM en Arduino y se muestran mensajes de la ejecución de la tarea de acuerdo a la comparación de las respuestas deseadas con las obtenidas del shield cuando se envían ciertos comandos AT.

Algo importante que se debe tener en cuenta para el correcto funcionamiento del Shield GPRS, es su trigger. Se puede realizar mediante hardware o software, en nuestro caso lo realizamos por hardware.
Luego de la programación del Arduino y el montaje del shield, se debe mantener pulsado durante 2 segundos el pulsador PWRKEY, luego del cual se encenderán las luces Status LED y Net LED, los cuales serán indicadores que el shield GPRS se ha encendido correctamente. Estas partes del shield se muestran en la Fig.35.

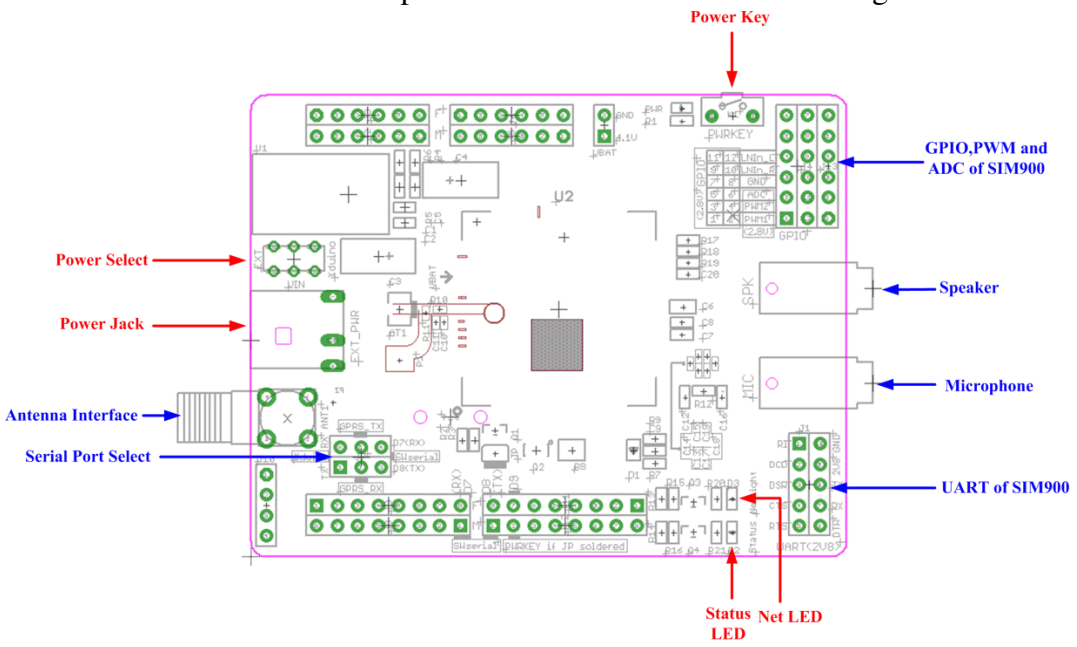


Fig.35 Descripción genérica del hardware del Shield GPRS.

Prueba de leer un mensaje de texto:
Se muestra el texto obtenido en un terminal (Bray++) de los pasos que emplea el código en Arduino para leer el primer mensaje de texto que contiene un chip.

En la Fig.9 se muestra el correcto funcionamiento de un shield GPRS y la lectura de la tarjeta SIM (chip) que contiene.

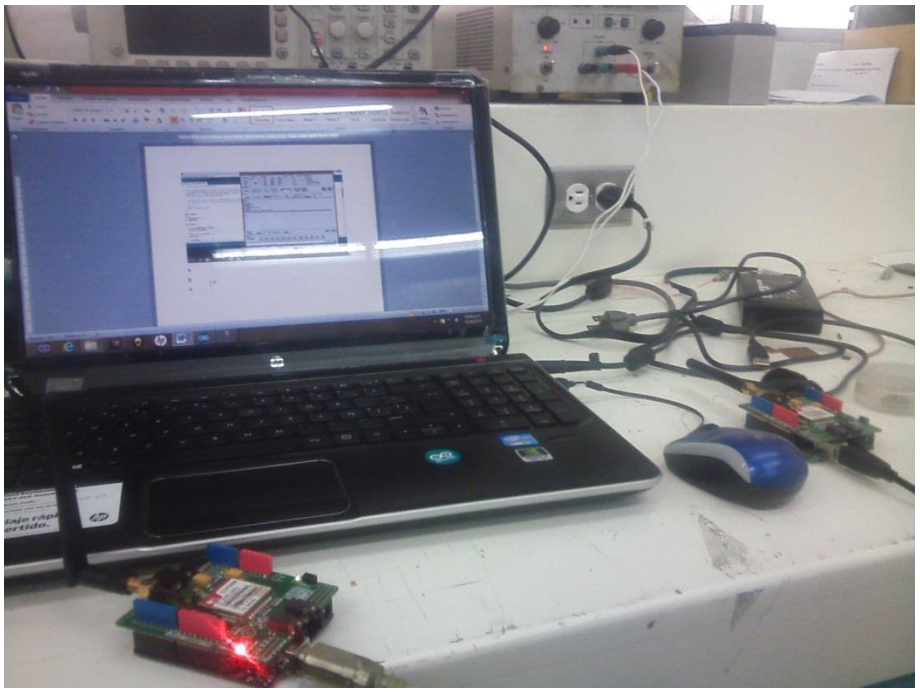
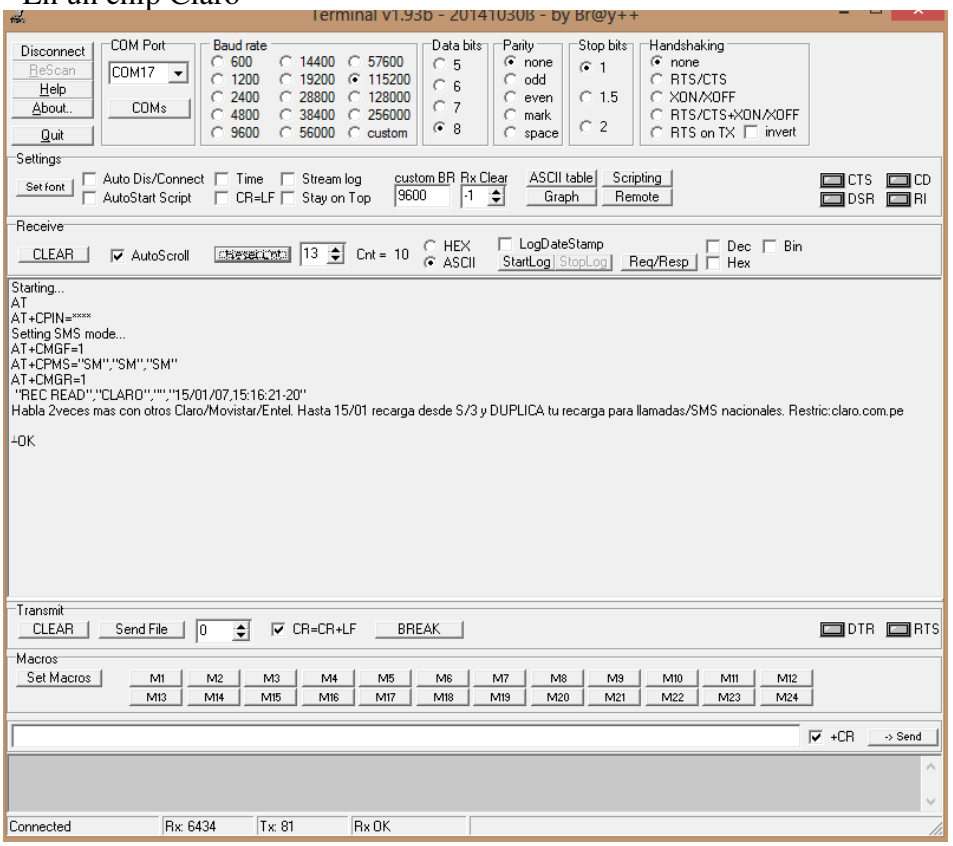
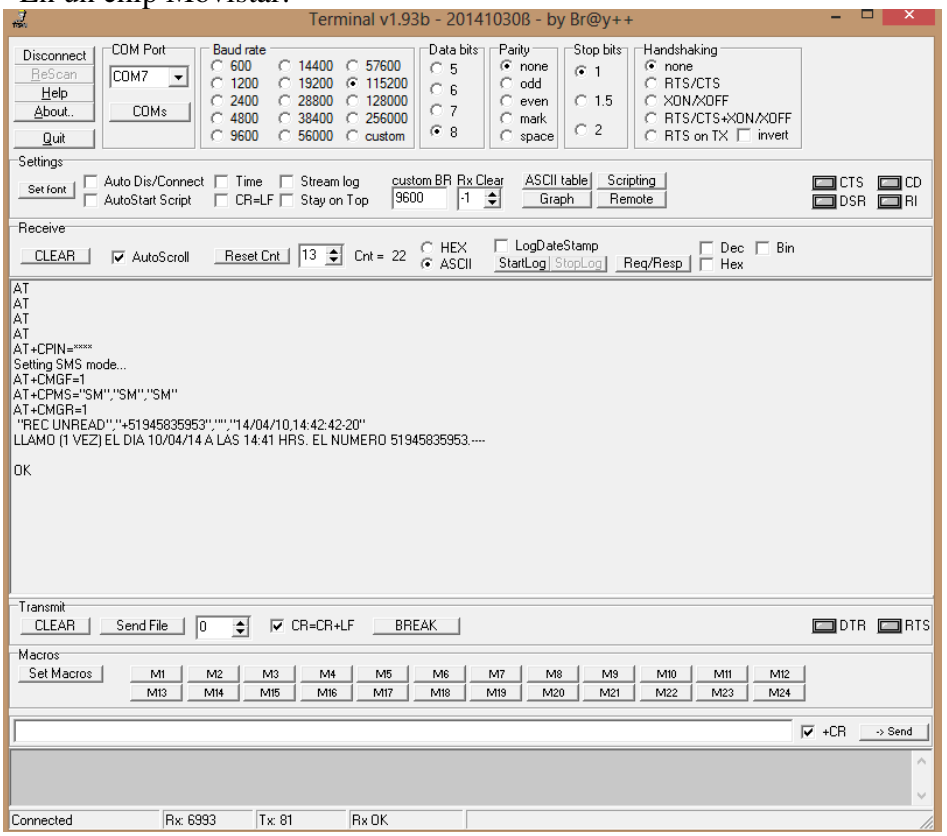


Fig.36 Shield GPRS conectado correctamente a una laptop para la lectura del mensaje de texto que contiene su tarjeta SIM

- En un chip Claro



- En un chip Movistar:



Prueba de enviar un mensaje de texto:

El texto en el terminal muestra los pasos del código en Arduino para enviar un mensaje de texto a un celular.

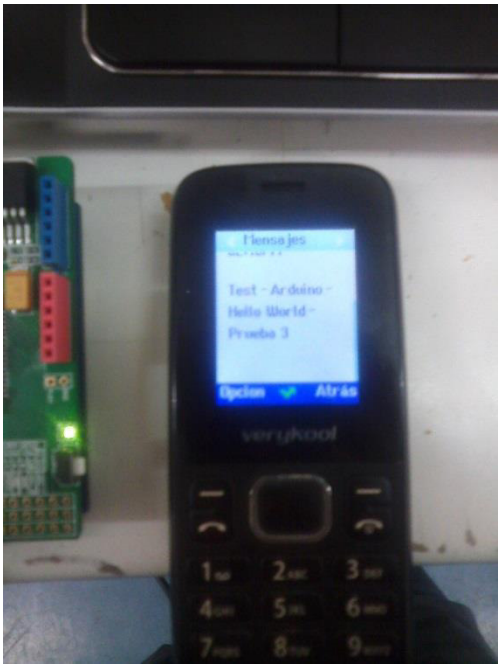
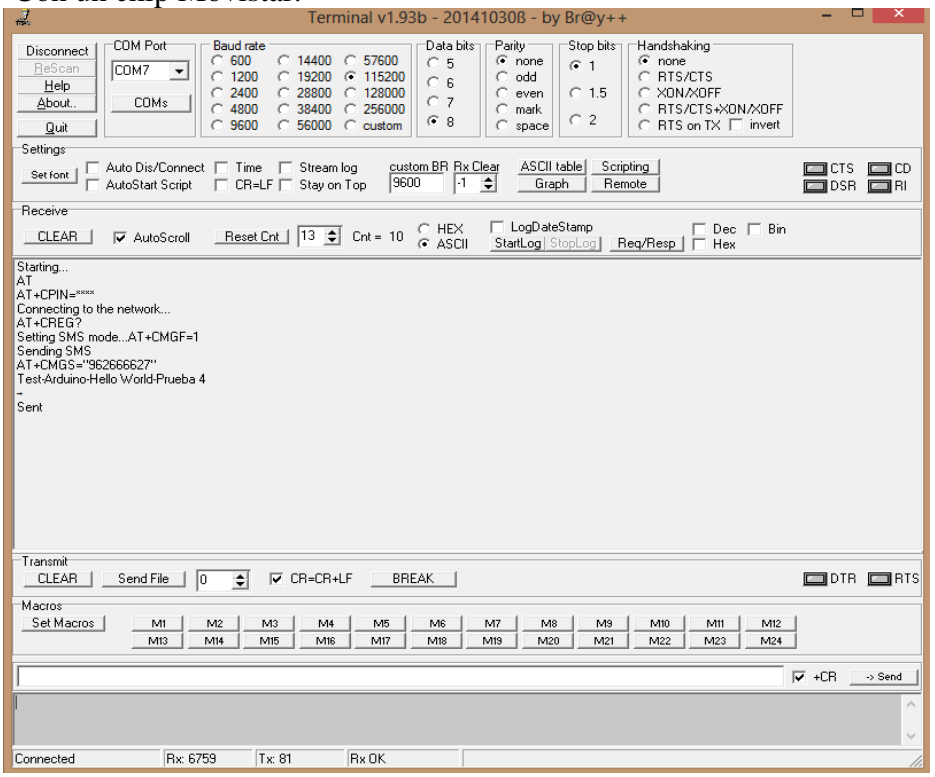


Fig.37 Figura del mensaje recibido en el celular el cual fue enviado por el código en Arduino mediante la antena GSM del shield GPRS.

- Con un chip Movistar:



Debido a la limitación de la utilización de mensajes de texto para el envío de grandes cantidades de datos a larga distancia, se utilizará el servicio GPRS mediante el protocolo TCP/IP y el acceso a internet.

Para lograr esto, el SIM900 debe ser configurado de una forma diferente, y debe operar en modo simple o múltiple, así como también en modo transparente o no transparente, como se indica en la Fig.11.

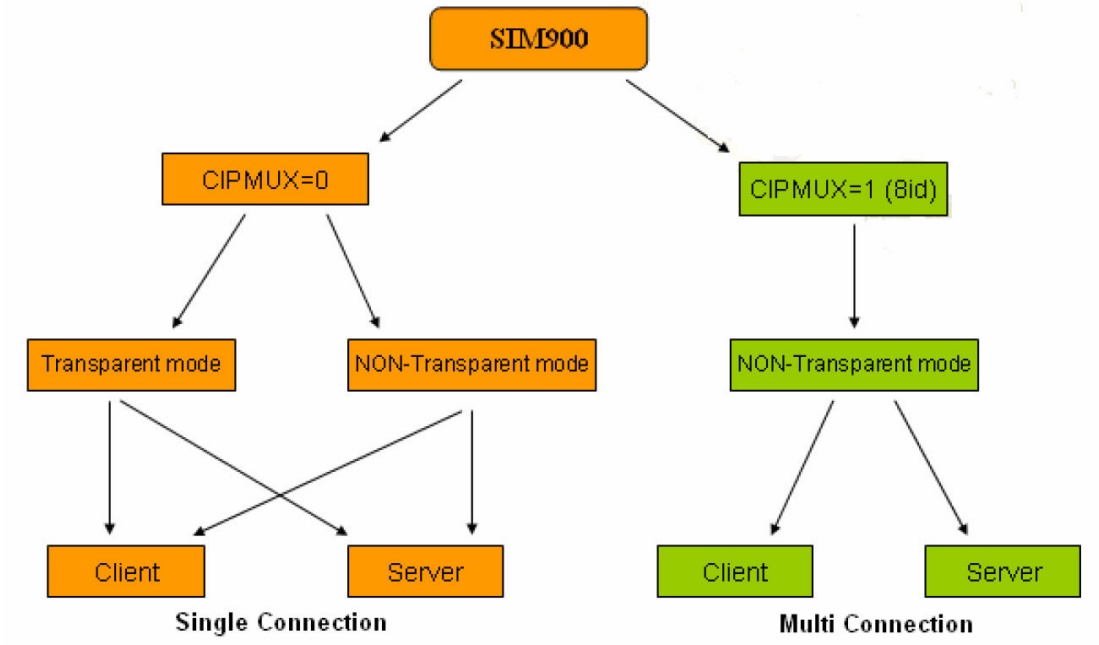


Fig.38 Estructura de las diversas configuraciones del SIM900 en TCP/IP

El SIM900 por defecto está configurado en conexión simple y en modo no transparente. En caso quisiéramos cambiar del tipo de conexión se debería utilizar el siguiente comando AT:
AT+CIPMUX = 0 - 1; conexión simple o conexión múltiple, respectivamente.

Para realizar las pruebas si el SIM900 respondiera conforme se desea a ciertos comandos AT básicos, se conectó un FTDI Básico que enviara los comandos AT mediante el terminal Bray++ visto anteriormente desde la PC al pin receptor (Rx) del shield GPRS, y que recibiera la respuesta del SIM900 desde su pin transmisor (Tx) y que sea mostrado también por el terminal. En la Fig.12 se aprecia este conexionado y en la Fig.13 se muestra la ubicación del jumper en el shield para este tipo de comunicación.

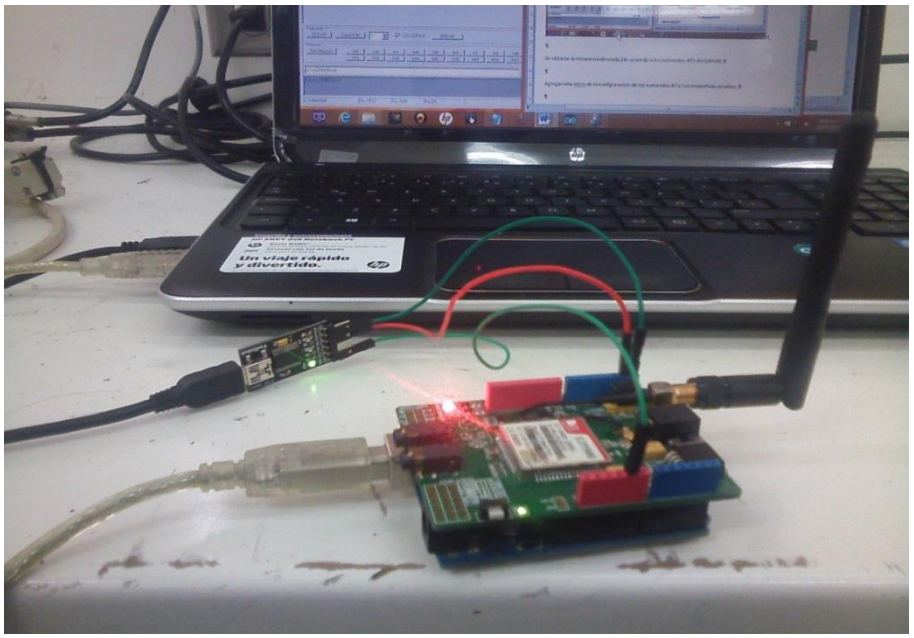


Fig.39 Conexionado entre el FTDI Básico y el shield GPRS alimentado por un Arduino UNO.

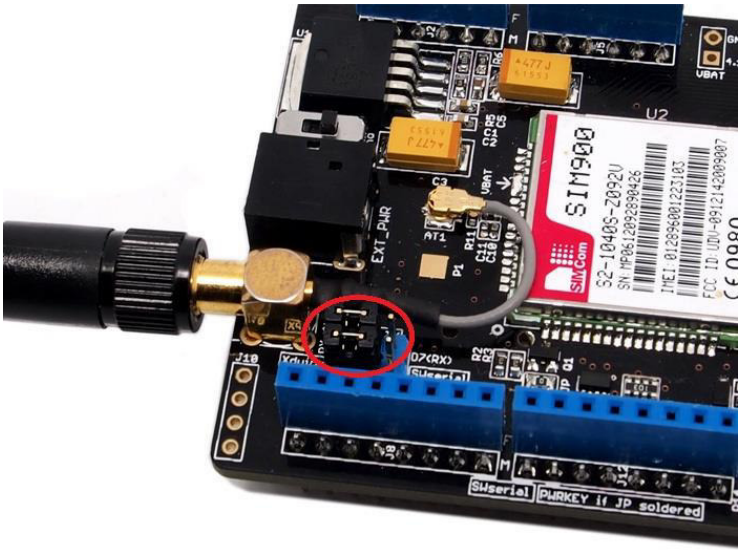
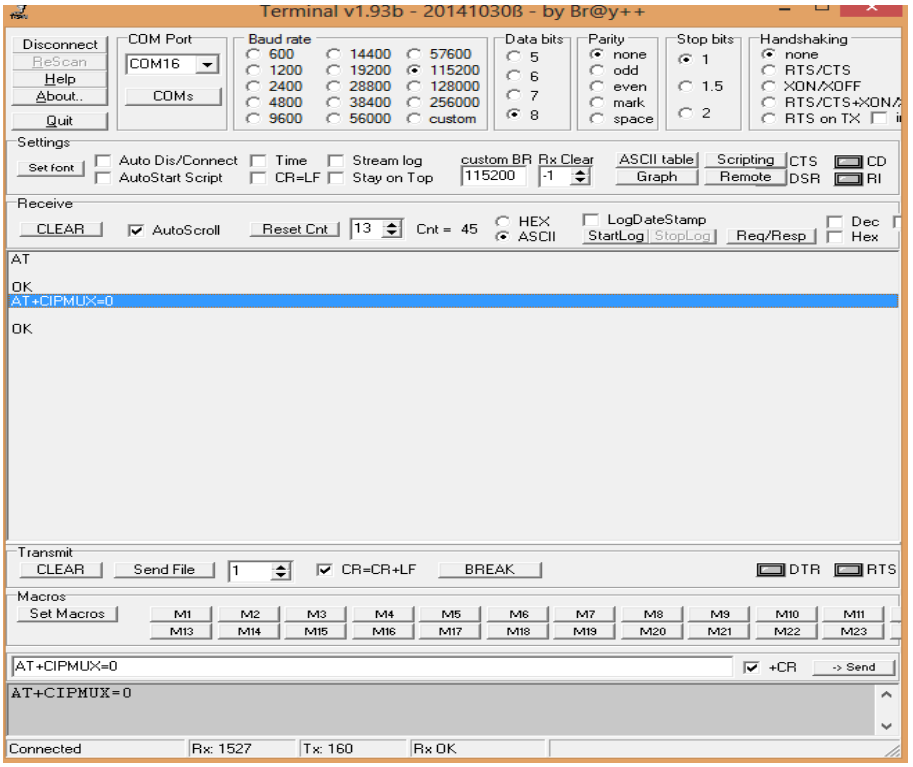


Fig.40 Ubicación del jumper en el shield GPRS para lograr una comunicación serial por hardware.

Para una prueba simple que se mostrará en el terminal, se enviaron los comandos AT y AT+CIPMUX=0, en ambos casos se obtuvieron la respuesta OK indicando para el primer comando que la comunicación con el módulo está trabajando correctamente y para el segundo comando que se ha realizado correctamente una configuración en conexión simple.



Como siguiente prueba se realizó la configuración del shield GPRS en modo Cliente TCP, para ello se envían los siguientes comandos AT (luego de cada comando se muestra la respuesta esperada):

AT ; para verificar si la comunicación está trabajando correctamente
OK
AT+CREG?
+CREG:0,1 ;señal
OK
AT+CGATT?
+CGATT:1 ; conectado al servicio GPRS
OK
AT+CSTT="movistar.pe","movistar@datos","movistar" ; APN, usuario y contraseña de movistar
OK
AT+CIICR ; enciende la conexión inalámbrica
OK
AT+CIFSR ; obtiene el IP local
10.78.245.128
AT+CIPSTART="TCP","www.google.com.pe","80"// puerto 80 para host name
AT+CIPSTART="TCP","211.123.11.21","1234" // puerto 1234 para IP address
OK

CONNECT OK ; conectado al servidor
AT+CIPSEND ; enviar data al servidor remoto
> hello TCP server + (ctrl -Z = #026)
SEND OK ; el servidor recibió el dato correctamente
CLOSED ; servidor cierra la conexión
AT+CIPCLOSE ; cerrar conexión

Para el almacenamiento de los datos obtenidos se utilizó una memoria microSD de 16GB de capacidad de la marca Kingston Technology y un adaptador para dicha memoria de la marca Catalex V1.0. (catalex.taobao.com).

Para las pruebas de funcionamiento se utilizó un Arduino DUE, la memoria micro SD y su adaptador mencionados anteriormente como se muestra en la Fig. 42.

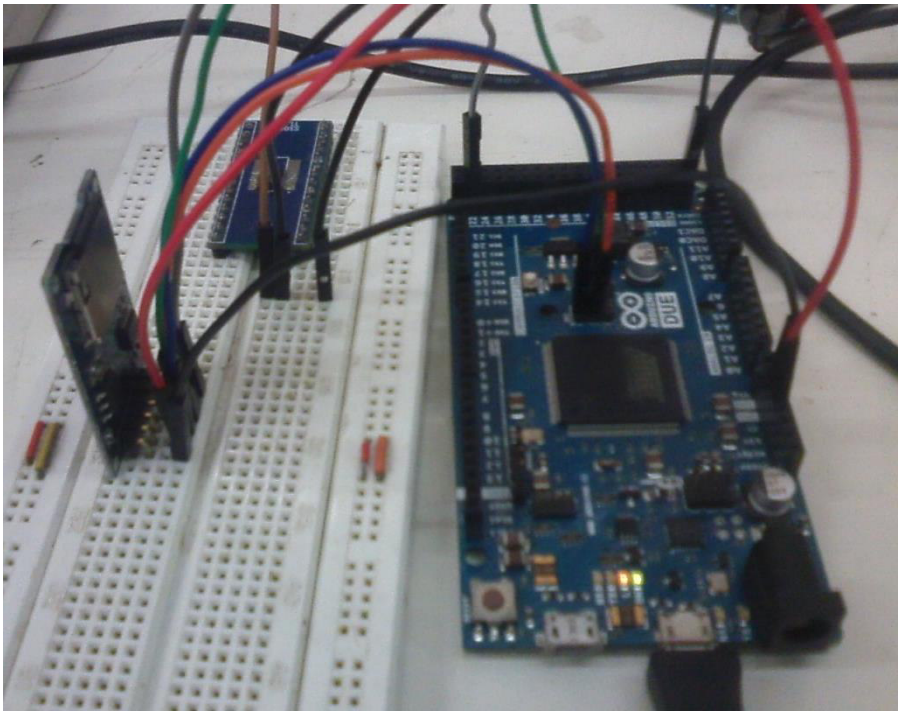


Figura 42 Conexionado entre el microcontrolador y la memoria microSD.

Debido a que el grabado de un dato se realiza luego de haberlo adquirido utilizando la misma comunicación SPI que utilizan los ADC's, fue necesario utilizar un buffer para habilitar y deshabilitar la memoria cuando se realiza o no un grabado de data de los sensores, respectivamente. Se utilizó el integrado 74HC125N como buffer que limita el voltaje de comunicación SPI a 3.3V.
De forma adicional se implementó en la nueva placa, un reloj de tiempo real (RTC) para que cada data de los sensores pueda ser identificada por la hora en el que fue adquirida. También se extendieron los pines de entradas y salidas de la tarjeta del microcontrolador para aplicaciones futuras en que se los necesiten.

La alimentación tanto del buffer, la memoria microSD y el RTC deriva de la tarjeta de arduino, mientras que ésta a la vez es alimentada por la fuente lineal implementada a la placa, cuya alimentación proviene de un transformador conectado a la red eléctrica 220Vac.

La placa diseñada se muestra en la figura siguiente, donde se pueden apreciar las partes: Fuente lineal, pines de conexión con la placa de ADC's, tarjeta del microcontrolador, buffer y memoria microSD, RTC, pines de comunicación GPRS y pines de conexión con el sensor de material particulado.

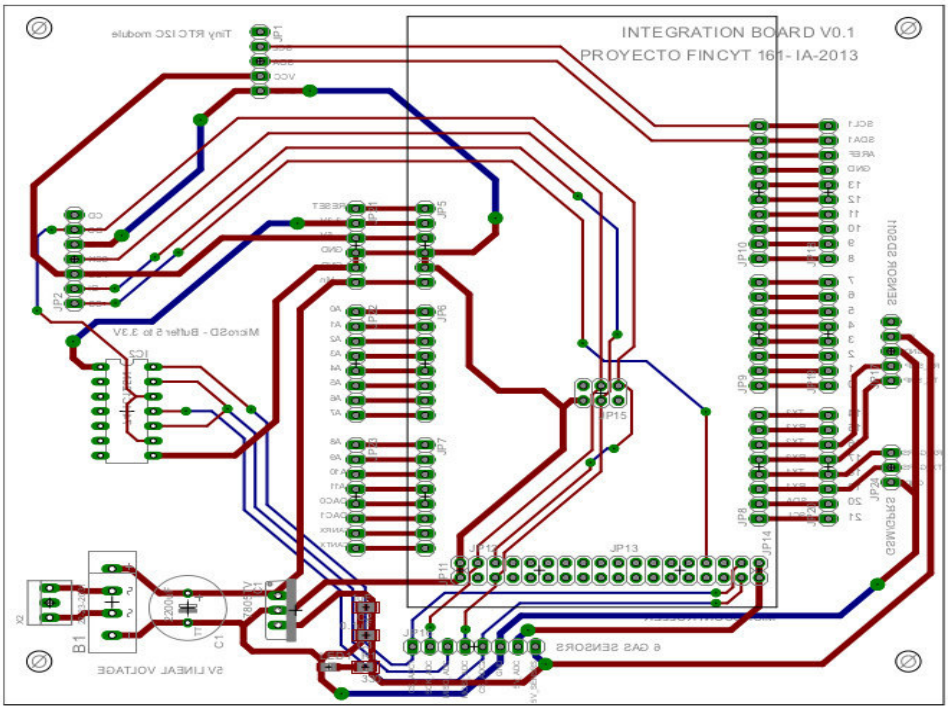


Figura 43 Placa de integración V 0.1. para grabación de datos de los sensores en una memoria SD.

La tarjeta fue impresa, los componentes fueron soldados y se corrigieron algunos errores de impresión. Se hicieron las primeras pruebas de funcionamiento y se comprobó que se logran grabar los datos correctos de los sensores en la memoria microSD.

En las figuras siguientes se muestran las placas implementadas con la memoria microSD.

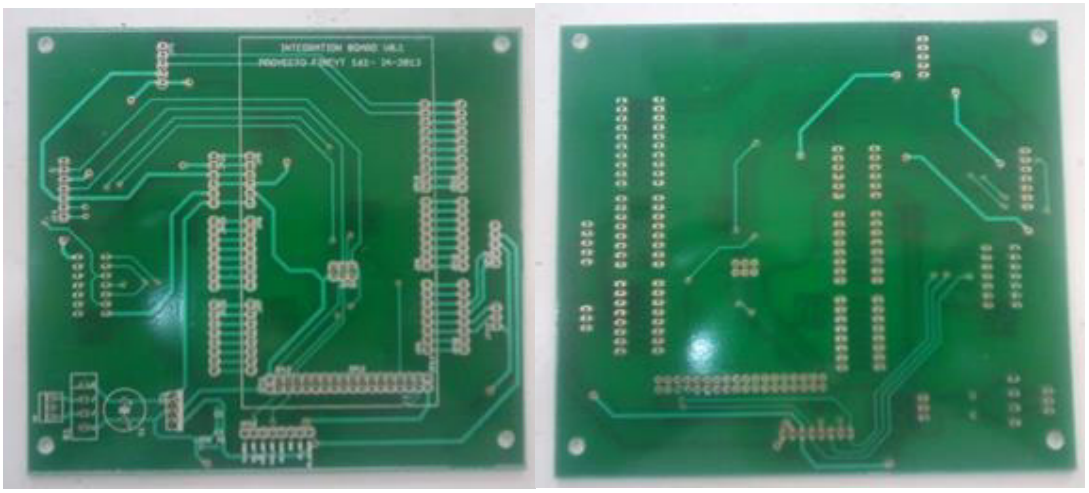


Figura 44 Cara superior e inferior de la tarjeta impresa que contiene a la memoria microSD y al RTC



Figura 45: Tarjeta de ADC's y la nueva tarjeta acopladas y alimentadas con la fuente lineal, con el transformador cerca a ellas.

4.4 ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO

4.4.1 TOMA DE MUESTRA PARA LA CALIBRACIÓN

Por los sensores de gases pasaremos oxígeno puro para encontrar los nuevos valores de los voltajes de trabajo y auxiliar y tener así una mejor precisión en nuestras medidas.

4.4.2 INGRESO DE LAS MUESTRAS

Se creó una cámara de ingreso de muestras para su respectiva calibración con este instrumento solo se permite el paso del gas requerido.

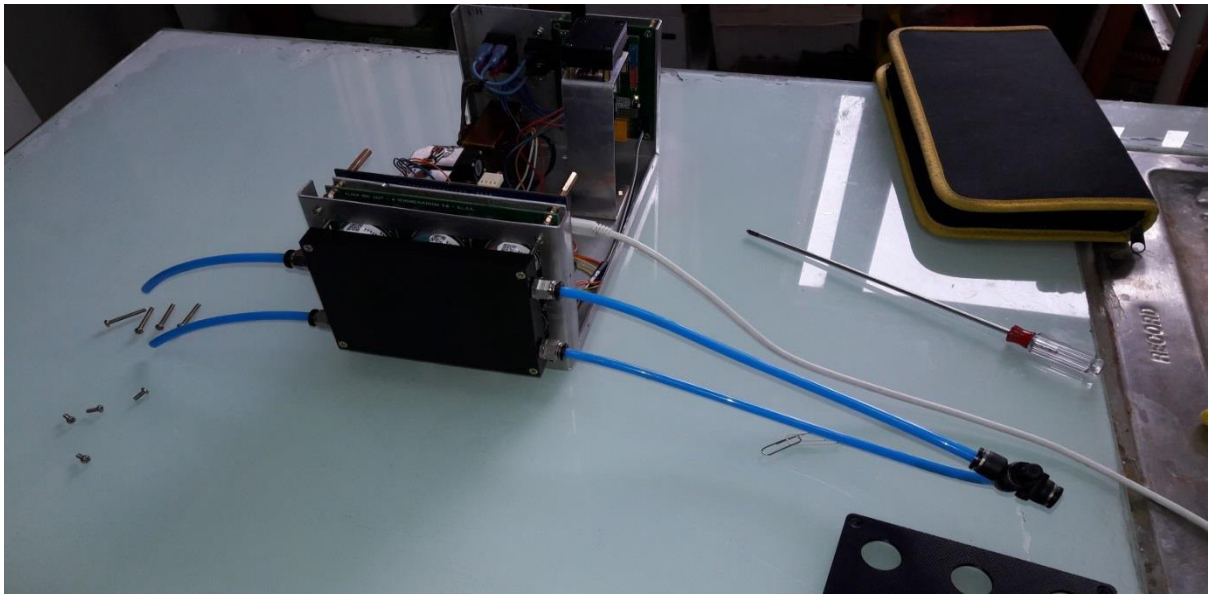


Figura 46: Procedimiento de calibración de los sensores.

4.4.3 ENSAMBLAJE DE LAS PARTES

La caja es de metal y permite ensamblar de manera fácil la tarjeta principal, la tarjeta de gases y sensores meteorológicos.

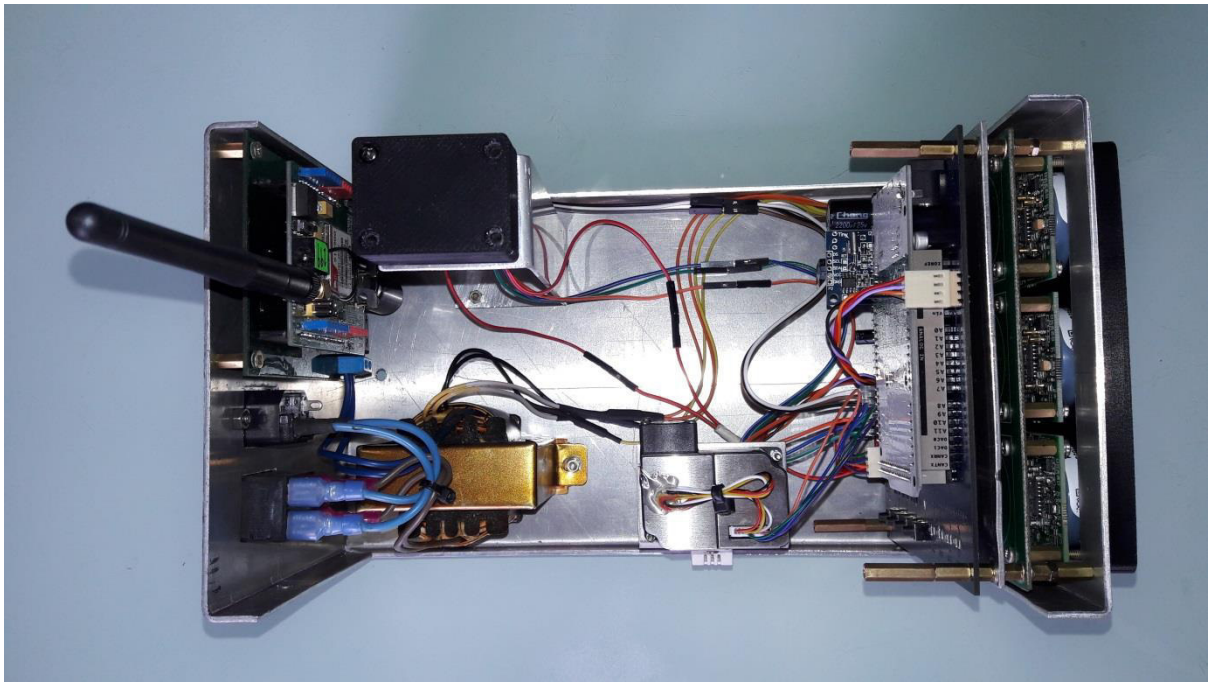


Figura 47: Parte interna del Equipo.

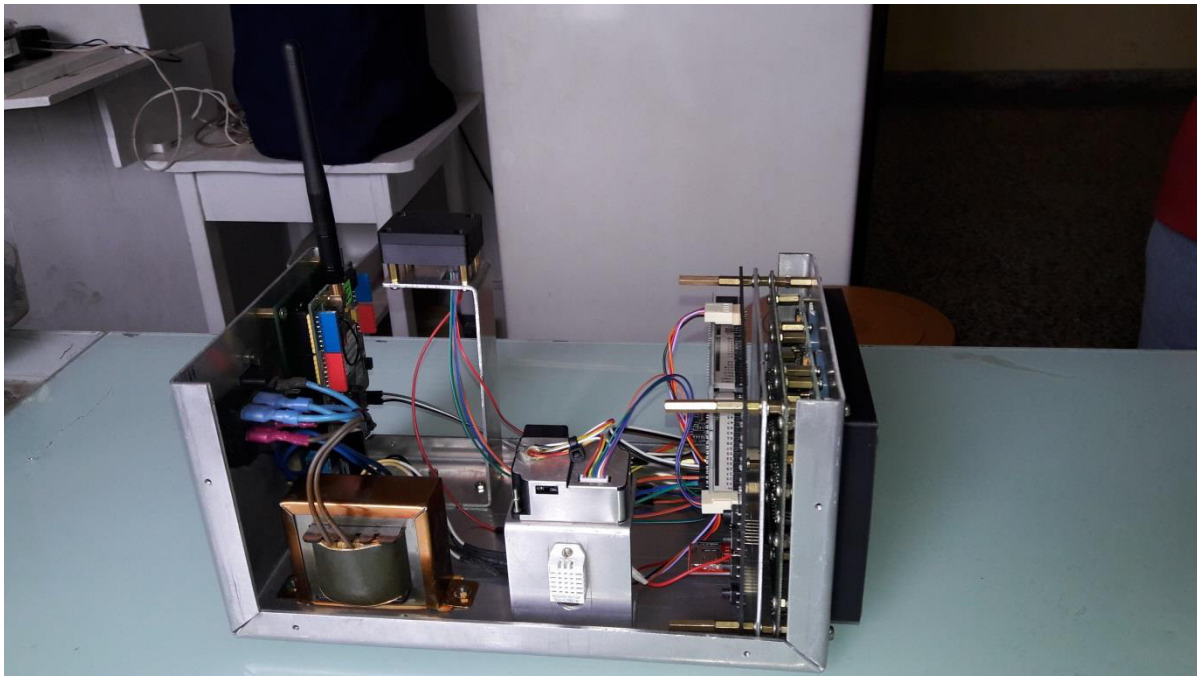


Figura 48: Implementación del prototipo final

4.4.4 SUBRUTINA DE ENTRADAS ANÁLOGAS Y SALIDA DIGITAL

El ADC elegido (ADC1867 de 16 bits) está integrado a un circuito desarrollado por nosotros e impreso a una placa PCB (placa de circuito impreso). Se usará la comunicación SPI.

4.4.4.1 Adquisición de la muestra

En el código arduino se incorpora un contador de las conversiones que realiza el ADC, va juntando todas las lecturas que obtiene (cada 1000 conversiones) y los acumula en un número predeterminado que sería la cantidad de conversiones que queremos promediar y esto sería un primer dato que se grabaría, luego el contador se reinicia y empieza nuevamente el proceso.

El bucle conlleva en la utilización de una gran cantidad de memoria por parte del microcontrolador una razón más del porque se utiliza el **ARDUINO DUE.**

4.4.5 Subrutina comunicación pc



Figura 49: interfaz gráfico – usuario creado con el programa DELPHI para la comunicación entre el sistema de medida y la PC.

Solo el hecho de tener como microcontrolador la **plataforma arduino,** facilita enormemente la conexión del equipo de medida y la PC gracias al software amigable y diversos ejemplos que esta plataforma posee.

4.4.5.1 Cálculo de la muestra

Como se explicó en la descripción de los sensores de gases, los datos recibidos de estos están en función a sus voltajes tanto en el electrodo de trabajo como el auxiliar, por ende, es necesario realizar un cálculo utilizando los datos adquiridos y las constantes proporcionadas por el fabricante tabla 4.1.

Columna	Descripción	Datos de la celda	Comentarios
A	Tiempo	De su sistema de adquisición de datos	El muestreo más rápido de 1 segundo rara vez es útil a menos que reduce el ruido.
B	WE (OP1)	mV desde el canal 1 del ISB	Una resolución de 0,1 mV es ideal
C	WE-Vo	Columna B-Vo (constante especificada en la etiqueta de la bolsa ISB)	Restar los valores típicos We de voltaje de compensación es la segunda columna de la tabla 2.
D	Aux (OP2)	mV desde el canal 2 del ISB	Una resolución de 0,1 mV es ideal.
E	Aux-Vo	Columna D -Vo (constante especificada en la etiqueta de la bolsa ISB)	Calcula la tensión de offset; Aux-Vo, son desplazamientos típicos con la segunda columna de la tabla anterior. Esta diferencia es de unos pocos mV.
F	ppm	La columna C / sensibilidad (especificada en la etiqueta de la bolsa ISB)	ppm calculada a partir de la sensibilidad constante (mV / ppm), corregida para la tensión de desplazamiento, pero no el electrodo auxiliar.
G	WE-Aux	Columna C - Columna E	Corrección por cualquier deriva en el auxiliar y We (como mV)
H	ppm	Columna G / sensibilidad (especificada en la etiqueta de la bolsa ISB)	ppm, corrección de la desviación de desplazamiento

4.4.6 MONITOREO

Esto permitirá recibir, en tiempo real, toda la información del aire que el sensor está captando en su entorno.

NODO 01 - Lectura de los sensores de Calidad de Aire / Temperatura / Humedad

Ubicación: Casa de la Juventud. Jr. Los Heros # 200. Municipalidad Bellavista. Callao

Timestamp	Unix Timestamp	NO2_W (mV)	NO2_A (mV)	SO2_W (mV)	SO2_A (mV)	CO_W (mV)	CO_A (mV)	O3_W (mV)	O3_A (mV)	NO_W (mV)	NO_A (mV)	H2S_W (mV)	H2S_A (mV)	PM 2.5	PM 10	Temp	Hum
2017-10-23 07:48:14	1508743219	243.1	212.1	384.3	352.3	1150.6	351.1	334.7	345.1	320.4	279.2	352	329.6	17	23	18.4	99.9
2017-10-23 07:47:59	1508743204	242.3	211	366.5	354.9	615.6	348	341.5	344.6	305.7	279.2	344.6	330.8	20	24	18.4	99.9
2017-10-23 07:47:44	1508743189	243.5	211.3	356.6	352.7	554.3	348.9	342.1	345.5	306	279.2	338.6	327.5	17	20	18.4	99.9
2017-10-23 07:47:29	1508743174	243.6	211.3	354	351.4	489.6	348.6	343.8	344.8	303.8	279.2	340.5	329.7	16	20	18.5	99.9
2017-10-23 07:47:14	1508743159	243.5	212.3	358.1	350.9	515.8	351.4	343.8	344.5	304.8	279.2	344.3	331.5	16	20	18.5	99.9
2017-10-23 07:46:59	1508743144	243.5	212.1	370.6	356.1	638.7	352.9	341.8	344.6	304.8	279.2	348.3	332	17	23	18.5	99.9
2017-10-23 07:46:44	1508743129	242	212	383.6	350.5	794.8	351.8	342.8	345.5	306.2	279.1	356	331.9	18	24	18.5	99.9
2017-10-23 07:46:29	1508743114	243.5	212.6	410.1	351.6	1416.5	349.5	341.3	346	305.5	279.2	358.5	328.7	23	27	18.5	99.9
2017-10-23 07:46:14	1508743099	245.6	213.5	363.6	351.3	876.8	347.6	338.3	344.8	314.6	279.2	342.8	327.5	18	27	18.5	99.9
2017-10-23 07:45:59	1508743084	243.6	212.3	350.1	350.6	443.3	349.1	343.1	345.1	306	279.2	338.9	329.1	18	27	18.5	99.9
2017-10-23 07:45:44	1508743069	242.8	211.1	351.2	351.6	426.2	348.8	344.8	345.3	305.5	279.2	335.7	328.3	20	23	18.5	99.9

Figura 50. Recepción de la data captado por los sensores

4.4.7 RECOPILACIÓN DE LA DATA

Los datos que se visualizan en el servidor tiene un promedio de 1 hora, tiempo suficiente para un buen monitoreo, ahora, si se desea realizar un análisis de la concentración nuestro equipo también cuenta con un almacenamiento de los datos vía memoria microSD.

4.4.8 EXPORTACIÓN DE LA INFORMACIÓN

En este proceso se guarda en formato .txt fácil de abrir con el lenguaje Excel o cualquier otro lenguaje de programación.

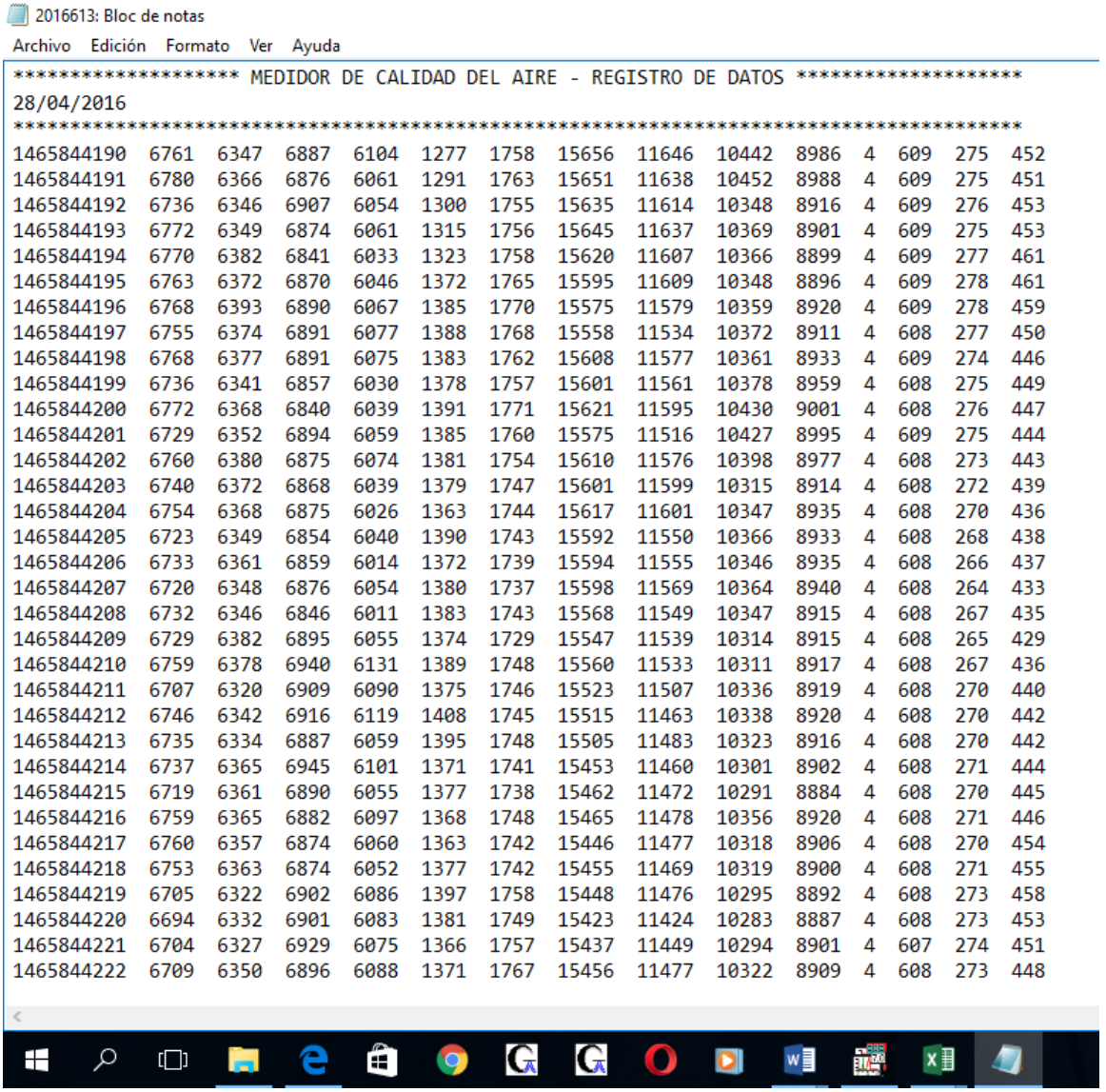


Figura 51. Archivo .txt descargado

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 GENERALIDADES

En esta sección se detallan los instrumentos que hemos necesitado para la comprobación en la medición de los contaminantes. Además, se mostrará las mediciones obtenidas en campo.

5.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS

Las medidas patrones fueron desarrolladas en unos de los laboratorios de química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, y como gas patrón se utilizó el aire sintético.

5.3 ORGANIZACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

- Tanque con el aire sintético.
- Tubos conductores flexibles de teflón conectados a la cámara de muestreo para la entrada y fuga del gas sintético.

5.4 PROCESO DE CALIBRACIÓN

Antes de realizar la medida en campo, es necesario verificar que el sensor nos brinde la medida correcta. Y así dar garantía de que los datos medidos son confiables.

- **Instalación del aire sintético con los sensores**

Con el propósito de no dañar el equipo se cuenta con una válvula de regulación (2 – 3 bares) y otra para controlar la presión del envase. Las conexiones se muestran en la Figura 52.

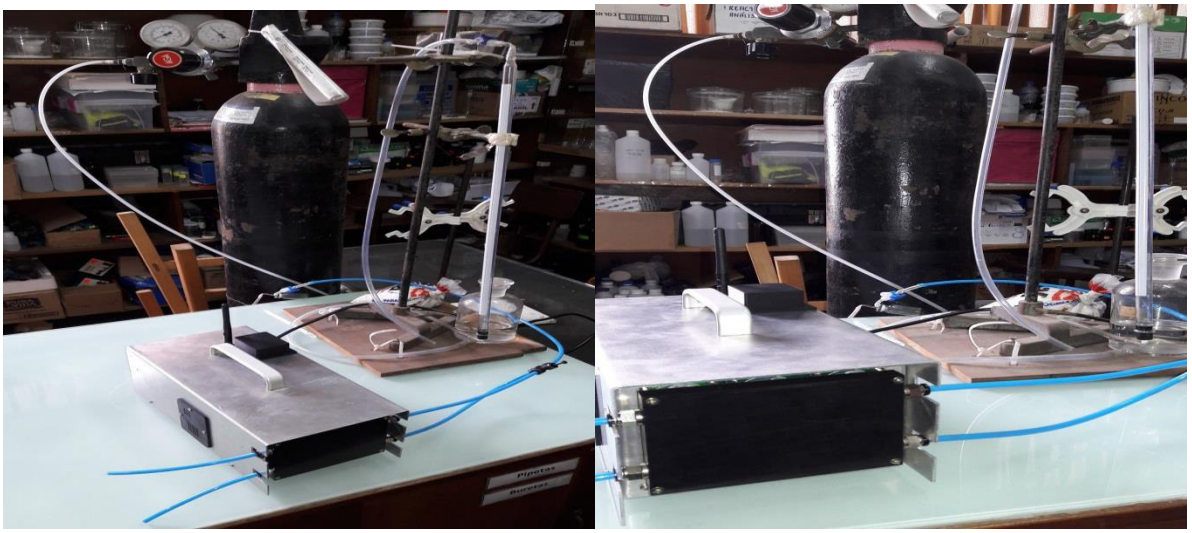


Figura 52. Equipo transmitiendo el aire sintético a los sensores

- **Tiempo del Proceso**

Para asegurar la calibración del sensor se dejará fluir la muestra durante 6 horas.

5.5 OBTENCIÓN DE LOS VOLTAJES INICIALES PARA EL SENSOR DE NO2

El fabricante sugiere que después de cierto tiempo se realice una calibración de los sensores usando aire sintético, el objetivo de este proceso es encontrar nuevos valores iniciales (voltajes) del electrodo de trabajo y electrodo auxiliar, puesto que, los que vienen grabados en la caja de empaque al adquirir el sensor dejan de ser confiables.

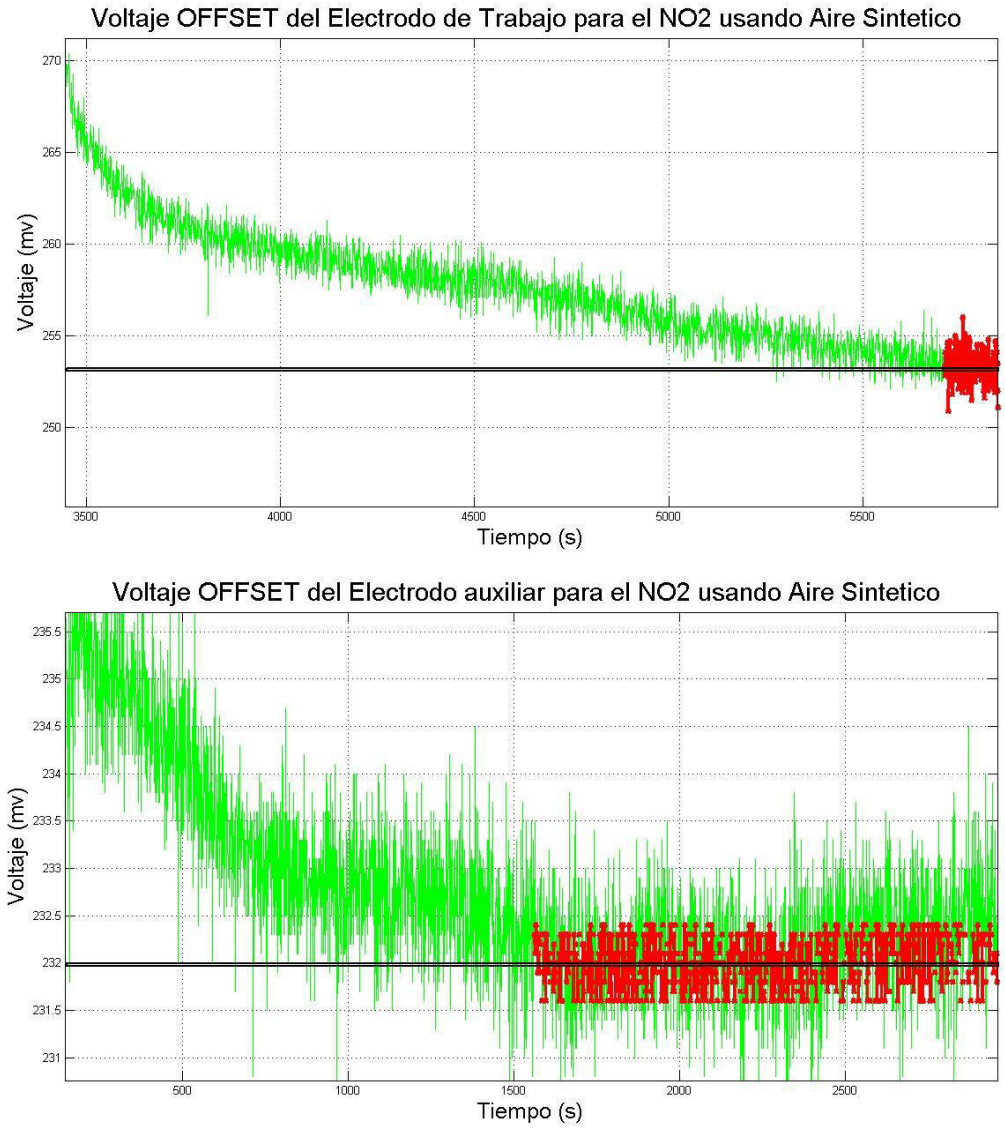


Figura 53. Calibración del sensor de NO2

5.6 OBTENCIÓN DE LOS VOLTAJES INICIALES PARA EL SENSOR DE SO2

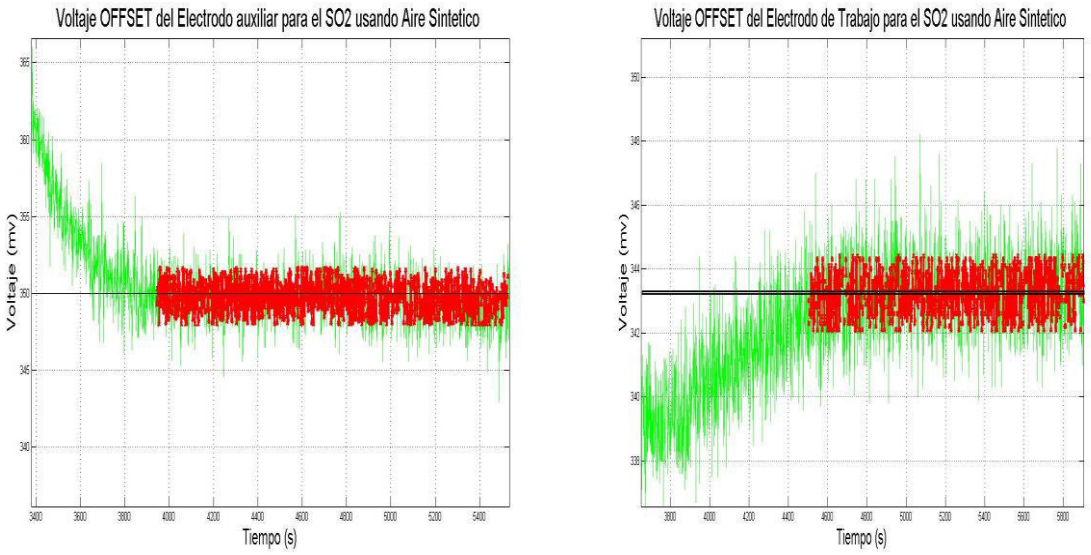


Figura 54. Calibración del sensor de SO2

5.7 OBTENCIÓN DE LOS VOLTAJES INICIALES PARA EL SENSOR DE OZONOO3

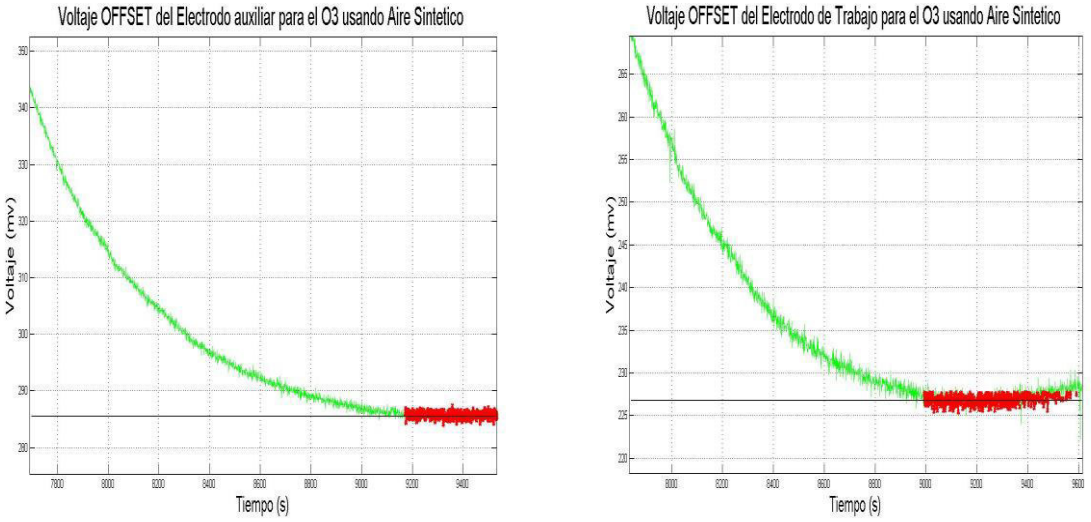


Figura 55. Calibración del sensor

5.8 OBTENCIÓN DE LOS VOLTAJES INICIALES PARA EL SENSOR DEL CO

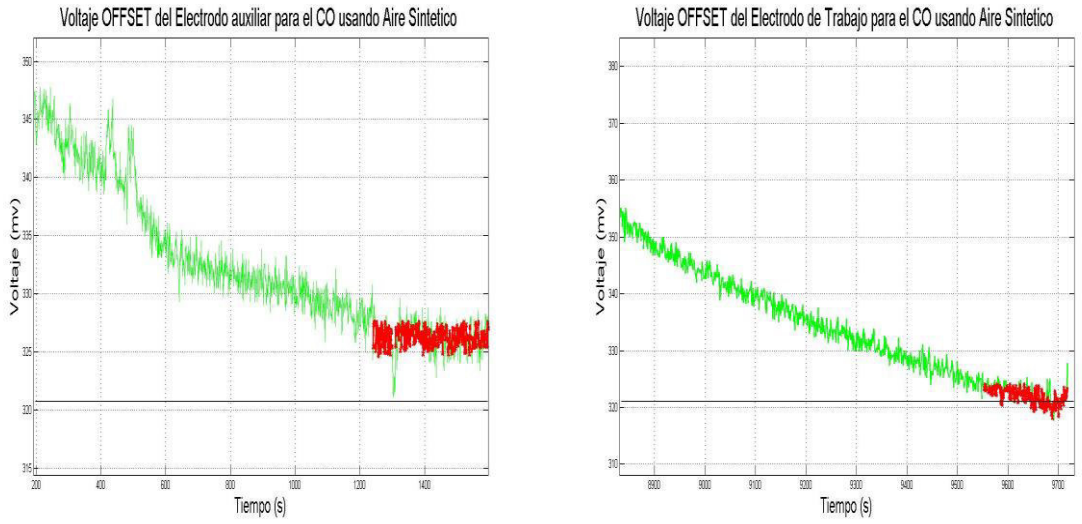


Figura 56. Calibración del sensor

Tabla 5.1 nuevos valores de calibración obtenidos desde el aire sintético

GAS	VOLTAJE DE TRABAJO OFFSET WE Zero (mv)	VOLTAJE AUXILIAR OFFSET WA Zero (mv)	SENSITIVIDAD DEL SENSOR (nA/ppm)	GANANCIA DEL ISB (mV/nA)
CO	320	327	477	0.8
H_2S	284	304	1775	0.8
NO	285	278	735	0.8
NO_2	253	232	-454	-0.726
O_3	224	286	-567	-0.726
SO_2	343	350	370	0.8

5.9 RESULTADOS OBTENIDOS EN CAMPO

Ubicación: Casa de la Juventud. Jr. Los Heros # 200. Municipalidad Bellavista. Callao

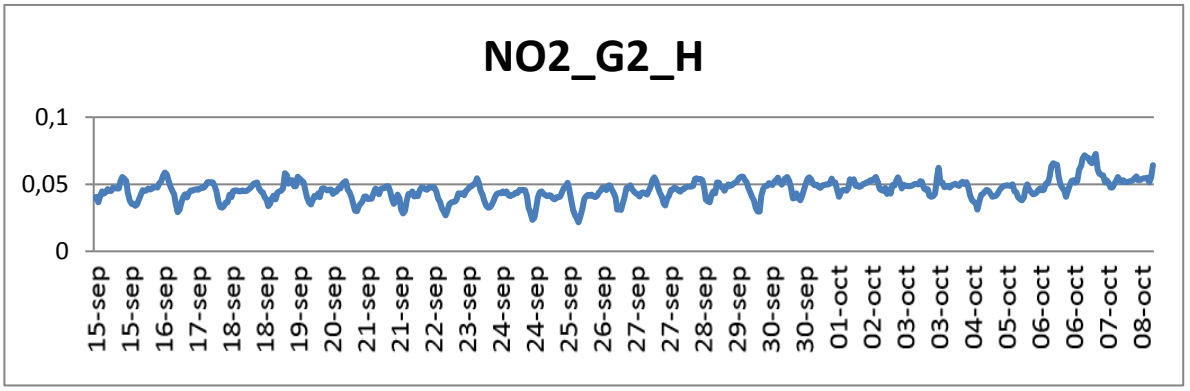


Figura 57: MEDIDA DE LA CONCENTRACION EN PPM DEL DIOXIDO DE NITROGENO

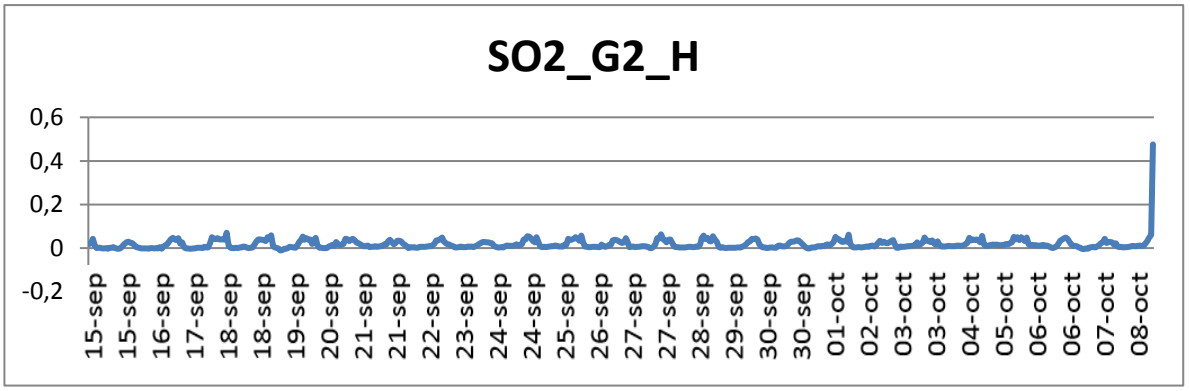


Figura 58: MEDIDA DE LA CONCENTRACION EN PPM DEL DIOXIDO DE AZUFRE

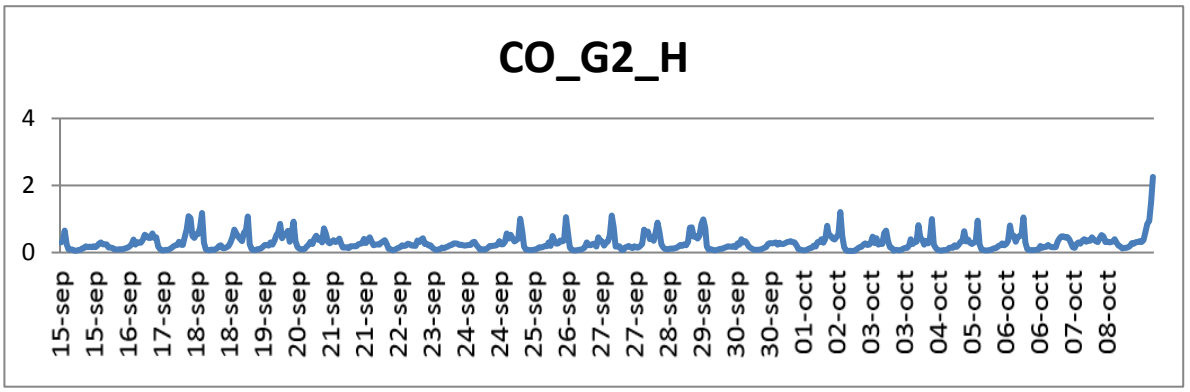


Figura 59: MEDIDA DE LA CONCENTRACION EN PPM DEL MONOXIDO DE CARBONO

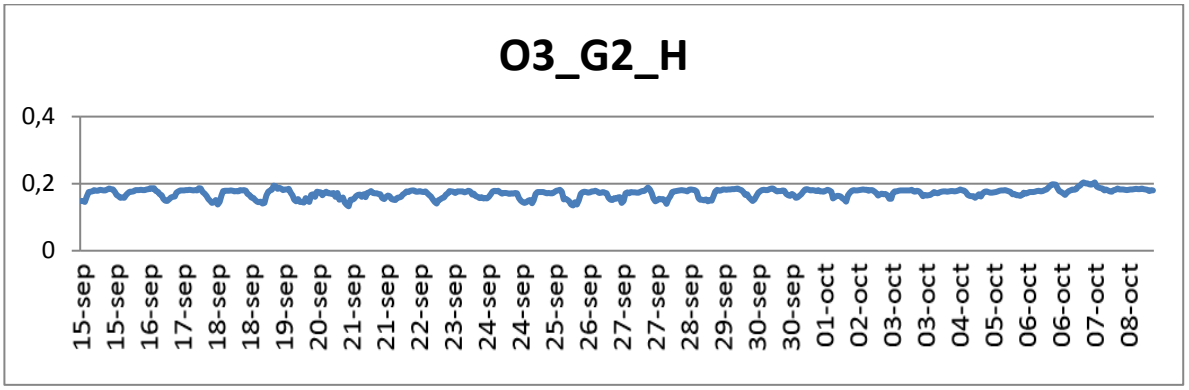


Figura 60: MEDIDA DE LA CONCENTRACION EN PPM DEL OZONO

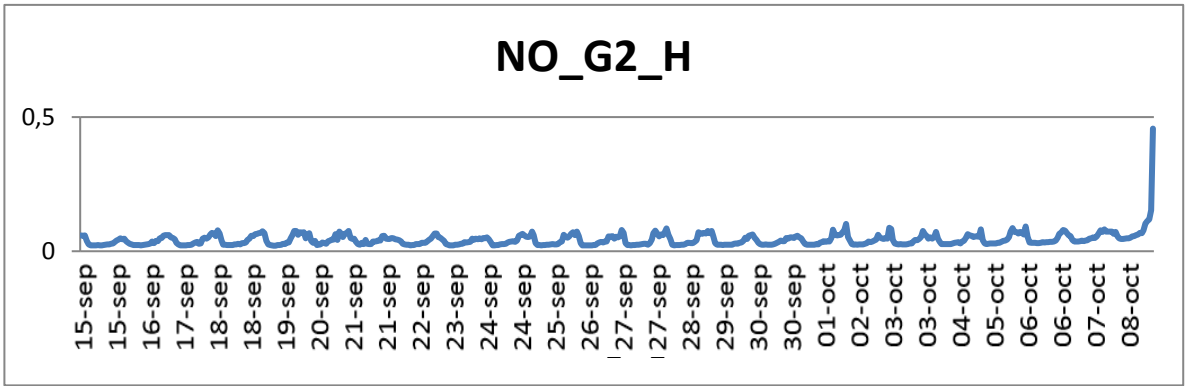


Figura 61: MEDIDA DE LA CONCENTRACION EN PPM DEL DIOXIDO DE NITROGENO

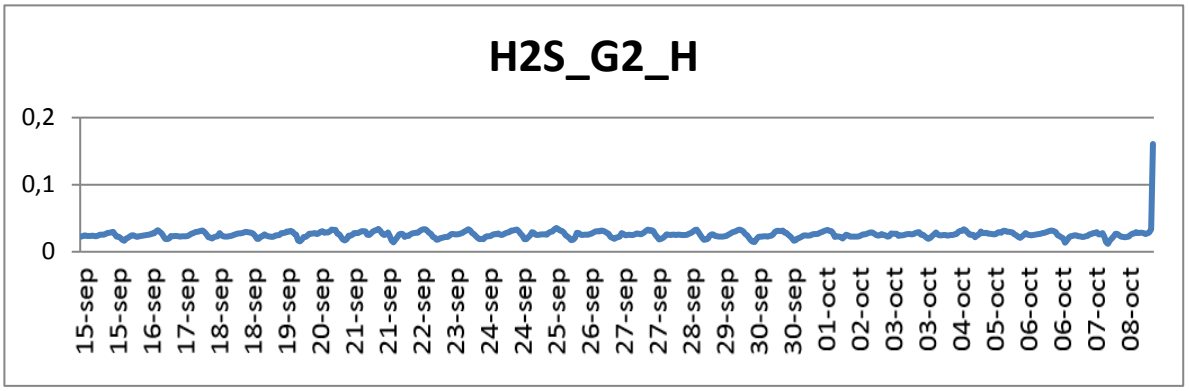


Figura 62: MEDIDA DE LA CONCENTRACION EN PPM DEL SULFURO DE HIDROGENO

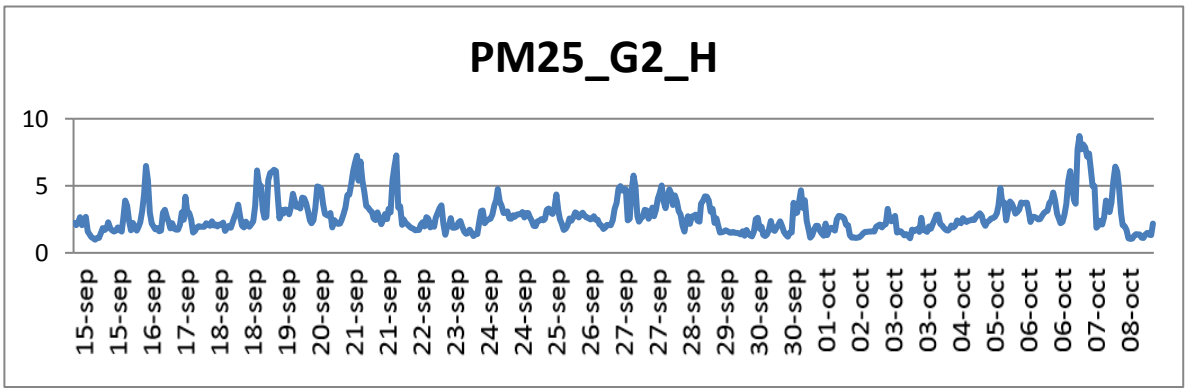


Figura 63: MEDIDA DE LA CONCENTRACION EN μ/m^3 DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS.

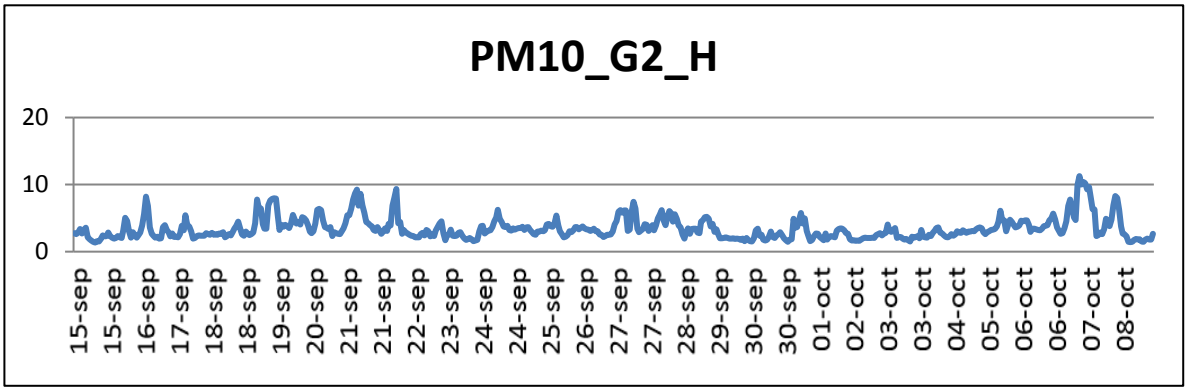


Figura 64: MEDIDA DE LA CONCENTRACION EN μ/m^3 DE MATERIAL PARTICULADO MENOR A 10 MICRAS.

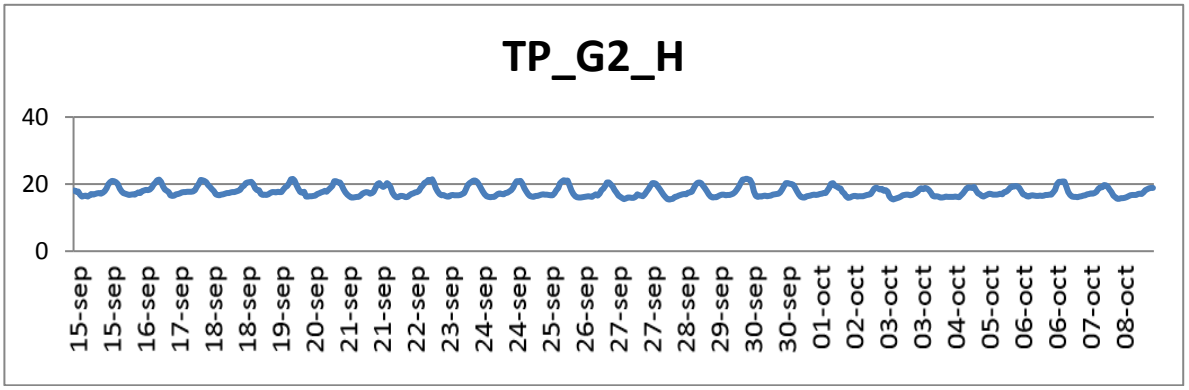


Figura 65: MEDIDA DE LA TEMPERATURA EN ºC

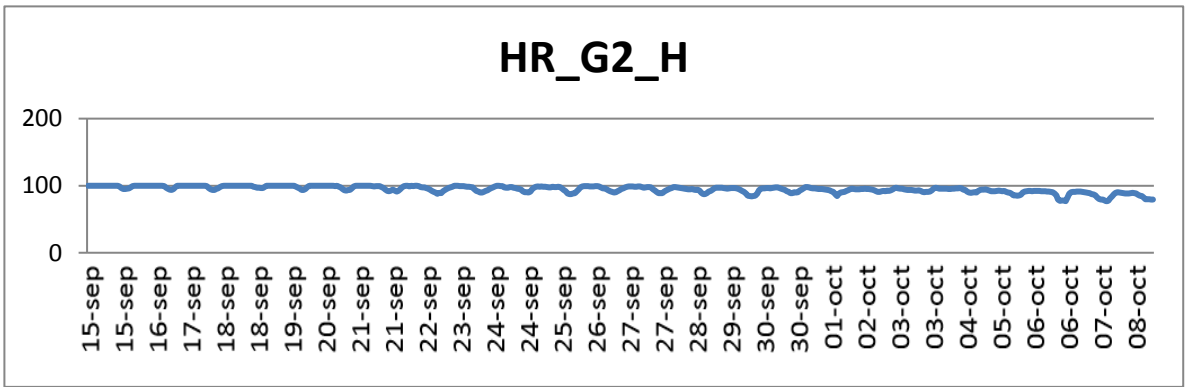


Figura 66: MEDIDA PORCENTUAL DE LA HUMEDAD RELATIVA

CAPÍTULO 6

SÍNTESIS Y SUGERENCIAS

6.1 CONCLUSIÓN

- Se decidió implementar placas separadas para el ensamble de los sensores de gas y de meteorología, para mejorar la recepción de la información.
- Fue importante el proceso de calibración, para que los datos obtenidos nos revelen información confiable.
- Los contaminantes atmosféricos podrán ser monitoreados a un bajo costo, pero con la calidad que se requiere.
- Es importante resaltar, que el prototipo necesita mayor investigación en su desarrollo.
- Los sensores utilizados juegan un papel importante para la optimización del equipo.
- La cámara de calibración de los gases, así como los tubos flexibles de entrada y fuga de la muestra, deberán ser construidos de teflón o vidrio para evitar la interacción con el gas.
- Se configuró el muestreo cada 15 segundos, con ello, se tiene suficiente información para analizar los datos por horas, días, semanas, etc. y realizar el análisis requerido. Además de estar configurado para que muestre la concentración en tiempo real.
- El equipo debe ser validado por la red de monitoreo regulador de la calidad del aire.
- La incorporación de memoria microSD en el equipo permite guardar la información, ello es suma importancia porque se tendría una data constante en el tiempo.

6.2 RECOMENDACIÓN

- El límite de Detección de los sensores es de suma importancia para obtener datos confiables.
- Los sensores meteorológicos y los de gas deben de estar en todo lo posible cerca.
- Al momento de la calibración se deben tratar lo mas cuidadosamente posible los instrumentos para no dañar el equipo.
- El paso del aire sintético sobre las membranas del sensor debe tener una baja presión para no dañarlos.
- Al encender los sensores deberá ignorar por un periodo de 30 minutos aproximadamente antes de iniciar la toma de medidas, pues es un periodo de estabilización.
- Este equipo puede ser mejorado, por lo tanto, se necesita de inversión de tiempo y dinero para lograrlo.

REFERENCIA

[1] Lilia Albert, "youblisher" contaminación ambiental métodos y normas, [online]. Available: http://www.youblisher.com/p/172702-contaminacion2/

[2] FLACSO, "http://www.flacsoandes.org," Contaminación Ambiental [Online]. Available: http://www.flacsoandes.org/web/imagesFTP/10088.ContaminacionQuito.pdf

[3] Swisscontact, "http://www.flacsoandes.org," Monitoreo del Aire [Online]. Available: http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/manualab/manual.pdf

[4] Organización Mundial de la Salud "whqlibdoc," Contaminación Guías de calidad de aire de la OMS, [Online]. Available: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf.

[5] Javier Pérez-Ramírez, SòniaAbelló, Thermal decomposition of hydrotalcite-like compounds studied by a novel tapered element oscillating microbalance (TEOM): Comparison with TGA and DTA, ThermochimicaActa, Volume 444, Issue 1, 1 May 2006, Pages 75-82, ISSN 0040-6031

[6] Raña, Unidades de medición empleadas en Calidad del Aire, [Online]. Available: http://www.depeca.uah.es/depeca/repositorio/asignaturas/32317/Unidades CalidadAire.pdf

[7] LACOMET, Mediciones de Humedad Relativa, [Online]. Available: http://www.depeca.uah.es/depeca/repositorio/asignaturas/32317/Unidades CalidadAire.pdf

[8] HORRILLO, María del Carmen. (1992). *Estudio y realización de sensores para CO basados en la modulación de la conductividad eléctrica del semiconductor SnO2*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.

[9] Universidad Técnica Federico Santa Maria, "http://www2.elo.utfsm.cl," Departamento de Electrónica. [Online]. Available: http://www2.elo.utfsm.cl/~elo372/complemento2.pdf

[10] **CREUS** S. Antonio, 2006, Instrumentación Industrial, Séptima Edición, Marcombo S.A., Barcelona –España.

[11] https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#

[12] http://www.seeedstudio.com/wiki/GPRS_Shield_V1.0

[13] HUMBERTO BRAVO, RODOLFO SOSA. Métodos de monitoreo de la calidad del aire.

[14] GARCÍA PIMENTEL, Julián.Proyecto final de carrera desarrollo placa sensores para monitorización de gases tóxicos en tuneladora en escudo abierto.

[15] DIGESA. Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos.

[16] LEY GENERAL DEL AMBIENTE - LEY N° 28611

[17] FERNÁNDEZ PATIER, Rosalía. Metodología de evaluación de la calidad del aire. OEFA. Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental.

[18] American Society for Testing and Materials, ASTM E502-84 Standard Test Method for Selection and Use of ASTM Standards for the Determination of Flash Point of Chemicals by Closed Cup Methods, West Conshohocken, Pennsylvania, 2000.

[19] SIMA "nl.gob.mx," Sistema Integral de Monitoreo, [Online]. Available: http://www.nl.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima_cont

[20] The Sensor Technology Company, "alphasense," Fabricantes de sensores. [Online]. Available: http://www.alphasense.com/

[21] Hanwei Electronics, "http://www.hwsensor.com," Fabricantes de sensores. [Online]. Available: http://www.sensorica.ru/pdf/MQ-131.pdf

ANEXO A

DATASHEETS SENSORES DE GASES Y METEOROLÓGICOS

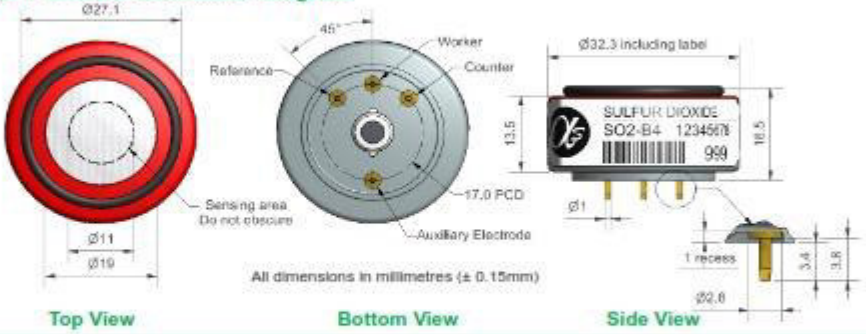
A1. SENSOR DE SO2

Technical Specification

SO2-B4 Sulfur Dioxide Sensor
4-Electrode



Figure 1 SO2-B4 Schematic Diagram



Top View | Bottom View | Side View

PERFORMANCE	Sensitivity	nA/ppm at 2ppm SO_2	275 to 450
	Response time	t_{90} (s) from zero to 2ppm SO_2	< 30
	Zero current	nA in zero air at 20°C	0 to 70
	Noise*	±2 standard deviations (ppb equivalent)	5
	Range	ppm limit of performance warranty	100
	Linearity	ppb error at 100ppm SO_2, linear at zero and 10ppm SO_2	0 to -2
	Overgas limit	maximum ppm for stable response to gas pulse	200
	*** Tested with Alphasense ISB low noise circuit**		
LIFETIME	Zero drift	ppb equivalent change/year in lab air	< ±20
	Sensitivity drift	% change/year in lab air, monthly test	< ±15
	Operating life	months until 50% original signal (24 month warranted)	> 36
ENVIRONMENTAL	Sensitivity @ -20°C	(% output @ -20°C/output @ 20°C) @ 2ppm SO_2	70 to 82
	Sensitivity @ 50°C	(% output @ 50°C/output @ 20°C) @ 2ppm SO_2	95 to 110
	Zero @ -20°C	nA change from 20°C	0 to -10
	Zero @ 50°C	nA change from 20°C	10 to 30
CROSS SENSITIVITY	Filter capacity	ppm·hrs	450
	H_2S sensitivity	% measured gas @ 5ppm H_2S	< 2
	NO_2 sensitivity	% measured gas @ 5ppm NO_2	< -160
	Cl_2 sensitivity	% measured gas @ 5ppm Cl_2	< -40
	NO sensitivity	% measured gas @ 5ppm NO	< -2
	CO sensitivity	% measured gas @ 5ppm CO	< 2
	H_2 sensitivity	% measured gas @ 100ppm H_2	< 0.5
	C_2H_4 sensitivity	% measured gas @ 100ppm C_2H_4	< 1
	NH_3 sensitivity	% measured gas @ 20ppm NH_3	< 0.1
	CO_2 sensitivity	% measured gas @ 5% CO_2	< 0.1
KEY SPECIFICATIONS	Temperature range	°C	-30 to 50
	Pressure range	kPa	80 to 120
	Humidity range	% rh continuous (see note below)	15 to 90
	Storage period	months @ 3 to 20°C (stored in sealed pot)	6
	Load Resistor	Ω (ISB circuit is recommended)	33 to 100
	Weight	g	< 13

Note: Above 85% rh and 40°C a maximum continuous exposure period of 10 days is warranted. Where such exposure occurs the sensor will recover normal electrolyte volumes when allowed to rest at lower % rh and temperature levels for several days.

At the end of the product's life, do not dispose of any electronic sensor, component or instrument in the domestic waste, but contact the instrument manufacturer, Alphasense or its distributor for disposal instructions.

NOTE: all sensors are tested at ambient environmental conditions, with 47 ohm load resistor, unless otherwise stated. As applications of use are outside our control, the information provided is given without legal responsibility. Customers should test under their own conditions, to ensure that the sensors are suitable for their own requirements.

Alphasense Ltd, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley, CM77 7AA, UK
Telephone: +44 (0) 1376 556 700 Fax: +44 (0) 1376 335 899 E-mail: sensors@alphasense.com Website: www.alphasense.com

SO2-B4 Perfomance Data

Technical Specification

Figure 2 Sensitivity Temperature Dependence

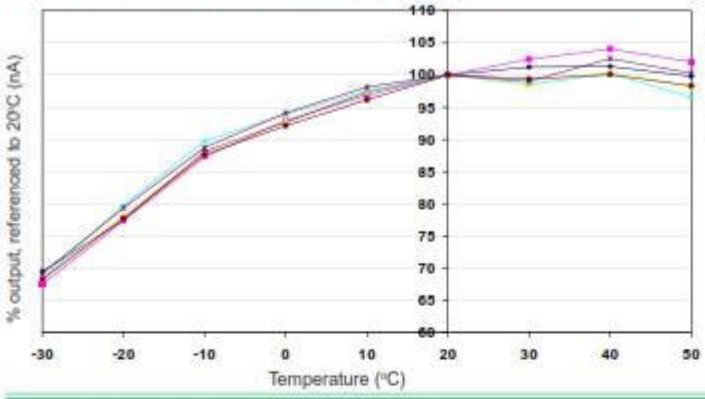


Figure 2 shows the temperature dependence of sensitivity at 2ppm SO_2.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Figure 3 Zero Temperature Dependence

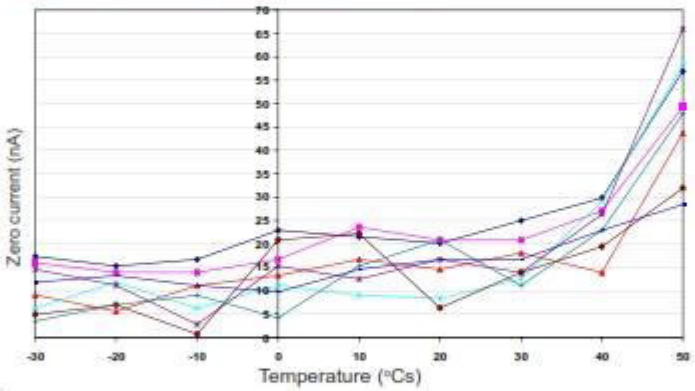


Figure 3 shows the variation in zero output of the working electrode caused by changes in temperature, expressed as nA.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Contact Alphasense for futher information on zero current correction.

Figure 4 Response to 200ppb SO_2

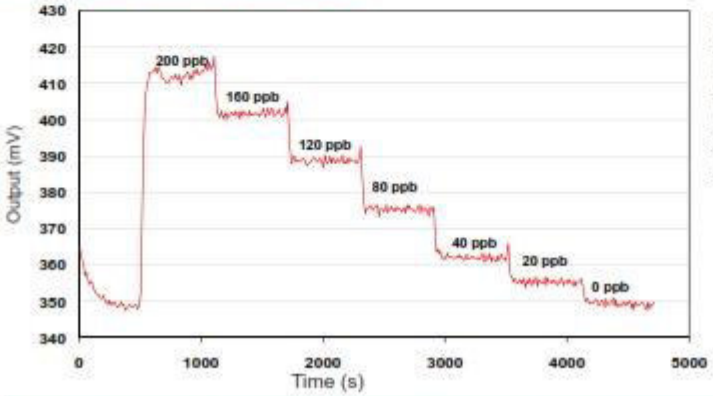


Figure 4 shows response from 20 to 200ppb SO_2.

Use of Alphasense ISB circuit reduces noise to 5ppb, with the opportunity of digital smooting to reduce noise even further.

For further information on the performance of this sensor, on other sensors in the range or any other subject, please contact Alphasense Ltd. For Application Notes visit "www.alphasense.com".

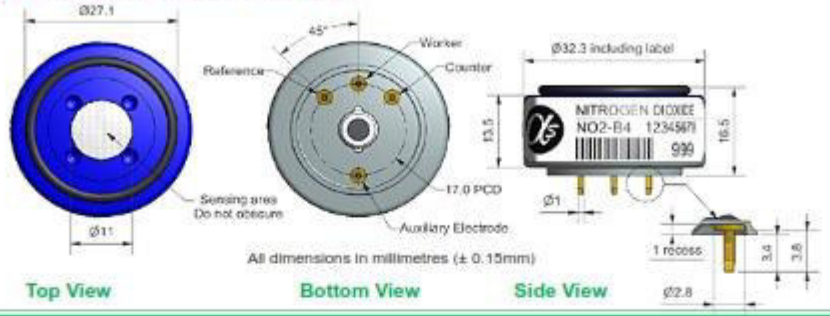
In the interest of continued product improvement, we reserve the right to change design features and specifications without prior notification. The data contained in this document is for guidance only. Alphasense Ltd accepts no liability for any consequential losses, injury or damage resulting from the use of this document or the information contained within. (©ALPHASENSE LTD) Doc. Ref. SO2B4/NOV13

A2. SENSOR DE NO2

NO2-B4 Nitrogen Dioxide Sensor
4-Electrode

Technical Specification

Figure 1 NO2-B4 Schematic Diagram



PERFORMANCE			
	Sensitivity	nA/ppm at 2ppm NO_2	-250 to -600
	Response time	t_{90} (s) from zero to 2ppm NO_2	< 25
	Zero current	nA in zero air at 20°C	-15 to 20
	Noise*	±2 standard deviations (ppb equivalent)	12
	Range	ppm NO_2 limit of performance warranty	20
	Linearity	ppb error at full scale, linear at zero and 5ppm NO_2	< ±1
	Overgas limit	maximum ppm for stable response to gas pulse	50
	*** Tested with Alphasense ISB low noise circuit**		
LIFETIME	Zero drift	ppb equivalent change/year in lab air	0 to 20
	Sensitivity drift	% change/year in lab air, monthly test	-20 to -40
	Operating life	months until 50% original signal (12 month warranted)	> 18
ENVIRONMENTAL			
	Sensitivity @ -20°C	(% output @ -20°C/output @ 20°C) @ 2ppm NO_2	40 to 70
	Sensitivity @ 50°C	(% output @ 50°C/output @ 20°C) @ 2ppm NO_2	120 to 135
	Zero @ -20°C	nA change from 20°C	±10
	Zero @ 50°C	nA change from 20°C	60 to 380

CROSS SENSITIVITY	H_2S	sensitivity	% measured gas	@ 5ppm	H_2S	< -130
	NO	sensitivity	% measured gas	@ 5ppm	NO	< 4
	Cl_2	sensitivity	% measured gas	@ 5ppm	Cl_2	< 100
	SO_2	sensitivity	% measured gas	@ 5ppm	SO_2	< -20
	CO	sensitivity	% measured gas	@ 5ppm	CO	< 0.1
	H_2	sensitivity	% measured gas	@ 100ppm	H_2	< 0.1
	C_2H_4	sensitivity	% measured gas	@ 100ppm	C_2H_4	< 0.1
	NH_3	sensitivity	% measured gas	@ 20ppm	NH_3	< 0.1
	CO_2	sensitivity	% measured gas	@ 5% Vol	CO_2	< 0.1
	O_3	sensitivity	% measured gas	@ 100ppb	O_3	30 to 65
	Halothane	sensitivity	% measured gas	@ 100ppm	Halothane	< 0.1

KEY SPECIFICATIONS		
Temperature range	°C	-30 to 50
Pressure range	kPa	80 to 120
Humidity range	% rh continuous	15 to 85
Storage period	months @ 3 to 20°C (stored in sealed pot)	6
Load resistor	Ω (ISB circuit is recommended)	33 to 100
Weight	g	< 13

At the end of the product's life, do not dispose of any electronic sensor, component or instrument in the domestic waste, but contact the instrument manufacturer, Alphasense or its distributor for disposal instructions.

NOTE: all sensors are tested at ambient environmental conditions, with 47 ohm load resistor, unless otherwise stated. As applications of use are outside our control, the information provided is given without legal responsibility. Customers should test under their own conditions, to ensure that the sensors are suitable for their own requirements.

Alphasense Ltd, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley, CM77 7AA, UK
Telephone: +44 (0) 1376 556 700 Fax: +44 (0) 1376 335 899 E-mail: sensors@alphasense.com Website: www.alphasense.com

NO2-B4 Performance Data

Technical Specification

Figure 2 Sensitivity Temperature Dependence

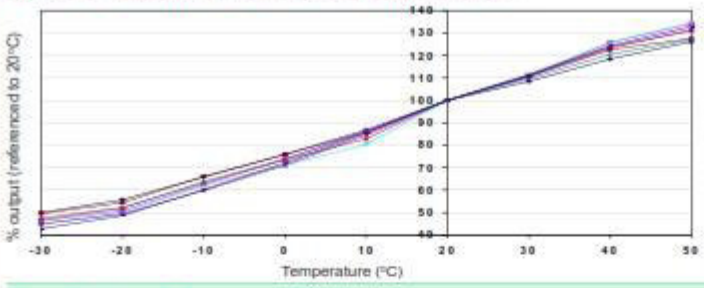


Figure 2 shows the temperature dependence of sensitivity at 2ppm NO_2.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Figure 3 Zero Temperature Dependence

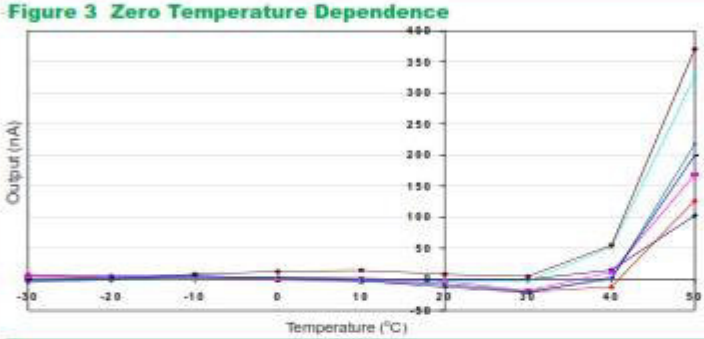


Figure 3 shows the variation in zero output of the working electrode caused by changes in temperature, expressed as nA.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Contact Alphasense for futher information on zero current correction.

Figure 4 Response to 20 ppb NO_2 using ISB circuit

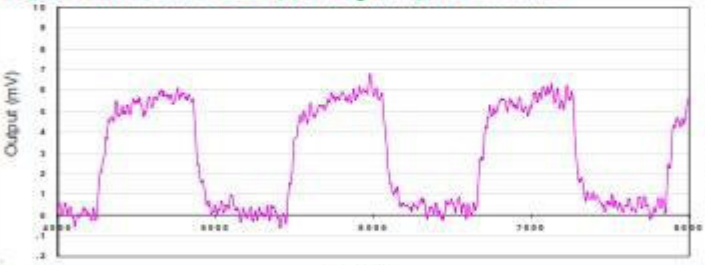
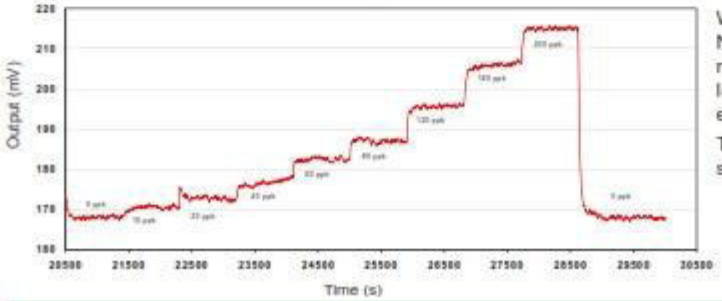


Figure 4 shows response to 20ppb NO_2.

Use of Alphasense ISB circuit reduces noise to 12ppb, with the opportunity of digital smooting to reduce noise even further

Figure 5 Response to 200 ppb NO_2



With a 33 Ω load resistor, the NO2-B4 shows excellent resolution, even at the ppb level: ideal for outdoor air environmental testing.

This raw data can be digitally smoothed.

For further information on the performance of this sensor, on other sensors in the range or any other subject, please contact Alphasense Ltd. For Application Notes visit "www.alphasense.com".

In the interest of continued product improvement, we reserve the right to change design features and specifications without prior notification. The data contained in this document is for guidance only. Alphasense Ltd accepts no liability for any consequential losses, injury or damage resulting from the use of this document or the information contained within. | ©ALPHASENSE LTD | Doc. Ref. NO2-B4/NOV13

A3. SENSOR DE O3

Technical Specification

O3-B4 Performance Data

Figure 2 Sensitiivity Temperature Dependence

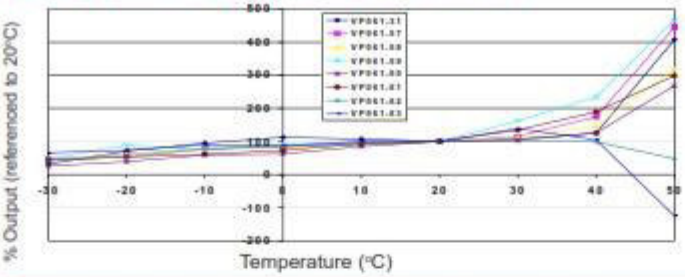


Figure 2 shows the temperature dependence of sensitivity at 100ppb O_3.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Figure 3 Zero Temperature Dependence (corrected)

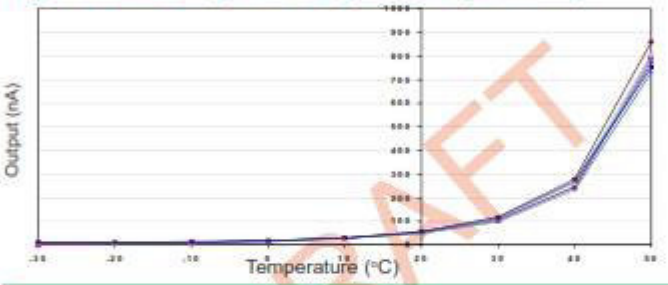


Figure 3 shows the variation in zero output of the working electrode caused by changes in temperature, expressed as nA.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Contact Alphasense for futher information on zero current correction.

DRAFT

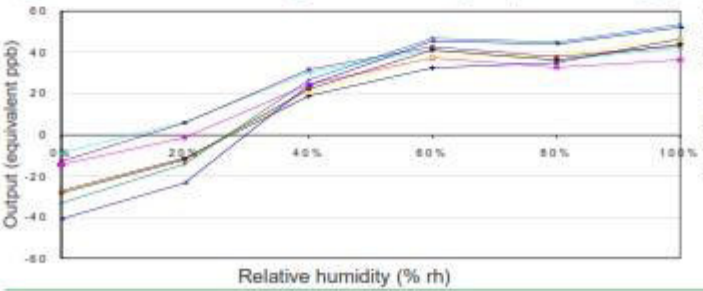
Figure 4 Linearity to 200ppb O_3



Figure 4 shows response to 200ppb O_3.

Use of Alphasense ISB circuit reduces noise to 4ppb, with the opportunity of digital smooting to reduce noise even further

Figure 5 Effect of Humidity on Sensor Ouput (1 mV = 0.8 ppb)



Humidity shifts the baseline but does not change the sensitivity.

The repeatability of the zero shift means that humidity correction can be achieved in software.

At the end of the product's life, do not dispose of any electronic sensor, component or instrument in the domestic waste, but contact the instrument manufacturer, Alphasense or its distributor for disposal instructions.

For further information on the performance of this sensor, on other sensors in the range or any other subject, please contact Alphasense Ltd. For Application Notes visit "www.alphasense.com".

In the interest of continued product improvement, we reserve the right to change design features and specifications without prior notification. The data contained in this document is for guidance only. Alphasense Ltd accepts no liability for any consequential losses, injury or damage resulting from the use of this document or the information contained within. (CALPHASENSE LTD) Doc. Ref. O3B4/NOV13

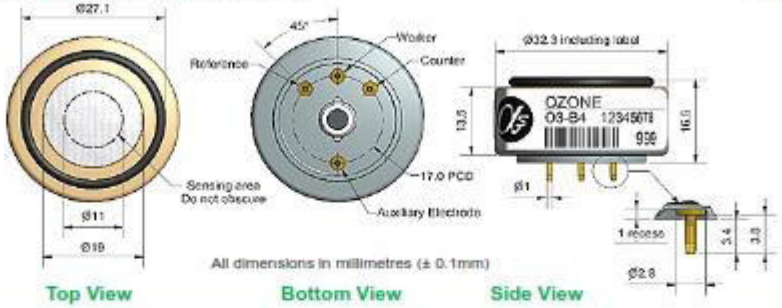
O3-B4 Ozone Sensor
4-Electrode



PATENTED

Technical Specification

Figure 1 O3-B4 Schematic Diagram



Top View Bottom View Side View

PERFORMANCE

Sensitivity	nA/ppm at 100ppb O_3	-250 to -550
Response time	t_{90} (s) from zero to 100ppb	< 15
Zero current	nA in zero air at 20°C	0 to 120
Noise*	±2 standard deviations (ppb equivalent)	4
Range	ppm O_3 limit of performance warranty	5
Linearity	ppb error at full scale, linear at zero and 2ppm O_3	0 to 200
Overgas limit	maximum ppm for stable response to gas pulse	10

*** Tested with Alphasense ISB low noise circuit**

LIFETIME

Zero drift	ppb equivalent change/year in lab air	0 to 50
Sensitivity drift	% change/year in lab air, monthly test	-20 to -35
Operating life	months until 50% original signal (12 month warranted)	> 18

ENVIRONMENTAL

Sensitivity @ -20°C	(% output @ -20°C/output @ 20°C) @ 500ppb O_3	
Sensitivity @ 50°C	(% output @ 50°C/output @ 20°C) @ 500ppb O_3	
Zero @ -20°C	nA change from 20°C	-120 to -30
Zero @ 50°C	nA change from 20°C	800 to 1500

CROSS SENSITIVITY

H_2S sensitivity	% measured gas @ 5ppm	H_2S	< 90
NO_2 sensitivity	% measured gas @ 5ppm	NO_2	60 to 120
Cl_2 sensitivity	% measured gas @ 10ppm	Cl_2	< 50
NO sensitivity	% measured gas @ 1ppm	NO	< 4
SO_2 sensitivity	% measured gas @ 5ppm	SO_2	< -5
CO sensitivity	% measured gas @ 10ppm	CO	< 0.1
H_2 sensitivity	% measured gas @ 100ppm	H_2	< 1
C_2H_4 sensitivity	% measured gas @ 400ppm	C_2H_4	< 0.1
NH_3 sensitivity	% measured gas @ 20ppm	NH_3	< 1
CO_2 sensitivity	% measured gas @ 5%	CO_2	< 0.1

KEY SPECIFICATIONS

Temperature range	°C	-20 to +50
Pressure range	kPa	80 to 120
Humidity range	% rh non-condensing	15 to 85
Flow rate	minimum sccm during calibration	500 (0.5L/m)
Bias voltage	V	0
Storage period	months @ 3 to 20°C (stored in sealed pot)	6
Load resistor	Ω (ISB circuit is recommended))	33 to 100
Weight	g	< 13

NOTE: all sensors are tested at ambient environmental conditions, with 10 ohm load resistor, unless otherwise stated. As applications of use are outside our control, the information provided is given without legal responsibility. Customers should test under their own conditions, to ensure that the sensors are suitable for their own requirements.

DRAFT

Alphasense Ltd, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley. CM77 7AA. UK
Telephone: +44 (0) 1376 556 700 Fax: +44 (0) 1376 335 899 E-mail: sensors@alphasense.com Website: www.alphasense.com

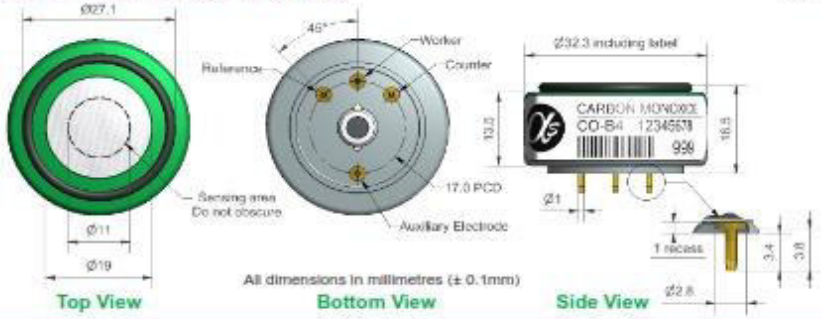
A4. SENSOR DE CO

Technical Specification

CO-B4 Carbon Monoxide Sensor
4-Electrode

PATENTED

Figure 1 CO-B4 Schematic Diagram



PERFORMANCE	Sensitivity	nA/ppm at 2ppm CO	450 to 600
	Response time	t_{90} (s) from zero to 10ppm CO	< 15
	Zero current	nA in zero air at 20°C	0 to -50
	Noise*	±2 standard deviations (ppb equivalent)	4
	Range	ppm limit of performance warranty	1000
	Linearity	ppb CO error at full scale, linear at zero, 500ppm CO	20 to 35
	Overgas limit	maximum ppm for stable response to gas pulse	2000
	*** Tested with Alphasense ISB low noise circuit**		
LIFETIME	Zero drift	ppb equivalent change/year in lab air	< ±100
	Sensitivity drift	% change/year in lab air, monthly test	< 10
	Operating life	months until 50% original signal (24 month warranted)	> 36
ENVIRONMENTAL	Sensitivity @ -20°C	(% output @ -20°C/output @ 20°C) @ 5ppm CO	45 to 70
	Sensitivity @ 50°C	(% output @ 50°C/output @ 20°C) @ 5ppm CO	110 to 125
	Zero @ -20°C	nA change from 20°C	10 to 40
	Zero @ 50°C	nA change from 20°C	-250 to -400

CROSS SENSITIVITY					
	Filter capacity	ppm·hrs		H_2S	250,000
	H_2S sensitivity	% measured gas @	5ppm	H_2S	< 1
	NO_2 sensitivity	% measured gas @	5ppm	NO_2	< 1
	Cl_2 sensitivity	% measured gas @	5ppm	Cl_2	< 1
	NO sensitivity	% measured gas @	5ppm	NO	< -3
	SO_2 sensitivity	% measured gas @	5ppm	SO_2	< 0.1
	H_2 sensitivity	% measured gas @	100ppm	H_2 at 20°C	< 10
	C_2H_4 sensitivity	% measured gas @	100ppm	C_2H_4	< 1
	NH_3 sensitivity	% measured gas @	20ppm	NH_3	< 0.1

KEY SPECIFICATIONS	Temperature range	°C	-30 to 50
	Pressure range	kPa	80 to 120
	Humidity range	% rh continuous	15 to 90
	Storage period	months @ 3 to 20°C (stored in sealed pot)	6
	Load resistor	Ω (ISB circuit is recommended)	33 to 100
	Weight	g	< 13

At the end of the product's life, do not dispose of any electronic sensor, component or instrument in the domestic waste, but contact the instrument manufacturer, Alphasense or its distributor for disposal instructions.

NOTE: all sensors are tested at ambient environmental conditions, with 10 ohm load resistor, unless otherwise stated. As applications of use are outside our control, the information provided is given without legal responsibility. Customers should test under their own conditions, to ensure that the sensors are suitable for their own requirements.

Alphasense Ltd, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley, CM77 7AA, UK
Telephone: +44 (0) 1376 556 700 Fax: +44 (0) 1376 335 899 E-mail: sensors@alphasense.com Website: www.alphasense.com

Technical Specification

CO-B4 Performance Data

Figure 2 Sensitivity Temperature Dependence

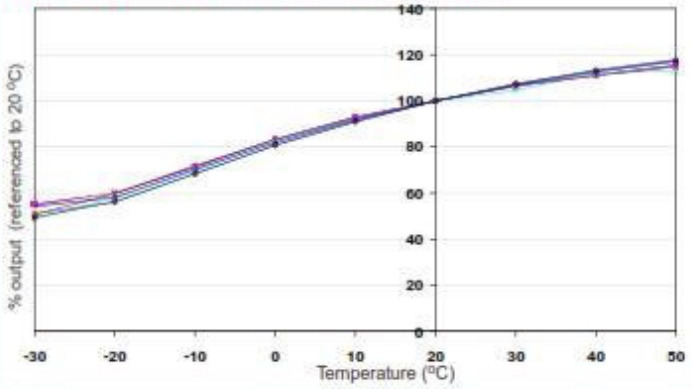


Figure 2 shows the temperature dependence of sensitivity at 2ppm CO.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Figure 3 Zero Current Temperature Dependence (corrected)

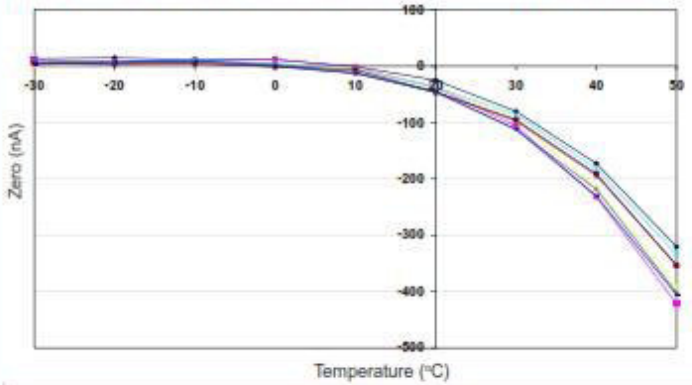


Figure 3 shows the variation in zero output of the working electrode caused by changes in temperature, expressed as nA.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Contact Alphasense for futher information on zero current correction.

Figure 4 Response to 0 to 1ppm CO

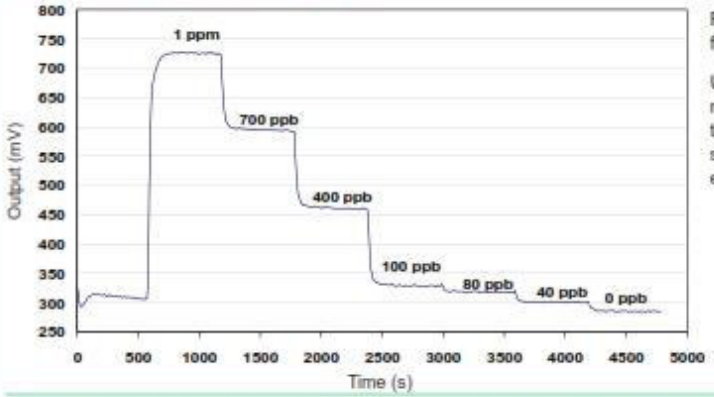


Figure 4 shows response from 0 to 1ppm CO.

Use of Alphasense ISB circuit reduces noise to 4ppb, with the opportunity of digital smooting to reduce noise even further

For further information on the performance of this sensor, on other sensors in the range or any other subject, please contact Alphasense Ltd. For Application Notes visit "www.alphasense.com".

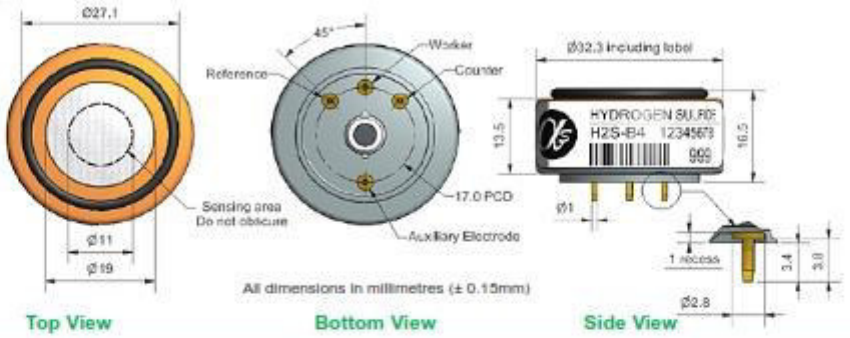
In the interest of continued product improvement, we reserve the right to change design features and specifications without prior notification. The data contained in this document is for guidance only. Alphasense Ltd accepts no liability for any consequential losses, injury or damage resulting from the use of this document or the information contained within. (CALPHASENSE LTD) Doc. Ref. CO B4:NOV13

A5. SENSOR DE H2S

H2S-B4 Hydrogen Sulfide Sensor
4-Electrode

Technical Specification

Figure 1 H2S-B4 Schematic Diagram



PERFORMANCE	Sensitivity	nA/ppm at 2ppm H_2S	1450 to 1900
	Response time	t_{90} (s) from zero to 2ppm H_2S	< 40
	Zero current	nA in zero air at 20°C	-100 to 0
	Noise*	±2 standard deviations (ppb equivalent)	1
	Range	ppm H_2S limit of performance warranty	100
	Linearity	ppb error at full scale, linear at zero and 40ppm H_2S	< ±4
	Overgas limit	maximum ppm for stable response to gas pulse	200
	*** Tested with Alphasense ISB low noise circuit**		
LIFETIME	Zero drift	ppb equivalent change/year in lab air	< ±100
	Sensitivity drift	% change/year in lab air, monthly test	< 20
	Operating life	months until 50% original signal (12 month warranted)	> 24
ENVIRONMENTAL	Sensitivity @ -20°C	(% output @ -20°C/output @ 20°C) @ 2ppm H_2S	77 to 90
	Sensitivity @ 50°C	(% output @ 50°C/output @ 20°C) @ 2ppm H_2S	100 to 110
	Zero @ -20°C	nA change from 20°C	50 to 60
	Zero @ 50°C	nA change from 20°C	-120 to -160
CROSS SENSITIVITY	NO_2	sensitivity % measured gas @ 5ppm NO_2	< -10
	Cl_2	sensitivity % measured gas @ 5ppm Cl_2	< -12
	NO	sensitivity % measured gas @ 5ppm NO	< 12
	SO_2	sensitivity % measured gas @ 5ppm SO_2	< 20
	CO	sensitivity % measured gas @ 5ppm CO	< 3
	H_2	sensitivity % measured gas @ 100ppm H_2	< 0.5
	C_2H_4	sensitivity % measured gas @ 100ppm C_2H_4	< 0.1
	NH_3	sensitivity % measured gas @ 20ppm NH_3	< 0.1
	CO_2	sensitivity % measured gas @ 5% CO_2	< 0.1
KEY SPECIFICATIONS	Temperature range	°C	-30 to 50
	Pressure range	kPa	80 to 120
	Humidity range	% rh	15 to 90
	Storage period	months @ 3 to 20°C (stored in sealed pot)	6
	Load resistor	Ω (ISB circuit is recommended)	33 to 100
	Weight	g	< 13

At the end of the product's life, do not dispose of any electronic sensor, component or instrument in the domestic waste, but contact the instrument manufacturer, Alphasense or its distributor for disposal instructions.

NOTE: all sensors are tested at ambient environmental conditions, with 47 ohm load resistor, unless otherwise stated. As applications of use are outside our control, the information provided is given without legal responsibility. Customers should test under their own conditions, to ensure that the sensors are suitable for their own requirements.

Alphasense Ltd, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley, CM77 7AA, UK
Telephone: +44 (0) 1376 556 700 Fax: +44 (0) 1376 335 899 E-mail: sensors@alphasense.com Website: www.alphasense.com

Technical Specification

H2S-B4 Performance Data

Figure 2 Sensitivity Temperature Dependence

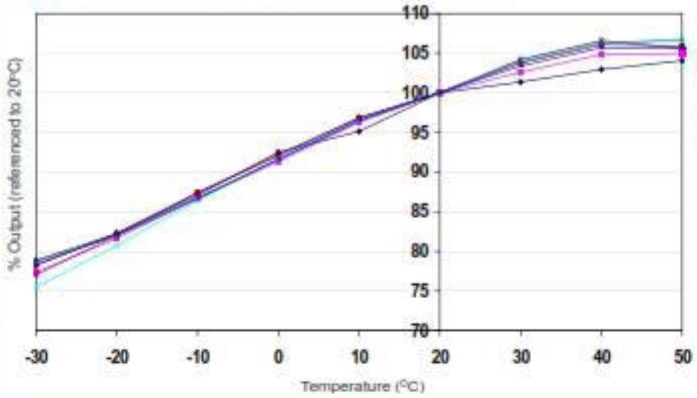


Figure 2 shows the temperature dependence of sensitivity at 2ppm H_2S.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Figure 3 Zero Temperature Dependence

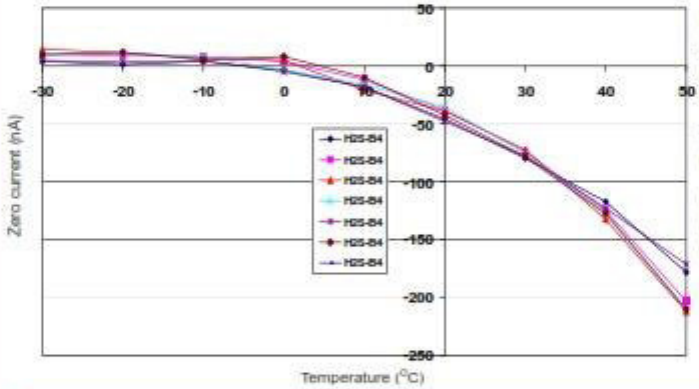


Figure 3 shows the variation in zero output of the working electrode caused by changes in temperature, expressed as nA.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Contact Alphasense for futher information on zero current correction.

Figure 4 Linearity to 200 ppb H_2S

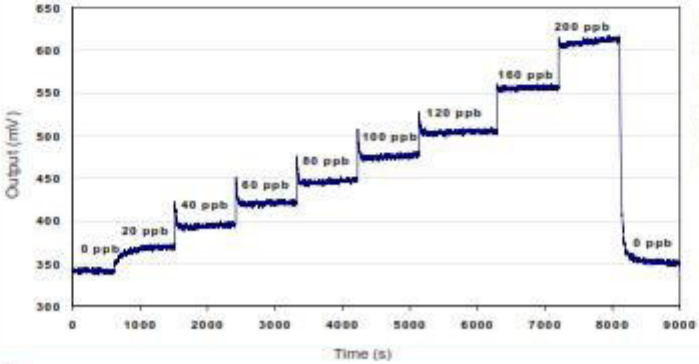


Figure 4 shows response to 200ppb H_2S.

Use of Alphasense ISB circuit reduces noise to 1ppb, with the opportunity of digital smooting to reduce noise even further

For further information on the performance of this sensor, on other sensors in the range or any other subject, please contact Alphasense Ltd. For Application Notes visit "www.alphasense.com".

In the interest of continued product improvement, we reserve the right to change design features and specifications without prior notification. The data contained in this document is for guidance only. Alphasense Ltd accepts no liability for any consequential losses, injury or damage resulting from the use of this document or the information contained within. (©ALPHASENSE LTD) Doc. Ref. H2SB4/FEB14

A6. SENSOR DE NO

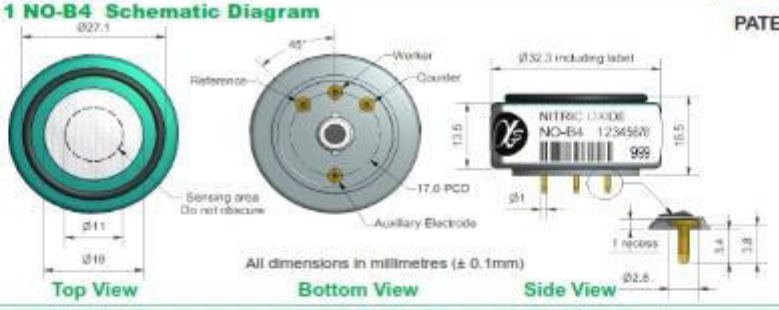
NO-B4 Nitric Oxide Sensor
4-Electrode



Technical Specification

Figure 1 NO-B4 Schematic Diagram

PATENTED



PERFORMANCE			
	Sensitivity	nA/ppm at 2ppm NO	500 to 800
	Response time	t_{90} (s) from zero to 2ppm NO	< 45
	Zero current	nA in zero air at 20°C	30 to 140
	Noise*	±2 standard deviations (ppb equivalent)	15
	Range	ppm NO limit of performance warranty	20
	Linearity	ppb error at full scale, linear at zero and 5ppm NO	< ±1
	Overgas limit	maximum ppm for stable response to gas pulse	50
	*** Tested with Alphasense ISB low noise circuit**		
LIFETIME	Zero drift	ppb equivalent change/year in lab air	0 to 50
	Sensitivity drift	% change/year in lab air, monthly test	0 to -20
	Operating life	months until 50% original signal (12 month warranted)	> 24
ENVIRONMENTAL			
	Sensitivity @ -20°C	(% output @ -20°C/output @ 20°C) @ 2ppm NO	30 to 50
	Sensitivity @ 50°C	(% output @ 50°C/output @ 20°C) @ 2ppm NO	110 to 130
	Zero @ -20°C	nA change from 20°C	-30 to -60
	Zero @ 50°C	nA change from 20°C	250 to 300

CROSS SENSITIVITY					
	H_2S sensitivity	% measured gas @ 5ppm	H_2S (after 3 minutes)		< 10
	NO_2 sensitivity	% measured gas @ 5ppm	NO_2 (after 3 minutes)		< 4
	Cl_2 sensitivity	% measured gas @ 5ppm	Cl_2		< 3
	SO_2 sensitivity	% measured gas @ 5ppm	SO_2		< 5
	H_2 sensitivity	% measured gas @ 100ppm	H_2		< 0.1
	CO sensitivity	% measured gas @ 5ppm	CO		< 0.3
	NH_3 sensitivity	% measured gas @ 5ppm	NH_3		< 0.1
	CO_2 sensitivity	% measured gas @ 5% Vol	CO_2		< 0.1
	O_3 sensitivity	% measured gas @ 100ppb	O_3		< 4
	Halothane sensitivity	@ 100ppm	Halothane		< 0.1

KEY SPECIFICATIONS		
Bias voltage	mV (working electrode potential is above reference electrode)	+200
Temperature range	°C	-30 to 50
Pressure range	kPa	80 to 120
Humidity range	% rh continuous	15 to 85
Storage period	months @ 3 to 20°C (stored in sealed pot)	6
Load resistor	Ω (ISB circuit is recommended)	33 to 100
Weight	g	< 13

At the end of the product's life, do not dispose of any electronic sensor, component or instrument in the domestic waste, but contact the instrument manufacturer, Alphasense or its distributor for disposal instructions.

NOTE: all sensors are tested at ambient environmental conditions, with 10 ohm load resistor, unless otherwise stated. As applications of use are outside our control, the information provided is given without legal responsibility. Customers should test under their own conditions, to ensure that the sensors are suitable for their own requirements.

Alphasense Ltd, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley, CM77 7AA, UK
Telephone: +44 (0) 1376 556 700 Fax: +44 (0) 1376 335 899 E-mail: sensors@alphasense.com Website: www.alphasense.com

Technical Specification

NO-B4 Performance Data

Figure 2 Sensitivity Temperature Dependence

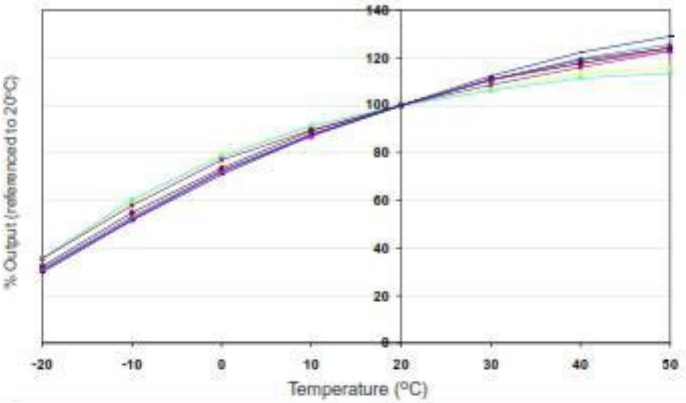


Figure 2 shows the temperature dependence of sensitivity at 2ppm NO.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Figure 3 Zero Temperature Dependence

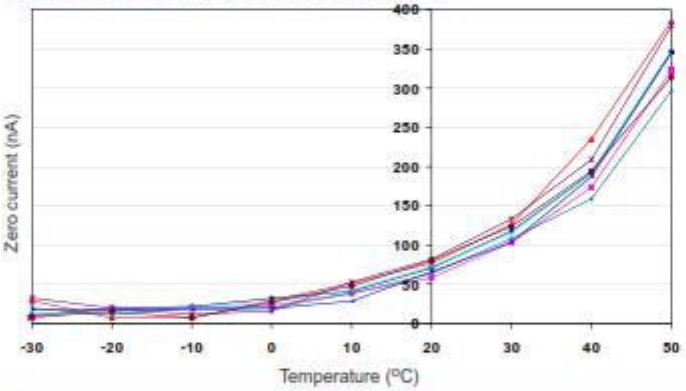


Figure 3 shows the variation in zero output of the working electrode caused by changes in temperature, expressed as nA.

This data is taken from a typical batch of sensors.

Contact Alphasense for futher information on zero current correction.

Figure 4 Response to 200ppb NO

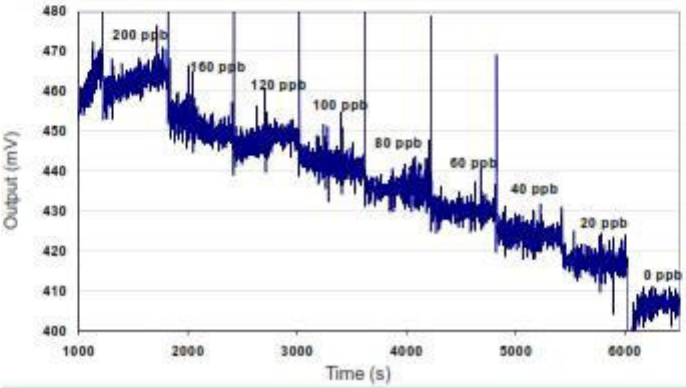


Figure 4 shows response to 200ppb NO.

Use of Alphasense ISB circuit reduces noise to 15ppb with the opportunity of digital smooting to reduce noise even further

For further information on the performance of this sensor, on other sensors in the range or any other subject, please contact Alphasense Ltd. For Application Notes visit "www.alphasense.com".

In the interest of continued product improvement, we reserve the right to change design features and specifications without prior notification. The data contained in this document is for guidance only. Alphasense Ltd accepts no liability for any consequential losses, injury or damage resulting from the use of this document or the information contained within. (©ALPHASENSE LTD) Doc. Ref. NOB4/MAR14

A7. SENSOR DE MATERIAL PARTICULADO

PM2.5 laser dust sensor SKU:SEN0177

From Robot Wiki

Contents

- 1 Introduction
- 2 How it works?
- 3 Specification
- 4 Connection
- 5 Tutorial
  - 5.1 Connection Diagram
  - 5.2 Sample Code
  - 5.3 Result
- 6 Communication protocol
- 7 Dimensions



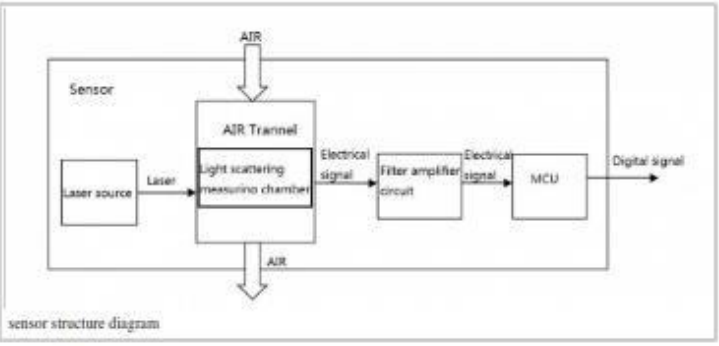
pm2.5 laser dust Sensor

Introduction

PM2.5 laser dust sensor is a digital universal particle concentration sensor, it can be used to obtain the number of suspended particulate matter in a unit volume of air within 0.3 to 10 microns, namely the concentration of particulate matter, and output with digital interface, also can output quality data of per particle. The sensors can be embedded in a variety of concentrations of environment-related instruments suspended particulate matter in the air ,to provide timely and accurate concentration data.

How it works?

The sensor uses a laser scattering theory. And namely the scattering of laser irradiation in the air suspended particles, while collecting the scattered light at a specific angle, to obtain the scattering intensity versus with time curve. After the microprocessor data collection, get the relationship between the time domain and frequency domain by Fourier transform, and then through a series of complex algorithms to obtain the number of particles in the equivalent particle size and volume units of different size. Each functional block diagram of the sensor portion as shown:



sensor structure diagram

Specification

Basic

- Operating voltage :4.95 ~ 5.05V
- Maximum electric current: 120mA
- Measuring pm diameter: 0.3~1.0, 1.0~2.5, 2.5~10(um)
- Measuring pm range: 0~500 ug/m3
- Standby current: ≤200 uA
- Response time: ≤10 s

Feature

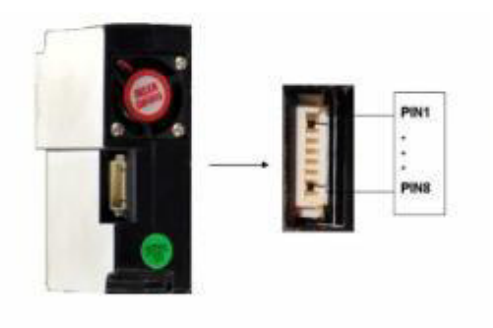
- Quick response
- Standard serial input word output
- Second-order multi-point calibration curve
- The minimum size of 0.3 micron resolution

- Operating temperature range:: -20 ~ 50C
- Operating humidity range: 0 ~ 99% RH
- Maximum size: 65 × 42 × 23 (mm)
- MTBF: >= 5 years

Power supply quality requirements:

1. Voltage ripple: less than 100mV.
2. The power supply voltage stability: 4.95 ~ 5.05V.
3. Power supply: more than 1W (5V@200mA).
4. The upper and lower electric voltage surge is less than 50% of the system power supply voltage.

Connection



Sensor Pin	Arduino Pin	Function Description
Pin 1	VCC	Positive Power
Pin 2	GND	Negative Power
Pin 3	SET	Mode setting (More hereof later)
Pin 4	RXD	receive serial port pin (3.3V level)
Pin 5	TXD	Transferring serial port pin (3.3V level)
Pin 6	RESET	Reset
Pin 7/ 8	NC	NUll

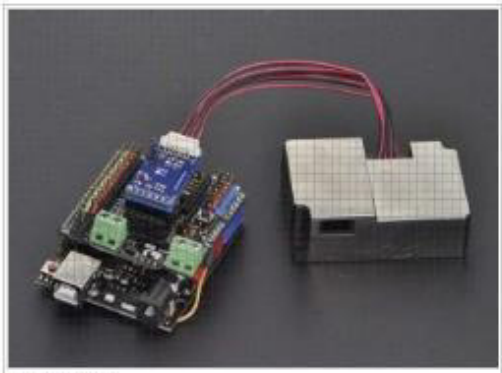
NOTE:

- SET:
  - SET = 1, the module works in continuous sampling mode, it will upload the sample data after the end of each sampling. (The sampling response time is 1S)
  - SET = 0, the module enters a low-power standby mode.
- RESET: leave it empty is OK.

Tutorial

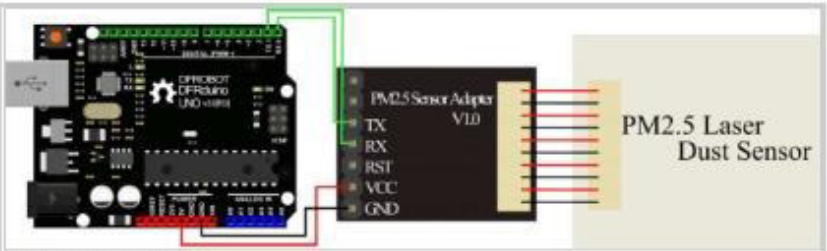
Connection Diagram

If you have IO expansion boards you can download the code and plug PM2.5 sensor adapter to IO expansion board, and you can use the serial to monitor PM2.5, PM1.0 and PM10 of the data. Because the laser PM2.5 sensor uses serial communication and DFRobot UNO R3 is only one independent serial ports, so you need to download arduino code and then plug the sensor , otherwise the program will have downloading problems.



pm2.5 laser dust

If you have no IO expansion board and can follow the wiring diagram below to download the code.



pm2.5 laser dust connecting uno

Sample Code

Download library and code here first: Library (https://github.com/Arduinolibrary/DFRobot_PM2.5_Sensor_module/blob/master/serialReadPMValue.rar?raw=true)

NOTE:

- This sketch below is for UNO, Bluno etc, if you use Leonardo which use Serial1 instead of Serial to communicate with the PM2.5 module, please open the sample sketch in the download library: "**PM2_5SensorDemo.ino**";
- Arduino Version suggested to be Arduino 1.0 (**recommend 1.0.6**), other version would not be compatible to run the library.

```
?
/*****************************
*Copyright (c) 2015, DFRobot
*All rights reserved
*
*File Name:PM2_5SensorDemo.ino
*FileId:
*Abstract :Read value of PM1,PM2.5 and PM10 of air quality
*
*Version:V1.0
*Author:Joyce
*Time:2015.2.22
*****************************/

```

```
#include "Arduino.h"
#include "serialReadPMValue.h"

uint16_t PM01Value=0;          //define PM1.0 value of the air detector module
uint16_t PM2_5Value=0;         //define PM2.5 value of the air detector module
uint16_t PM10Value=0;         //define PM10 value of the air detector module

#define receiveDatIndex 32
uint8_t receiveDat[receiveDatIndex]; //receive data from the air detector module


void setup() {
  Serial.begin(9600);   //set the serial1's Baudrate of the air detector module
}

void loop(){
 int length = serialRead(Serial,receiveDat,receiveDatIndex,5);
 int checkSum=checkValue(receiveDat,receiveDatIndex);

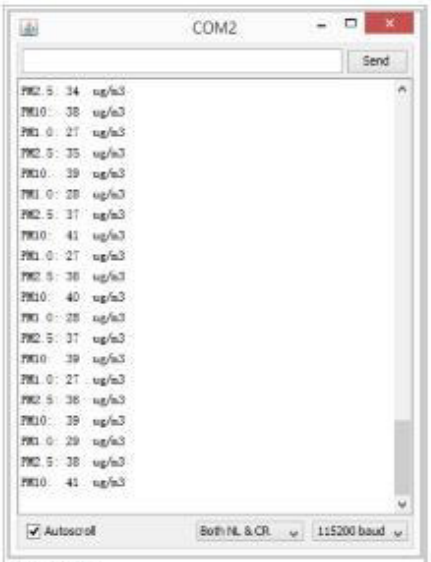
  if(length&&checkSum)  {
    PM01Value=transmitPM01(receiveDat); //count PM1.0 value of the air detector module
    PM2_5Value=transmitPM2_5(receiveDat);//count PM2.5 value of the air detector module
    PM10Value=transmitPM10(receiveDat); //count PM10 value of the air detector module
  }
   static unsigned long OledTimer=millis();        //every 0.5s update the temperature and humidity from DHT11
sensor
   if (millis() - OledTimer >=1000)     {
     OledTimer=millis();

     Serial.print("PM1.0: ");  //send PM1.0 data to bluetooth
     Serial.print(PM01Value);
     Serial.println("  ug/m3");

     Serial.print("PM2.5: ");  //send PM1.0 data to bluetooth
     Serial.print(PM2_5Value);
     Serial.println("  ug/m3");

     Serial.print("PM10:  ");  //send PM1.0 data to bluetooth
     Serial.print(PM10Value);
     Serial.println("  ug/m3");
   }
}
```

Result



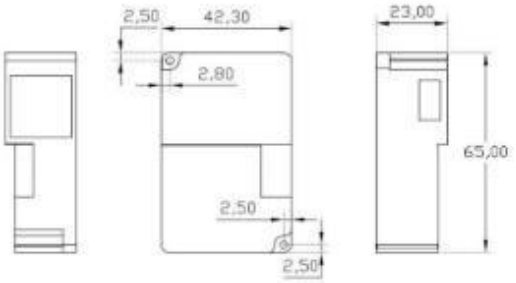
PM2.5_Result

Communication protocol

Serial port baudrate: 9600; Parity: None; Stop Bits: 1; packet length is fixed at 24 bytes.

Start character	0x42(fixed bit)	
Start character	0x4d(fixed bit)	
frame length high 8-byte	.....	frame length=2*9+2(Data+check bit)
frame length low 8-byte	.....	
1st data high 8-byte	.....	1st Data represents the concentration of PM1.0, (ug/m3)
1st data low 8-byte	.....	
2nd data high 8-byte	.....	2nd Data represents the concentration of PM2.5, (ug/m3)
2nd data low 8-byte	.....	
3rd data high 8-byte	.....	3rd Data represents the concentration of PM10, (ug/m3)
3rd data low 8-byte	.....	
4th data high 8-byte	.....	4th Data represents the number of particulate in
4th data low 8-byte	.....	diameter above 0.3um in 0.1 liters of air
5th data high 8-byte	.....	5th Data represents the number of particulate in
5th data low 8-byte	.....	diameter above 0.5um in 0.1 liters of air
6th data high 8-byte	.....	6th Data represents the number of particulate in
6th data low 8-byte	.....	diameter above 1.0um in 0.1 liters of air
7th data high 8-byte	.....	7th Data represents the number of particulate in
7th data low 8-byte	.....	diameter above 2.5um in 0.1 liters of air
8th data high 8-byte	.....	8th Data represents the number of particulate in
8th data low 8-byte	.....	diameter above 5.0um in 0.1 liters of air
9th data high 8-byte	.....	9th Data represents the number of particulate in
9th data low 8-byte	.....	diameter above 10um in 0.1 liters of air
data check high 8-byte	.....	checksum is the sum of start character and all data)
data check low 8-byte	.....	

Dimensions



BUY from **DFRobot Store** (http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1272&search=SEN0177&description=true) or **DFRobot Distributor** List (http://www.dfrobot.com/index.php?route=information/distributorslogo)

Retrieved from "https://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=PM2.5_laser_dust_sensor_SKU:SEN0177&oldid=31397"
Categories: Product Manual | SEN Series | Sensors

- This page was last modified on 29 September 2015, at 10:30.
- This page has been accessed 5,848 times.

ANEXO B

DATASHEETS Y ELEMENTOS ADICIONALES

B1. PLACA DE SENSOR INDIVIDUAL

Technical Specification

Individual Sensor Board (ISB)
Alphasense B4 4-Electrode Gas Sensors

The Individual Sensor Board (ISB) is designed for use with the Alphasense B4 family of four-electrode gas sensors. This potentiostat provides a dual channel voltage output.

A low noise bandgap provides the bias voltage for NO sensors and the ISB can measure both oxidising (CO, H2S, SO2, and NO) and reducing (O3 and NO2) gases. The ISB is configured as four versions for specific sensors: NO, NO2, O3 and CO/ H2S/ SO2.

Designed for low power applications, the ISB requires 3.5 to 6.4 stable DC supply at only 1mA.

Figure 1 ISB

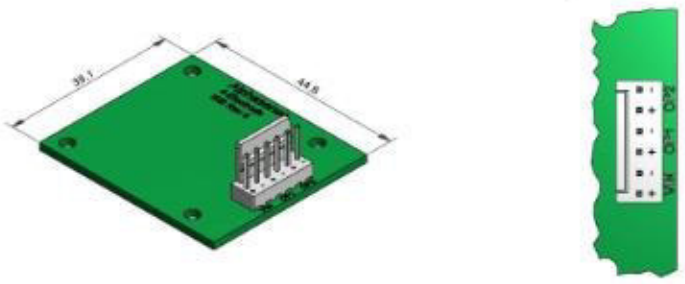


If the ISB is supplied separate from the B4 sensor, ensure it is matched to the sensor type according to Table 1:

Table 1 ISB Part numbers

Part number	Sensor
000-0ISB-00	CO-B4, SO2-B4, H2S-B4
000-0ISB-01	NO-B4
000-0ISB-02	NO2-B4
000-0ISB-03	O3-B4

Figure 2 ISB dimensions and socket for power and signals



Both the working electrode and auxiliary electrode (used to compensate for zero current) have equivalent two stage amplifiers and the buffered signals are available on the 6-way Molex socket along with the 6.0VDC power IN pins. There are no adjustments on the ISB: zero offset and gain are fixed.

The ISB is a very low noise design and care must be taken with grounding and screening to achieve good ppb resolution. The power supply must be filtered to avoid noise on the output.

Accessories include gassing hoods for calibration checks and mounting pillars, sealing gaskets and hardware for easy fitting to your housing.

Alphasense Ltd, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley, CM77 7AA, UK
Telephone: +44 (0) 1376 556 700 Fax: +44 (0) 1376 335 899 E-mail: sensors@alphasense.com Website: www.alphasense.com

Individual Sensor Board (ISB)
Alphasense B4 4-Electrode Gas Sensors

Technical Specification

Figure 3 ISB dimensions and mounting hole locations

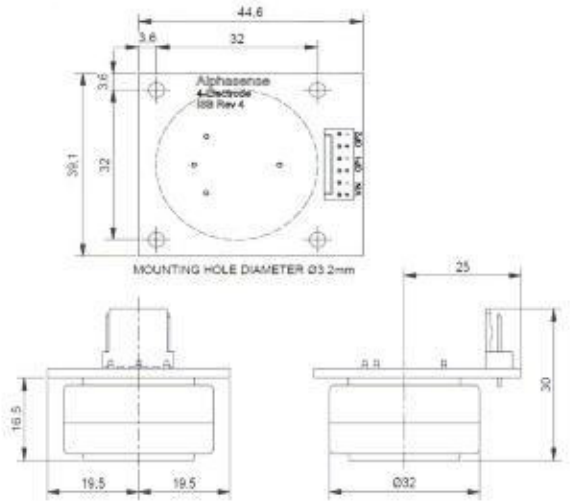


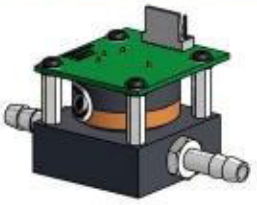
Table 2 Optional ISB Accessories

Optional fitting kit # 000-0ISB-KIT	
4 x pillars	16.0 mm length, M3 tapped
8 x washers	M3 flat washers
4 x screws	M3 x 8 button head screws
1 x transmitter lead	Molex socket housing with 150 mm leads

NB: 000-0ISB-KIT is required with any gas hood

Figure 4 Gas Hood with sensor and ISB

Part Number	Gas Hood*
000-GSHD-00	SS Swagelok ¼" connector
000-GSHD-01	PFA Swagelok ¼" tube connector
000-GSHD-02	Nickel plated brass ¼" BSP barb (standard fitting)
000-TUBE-FEP	¼" OD FEP tubing 1.5mtr



For further information on the performance of sensors in the Alphasense range or any other subject, please contact Alphasense Ltd. For Application Notes visit "www.alphasense.com"

NOTE: as applications of use are beyond our control, the information provided is given without legal responsibility. Customers should test under their own conditions, to ensure that the sensors and transmitters are suitable for their own requirements.

In the interest of continued product improvement, we reserve the right to change design features and specifications without prior notification. The data contained in this document is for guidance only. Alphasense Ltd accepts no liability for any consequential losses, injury or damage resulting from the use of this document or the information contained in it (©ALPHASENSE LTD) Doc. Ref. ISB/FEB14

B2. CONVERSOR ANOLOGO DIGITAL

LINEAR TECHNOLOGY

LTC1863/LTC1867

12-/16-Bit, 8-Channel 200ksps ADCs

FEATURES

- **Sample Rate: 200ksps**
- **16-Bit No Missing Codes and ±2LSB Max INL**
- **8-Channel Multiplexer with:**
  Single Ended or Differential Inputs and Unipolar or Bipolar Conversion Modes
- **SPI/MICROWIRE™ Serial I/O**
- **Signal-to-Noise Ratio: 89dB**
- **Single 5V Operation**
- **On-Chip or External Reference**
- Low Power: 1.3mA at 200ksps, 0.76mA at 100ksps
- Sleep Mode
- Automatic Nap Mode Between Conversions
- 16-Pin Narrow SSOP Package

APPLICATIONS

- Industrial Process Control
- High Speed Data Acquisition
- Battery Operated Systems
- Multiplexed Data Acquisition Systems
- Imaging Systems

DESCRIPTION

The LTC®1863/LTC1867 are pin-compatible, 8-channel 12-/16-bit A/D converters with serial I/O, and an internal reference. The ADCs typically draw only 1.3mA from a single 5V supply.

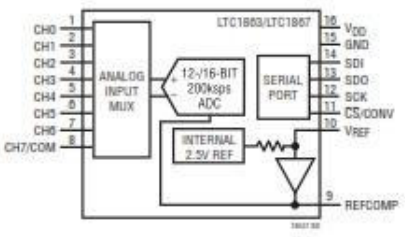
The 8-channel input multiplexer can be configured for either single-ended or differential inputs and unipolar or bipolar conversions (or combinations thereof). The automatic nap and sleep modes benefit power sensitive applications.

The LTC1867's DC performance is outstanding with a ±2LSB INL specification and no missing codes over temperature. The signal-to-noise ratio (SNR) for the LTC1867 is typically 89dB, with the internal reference.

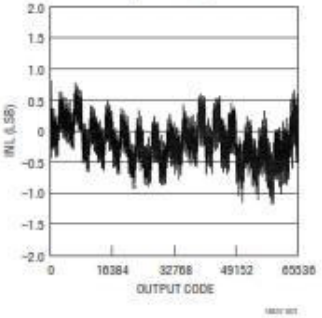
Housed in a compact, narrow 16-pin SSOP package, the LTC1863/LTC1867 can be used in space-sensitive as well as low-power applications.

LT, LTC, LTM, Linear Technology and the Linear logo are registered trademarks of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

BLOCK DIAGRAM



Integral Nonlinearity vs Output Code (LTC1867)

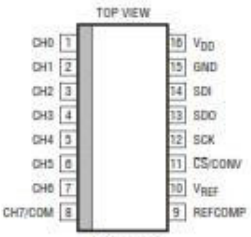


ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(Note 1, 2)

Supply Voltage (V_{DD}) ..... –0.3V to 6V
Analog Input Voltage
  CH0-CH7/COM (Note 3) ..... –0.3V to (V_{DD} + 0.3V)
  V_{REF}, REFCOMP (Note 4) ..... –0.3V to (V_{DD} + 0.3V)
Digital Input Voltage (SDI, SCK, $\overline{CS}$/CONV)
  (Note 4) ..... –0.3V to 10V
Digital Output Voltage (SDO) ..... –0.3V to (V_{DD} + 0.3V)
Power Dissipation 500mW
Operating Temperature Range
  LTC1863C/LTC1867C/LTC1867AC ..... 0°C to 70°C
  LTC1863I/LTC1867I/LTC1867AI ..... –40°C to 85°C
Storage Temperature Range ..... –65°C to 150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec) ..... 300°C

PIN CONFIGURATION



GN PACKAGE
16-LEAD NARROW PLASTIC SSOP
T_{JMAX} = 110°C, θ_{JA} = 95°C/W

ORDER INFORMATION

LEAD FREE FINISH	TAPE AND REEL	PART MARKING*	PACKAGE DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE
LTC1863CGN#PBF	LTC1863CGN#TRPBF	1863	16-Lead Narrow Plastic SSOP	0°C to 70°C
LTC1863IGN#PBF	LTC1863IGN#TRPBF	1863	16-Lead Narrow Plastic SSOP	–40°C to 85°C
LTC1867CGN#PBF	LTC1867CGN#TRPBF	1867	16-Lead Narrow Plastic SSOP	0°C to 70°C
LTC1867IGN#PBF	LTC1867IGN#TRPBF	1867	16-Lead Narrow Plastic SSOP	–40°C to 85°C
LTC1867ACGN#PBF	LTC1867ACGN#TRPBF	1867	16-Lead Narrow Plastic SSOP	0°C to 70°C
LTC1867AIGN #PBF	LTC1867AIGN#TRPBF	1867	16-Lead Narrow Plastic SSOP	–40°C to 85°C

Consult LTC Marketing for parts specified with wider operating temperature ranges. *The temperature grade is identified by a label on the shipping container.
Consult LTC Marketing for information on non-standard lead based finish parts.

For more information on lead free part marking, go to: http://www.linear.com/leadfree/
For more information on tape and reel specifications, go to: http://www.linear.com/tapeandreel/

CONVERTER CHARACTERISTICS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at T_A = 25°C. With external reference (Notes 5, 6)

PARAMETER	CONDITIONS		LTC1863 MIN	LTC1863 TYP	LTC1863 MAX	LTC1867 MIN	LTC1867 TYP	LTC1867 MAX	LTC1867A MIN	LTC1867A TYP	LTC1867A MAX	UNITS
Resolution		●	12			16			16			Bits
No Missing Codes		●	12			15			16			Bits
Integral Linearity Error	Unipolar (Note 7) Bipolar	● ●			±1 ±1			±4 ±4			±2 ±2.5	LSB LSB
Differential Linearity Error		●			±1	–2		3	–1		1.75	LSB
Transition Noise				0.1			0.74			0.74		LSB_{RMS}
Offset Error	Unipolar (Note 8) Bipolar	● ●			±3 ±4			±32 ±64			±32 ±64	LSB LSB
Offset Error Match	Unipolar Bipolar				±1 ±1			±2 ±2			±2 ±2	LSB LSB

CONVERTER CHARACTERISTICS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at T_A = 25°C. With external reference (Notes 5, 6)

PARAMETER	CONDITIONS		LTC1863 MIN	LTC1863 TYP	LTC1863 MAX	LTC1867 MIN	LTC1867 TYP	LTC1867 MAX	LTC1867A MIN	LTC1867A TYP	LTC1867A MAX	UNITS
Offset Error Drift				±0.5			±0.5			±0.5		ppm/°C
Gain Error	Unipolar Bipolar				±6 ±6			±96 ±96			±64 ±64	LSB LSB
Gain Error Match					±1			±4			±2	LSB
Gain Error Tempco	Internal Reference External Reference			±15 ±2.7			±15 ±2.7			±15 ±2.7		ppm/°C ppm/°C
Power Supply Sensitivity	V_{DD} = 4.75V – 5.25V			±1			±5			±5		LSB

DYNAMIC ACCURACY (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LTC1863 MIN	LTC1863 TYP	LTC1863 MAX	LTC1867/LTC1867A MIN	LTC1867/LTC1867A TYP	LTC1867/LTC1867A MAX	UNITS
SNR	Signal-to-Noise Ratio	1kHz Input Signal		73.6			89		dB
S/(N+D)	Signal-to-(Noise + Distortion) Ratio	1kHz Input Signal		73.5			88		dB
THD	Total Harmonic Distortion	1kHz Input Signal, Up to 5th Harmonic		–94.5			–95		dB
	Peak Harmonic or Spurious Noise	1kHz Input Signal		–94.5			–95		dB
	Channel-to-Channel Isolation	100kHz Input Signal		–100			–117		dB
	Full Power Bandwidth	–3dB Point		1.25			1.25		MHz

ANALOG INPUT

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at T_A = 25°C. (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		LTC1863/LTC1867/LTC1867A MIN	LTC1863/LTC1867/LTC1867A TYP	LTC1863/LTC1867/LTC1867A MAX	UNITS
	Analog Input Range	Unipolar Mode (Note 9) Bipolar Mode	● ●		0-4.096 ±2.048		V V
C_{IN}	Analog Input Capacitance for CH0 to CH7/COM	Between Conversions (Sample Mode) During Conversions (Hold Mode)			32 4		pF pF
t_{ACQ}	Sample-and-Hold Acquisition Time		●	1.5	1.1		µs
	Input Leakage Current	On Channels, CHX = 0V or V_{DD}	●			±1	µA

INTERNAL REFERENCE CHARACTERISTICS (Note 5)

PARAMETER	CONDITIONS	LTC1863/LTC1867/LTC1867A MIN	LTC1863/LTC1867/LTC1867A TYP	LTC1863/LTC1867/LTC1867A MAX	UNITS
V_{REF} Output Voltage	I_{OUT} = 0	2.48	2.5	2.52	V
V_{REF} Output Tempco	I_{OUT} = 0		±15		ppm/°C
V_{REF} Line Regulation	4.75V ≤ V_{DD} ≤ 5.25V		0.43		mV/V
V_{REF} Output Resistance	| I_{OUT} | ≤0.1mA		6		kΩ
REFCOMP Output Voltage	I_{OUT} = 0		4.096		V

DIGITAL INPUTS AND DIGITAL OUTPUTS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at T_A = 25°C. (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		LTC1803/LTC1867/LTC1867A MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{IH}	High Level Input Voltage	V_{DD} = 5.25V	●	2.4			V
V_{IL}	Low Level Input Voltage	V_{DD} = 4.75V	●			0.8	V
I_{IN}	Digital Input Current	V_{IN} = 0V to V_{DD}	●			±10	µA
C_{IN}	Digital Input Capacitance				2		pF
V_{OH}	High Level Output Voltage (SDO)	V_{DD} = 4.75V, I_O = –10µA V_{DD} = 4.75V, I_O = –200µA	 ●	 4	4.75 4.74		V V
V_{OL}	Low Level Output Voltage (SDO)	V_{DD} = 4.75V, I_O = 160µA V_{DD} = 4.75V, I_O = 1.6mA	 ●		0.05 0.1	 0.4	V V
I_{SOURCE}	Output Source Current	SDO = 0V			–32		mA
I_{SINK}	Output Sink Current	SDO = V_{DD}			19		mA
	Hi-Z Output Leakage Hi-Z Output Capacitance	$\overline{CS}$/CONV = High, SDO = 0V or V_{DD} $\overline{CS}$/CONV = High (Note 10)	● ●			±10 15	µA pF
	Data Format	Unipolar Bipolar			Straight Binary Two's Complement		

POWER REQUIREMENTS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at T_A = 25°C. (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		LTC1803/LTC1867/LTC1867A MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{DD}	Supply Voltage	(Note 9)		4.75		5.25	V
I_{DD}	Supply Current	f_{SAMPLE} = 200ksps NAP Mode SLEEP Mode	● ●		1.3 150 0.2	1.8 3	mA µA µA
P_{DISS}	Power Dissipation		●		6.5	9	mW

TIMING CHARACTERISTICS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at T_A = 25°C. (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		LTC1863/LTC1867/LTC1867A MIN	TYP	MAX	UNITS
f_{SAMPLE}	Maximum Sampling Frequency		●	200			kHz
t_{CONV}	Conversion Time		●		3	3.5	µs
t_{ACQ}	Acquisition Time		●	1.5	1.1		µs
f_{SCK}	SCK Frequency					40	MHz
t_1	$\overline{CS}$/CONV High Time	Short $\overline{CS}$/CONV Pulse Mode	●	40	100		ns
t_2	SDO Valid After SCK↓	C_L = 25pF (Note 11)	●		13	22	ns
t_3	SDO Valid Hold Time After SCK↓	C_L = 25pF	●	5	11		ns
t_4	SDO Valid After $\overline{CS}$/CONV↓	C_L = 25pF	●		10	30	ns
t_5	SDI Setup Time Before SCK↑		●	15	–6		ns
t_6	SDI Hold Time After SCK↑		●	10	4		ns
t_7	SLEEP Mode Wake-Up Time	$C_{REFCOMP}$ = 10µF, C_{VREF} = 2.2µF			60		ms
t_8	Bus Relinquish Time After $\overline{CS}$/CONV↑	C_L = 25pF	●		20	40	ns

Note 1: Stresses beyond those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. Exposure to any Absolute Maximum Rating condition for extended periods may affect device reliability and lifetime

Note 2: All voltage values are with respect to GND (unless otherwise noted).

Note 3: When these pin voltages are taken below GND or above V_{DD}, they will be clamped by internal diodes. This product can handle input currents of greater than 100mA without latchup.

Note 4: When these pin voltages are taken below GND, they will be clamped by internal diodes. This product can handle input currents of greater than 100mA below GND without latchup. These pins are not clamped to V_{DD}.

Note 5: V_{DD} = 5V, f_{SAMPLE} = 200ksps at 25°C, $t_r = t_f$ = 5ns and $V_{IN}-$ = 2.5V for bipolar mode unless otherwise specified.

Note 6: Linearity, offset and gain error specifications apply for both unipolar and bipolar modes. The INL and DNL are tested in bipolar mode.

Note 7: Integral nonlinearity is defined as the deviation of a code from a straight line passing through the actual endpoints of the transfer curve. The deviation is measured from the center of the quantization band.

Note 8: Unipolar offset is the offset voltage measured from +1/2LSB when the output code flickers between 0000 0000 0000 0000 and 0000 0000 0000 0001 for LTC1867 and between 0000 0000 0000 and 0000 0000 0001 for LTC1863. Bipolar offset is the offset voltage measured from –1/2LSB when output code flickers between 0000 0000 0000 0000 and 1111 1111 1111 1111 for LTC1867, and between 0000 0000 0000 and 1111 1111 1111 for LTC1863.

Note 9: Recommended operating conditions. The input range of ±2.048V for bipolar mode is measured with respect to $V_{IN}-$ = 2.5V.

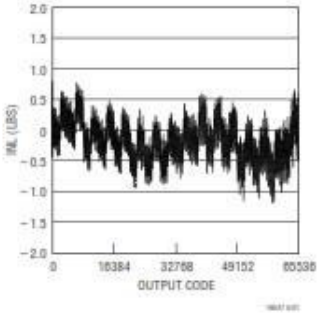
Note 10: Guaranteed by design, not subject to test.

Note 11: t_2 of 25ns maximum allows f_{SCK} up to 20MHz for rising capture with 50% duty cycle and f_{SCK} up to 40MHz for falling capture (with 3ns setup time for the receiving logic).

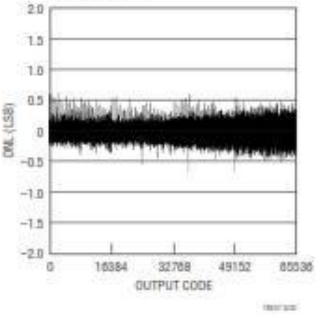
TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

(LTC1867)

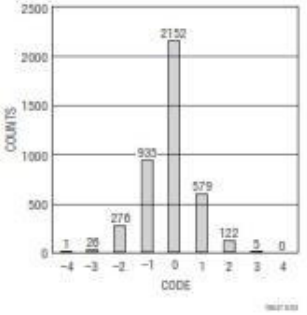
Integral Nonlinearity vs Output Code



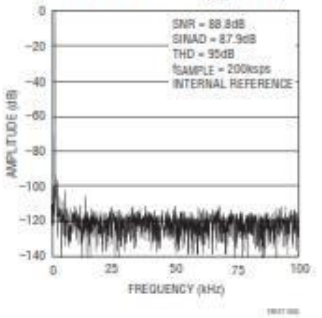
Differential Nonlinearity vs Output Code



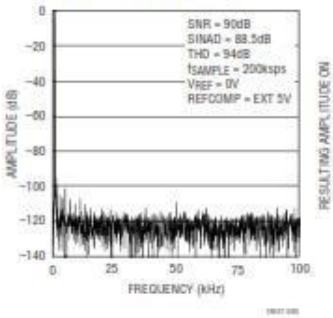
Histogram for 4096 Conversions



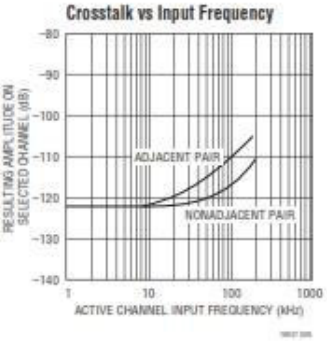
4096 Points FFT Plot (f_{IN} = 1kHz)



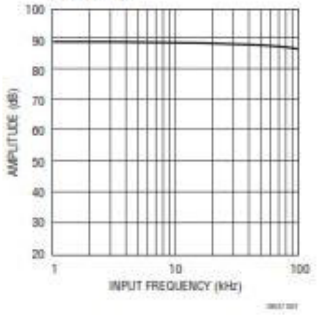
4096 Points FFT Plot (f_{IN} = 1kHz, REFCOMP = External 5V)



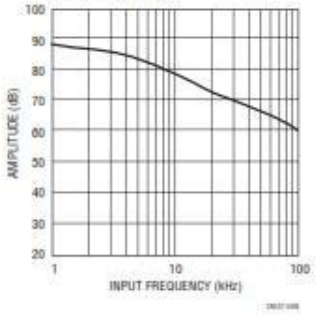
Crosstalk vs Input Frequency



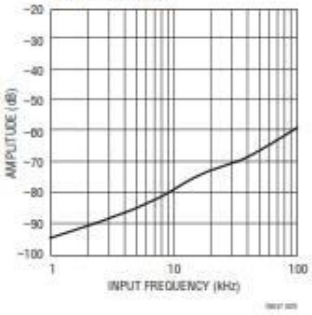
Signal-to-Noise Ratio vs Frequency



Signal-to-(Noise + Distortion) vs Input Frequency

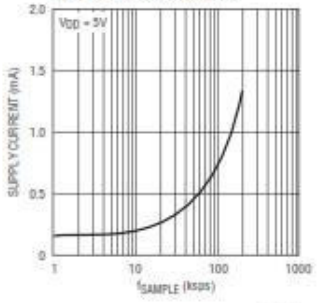


Total Harmonic Distortion vs Input Frequency

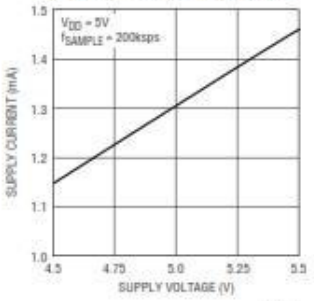


TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS
(LTC1863/LTC1867)

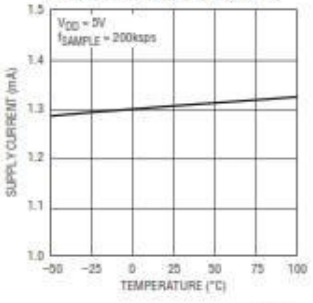
Supply Current vs f_{SAMPLE}



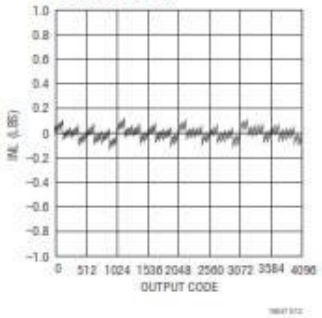
Supply Current vs Supply Voltage



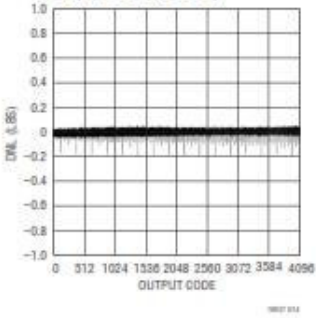
Supply Current vs Temperature



Integral Nonlinearity vs Output Code (LTC1863)



Differential Nonlinearity vs Output Code (LTC1863)



PIN FUNCTIONS

CH0-CH7/COM (Pins 1-8): Analog Input Pins. Analog inputs must be free of noise with respect to GND. CH7/COM can be either a separate channel or the common minus input for the other channels.

REFCOMP (Pin 9): Reference Buffer Output Pin. Bypass to GND with 10µF tantalum capacitor in parallel with 0.1µF ceramic capacitor (4.096V Nominal). To overdrive REFCOMP, tie V_{REF} to GND.

V_{REF} (Pin 10): 2.5V Reference Output. This pin can also be used as an external reference buffer input for improved accuracy and drift. Bypass to GND with 2.2µF tantalum capacitor in parallel with 0.1µF ceramic capacitor.

$\overline{CS}$/CONV (Pin 11): This input provides the dual function of initiating conversions on the ADC and also frames the serial data transfer.

SCK (Pin 12): Shift Clock. This clock synchronizes the serial data transfer.

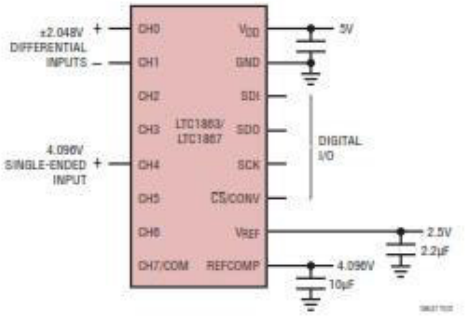
SDO (Pin 13): Digital Data Output. The A/D conversion result is shifted out of this output. Straight binary format for unipolar mode and two's complement format for bipolar mode.

SDI (Pin 14): Digital Data Input Pin. The A/D configuration word is shifted into this input.

GND (Pin 15): Analog and Digital GND.

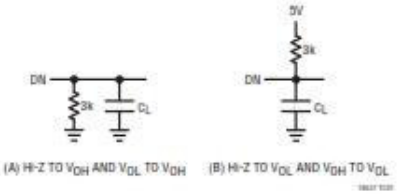
V_{DD} (Pin 16): Analog and Digital Power Supply. Bypass to GND with 10µF tantalum capacitor in parallel with 0.1µF ceramic capacitor.

TYPICAL CONNECTION DIAGRAM

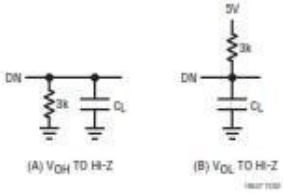


TEST CIRCUITS

Load Circuits for Access Timing

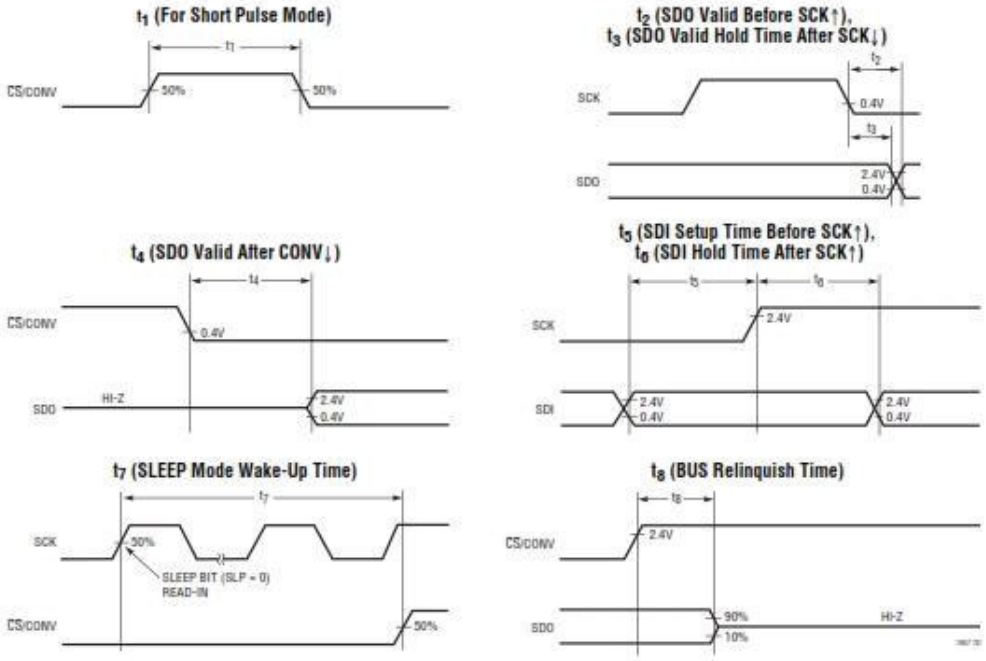


Load Circuits for Output Float Delay



18637fb

TIMING DIAGRAMS



APPLICATIONS INFORMATION

Overview

The LTC1863/LTC1867 are complete, low power multiplexed ADCs. They consist of a 12-/16-bit, 200ksps capacitive successive approximation A/D converter, a precision internal reference, a configurable 8-channel analog input multiplexer (MUX) and a serial port for data transfer.

Conversions are started by a rising edge on the $\overline{CS}$/CONV input. Once a conversion cycle has begun, it cannot be restarted. Between conversions, the ADCs receive an input word for channel selection and output the conversion result, and the analog input is acquired in preparation for the next conversion. In the acquire phase, a minimum time of 1.5µs will provide enough time for the sample-and-hold capacitors to acquire the analog signal.

During the conversion, the internal differential 16-bit capacitive DAC output is sequenced by the SAR from the most significant bit (MSB) to the least significant bit (LSB). The input is successively compared with the binary weighted charges supplied by the differential capacitive DAC. Bit decisions are made by a low-power, differential comparator. At the end of a conversion, the DAC output balances the analog input. The SAR contents (a 12-/16-bit data word) that represent the analog input are loaded into the 12-/16-bit output latches.

APPLICATIONS INFORMATION

Analog Input Multiplexer

The analog input multiplexer is controlled by a 7-bit input data word. The input data word is defined as follows:

SD	OS	S1	S0	COM	UNI	SLP

SD = SINGLE/$\overline{\text{DIFFERENTIAL}}$ BIT

OS = ODD/$\overline{\text{SIGN}}$ BIT

S1 = ADDRESS SELECT BIT 1

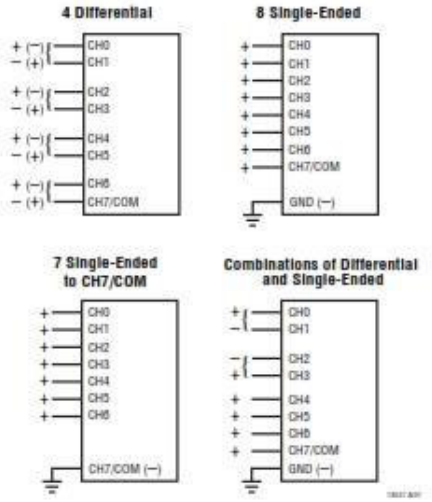
S0 = ADDRESS SELECT BIT 0

COM = CH7/COM CONFIGURATION BIT

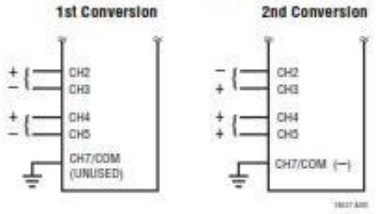
UNI = UNIPOLAR/$\overline{\text{BIPOLAR}}$ BIT

SLP = SLEEP MODE BIT

Examples of Multiplexer Options



Changing the MUX Assignment "On the Fly"



Tables 1 and 2 show the configurations when COM = 0, and COM = 1.

Table 1. Channel Configuration (When COM = 0, CH7/COM Pin Is Used as CH7)

					Channel Configuration	
SD	OS	S1	S0	COM	"+"	"–"
0	0	0	0	0	CH0	CH1
0	0	0	1	0	CH2	CH3
0	0	1	0	0	CH4	CH5
0	0	1	1	0	CH6	CH7
0	1	0	0	0	CH1	CH0
0	1	0	1	0	CH3	CH2
0	1	1	0	0	CH5	CH4
0	1	1	1	0	CH7	CH6
1	0	0	0	0	CH0	GND
1	0	0	1	0	CH2	GND
1	0	1	0	0	CH4	GND
1	0	1	1	0	CH6	GND
1	1	0	0	0	CH1	GND
1	1	0	1	0	CH3	GND
1	1	1	0	0	CH5	GND
1	1	1	1	0	CH7	GND

Table 2. Channel Configuration (When COM = 1, CH7/COM Pin Is Used as COMMON)

					Channel Configuration	
SD	OS	S1	S0	COM	"+"	"–"
1	0	0	0	1	CH0	CH7/COM
1	0	0	1	1	CH2	CH7/COM
1	0	1	0	1	CH4	CH7/COM
1	0	1	1	1	CH6	CH7/COM
1	1	0	0	1	CH1	CH7/COM
1	1	0	1	1	CH3	CH7/COM
1	1	1	0	1	CH5	CH7/COM

18637fb

APPLICATIONS INFORMATION

Driving the Analog Inputs

The analog inputs of the LTC1863/LTC1867 are easy to drive. Each of the analog inputs can be used as a single-ended input relative to the GND pin (CH0-GND, CH1-GND, etc) or in pairs (CH0 and CH1, CH2 and CH3, CH4 and CH5, CH6 and CH7) for differential inputs. In addition, CH7 can act as a COM pin for both single-ended and differential modes if the COM bit in the input word is high. Regardless of the MUX configuration, the "+" and "–" inputs are sampled at the same instant. Any unwanted signal that is common mode to both inputs will be reduced by the common mode rejection of the sample-and-hold circuit. The inputs draw only one small current spike while charging the sample-and-hold capacitors during the acquire mode. In conversion mode, the analog inputs draw only a small leakage current. If the source impedance of the driving circuit is low then the LTC1863/LTC1867 inputs can be driven directly. More acquisition time should be allowed for a higher impedance source.

The following list is a summary of the op amps that are suitable for driving the LTC1863/LTC1867. More detailed information is available in the Linear Technology data books or Linear Technology website.

LT1007 - Low noise precision amplifier. 2.7mA supply current ±5V to ±15V supplies. Gain bandwidth product 8MHz. DC applications.

LT1097 - Low cost, low power precision amplifier. 300µA supply current. ±5V to ±15V supplies. Gain bandwidth product 0.7MHz. DC applications.

LT1227 - 140MHz video current feedback amplifier. 10mA supply current. ±5V to ±15V supplies. Low noise and low distortion.

LT1360 - 37MHz voltage feedback amplifier. 3.8mA supply current. ±5V to ±15V supplies. Good AC/DC specs.

LT1363 - 50MHz voltage feedback amplifier. 6.3mA supply current. Good AC/DC specs.

LT1364/LT1365 - Dual and quad 50MHz voltage feedback amplifiers. 6.3mA supply current per amplifier. Good AC/DC specs.

LT1468 - 90MHz, 22V/µs 16-bit accurate amplifier

LT1469 - Dual LT1468

Input Filtering

The noise and the distortion of the input amplifier and other circuitry must be considered since they will add to the LTC1863/LTC1867 noise and distortion. Noisy input circuitry should be filtered prior to the analog inputs to minimize noise. A simple 1-pole RC filter is sufficient for many applications. For instance, Figure 1 shows a 50Ω source resistor and a 2000pF capacitor to ground on the input will limit the input bandwidth to 1.6MHz. The source impedance has to be kept low to avoid gain error and degradation in the AC performance. The capacitor also acts as a charge reservoir for the input sample-and-hold and isolates the ADC input from sampling glitch sensitive circuitry. High quality capacitors and resistors should be used since these components can add distortion. NPO and silver mica type dielectric capacitors have excellent linearity. Carbon surface mount resistors can also generate distortion from self heating and from damage that may occur during soldering. Metal film surface mount resistors are much less susceptible to both problems.

APPLICATIONS INFORMATION

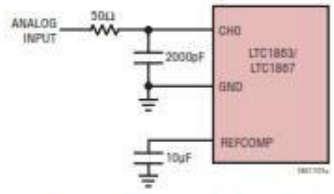


Figure 1a. Optional RC Input Filtering for Single-Ended Input

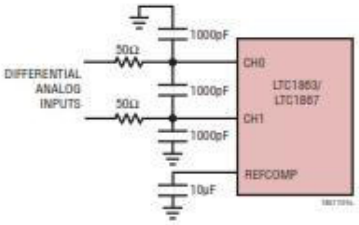


Figure 1b. Optional RC Input Filtering for Differential Inputs

DC Performance

One way of measuring the transition noise associated with a high resolution ADC is to use a technique where a DC signal is applied to the input of the ADC and the resulting output codes are collected over a large number of conversions. For example, in Figure 2 the distribution of output codes is shown for a DC input that had been digitized 4096 times. The distribution is Gaussian and the RMS code transition noise is about 0.74LSB.

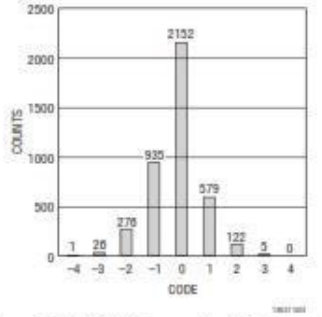


Figure 2. LTC1867 Histogram for 4096 Conversions

Dynamic Performance

FFT (Fast Fourier Transform) test techniques are used to test the ADC's frequency response, distortion and noise at the rated throughput. By applying a low distortion sine wave and analyzing the digital output using an FFT algorithm, the ADC's spectral content can be examined for frequencies outside the fundamental.

Signal-to-Noise Ratio

The Signal-to-Noise and Distortion Ratio (SINAD) is the ratio between the RMS amplitude of the fundamental input frequency to the RMS amplitude of all other frequency components at the A/D output. The output is band limited to frequencies from above DC and below half the sampling frequency. Figure 3 shows a typical SINAD of 87.9dB with a 200kHz sampling rate and a 1kHz input. When an external 5V is applied to REFCOMP (tie V_{REF} to GND), a signal-to-noise ratio of 90dB can be achieved.

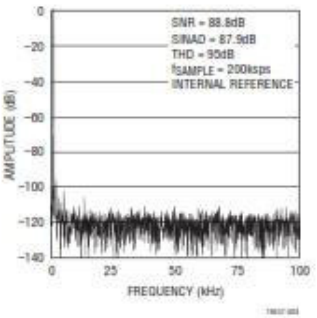


Figure 3. LTC1867 Nonaveraged 4096 Point FFT Plot

Total Harmonic Distortion

Total Harmonic Distortion (THD) is the ratio of the RMS sum of all harmonics of the input signal to the fundamental itself. The out-of-band harmonics alias into the frequency band between DC and half the sampling frequency. THD is expressed as:

$$THD = 20\log\frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 \ldots + V_N^2}}{V_1}$$

18637fb

APPLICATIONS INFORMATION

where V_1 is the RMS amplitude of the fundamental frequency and V_2 through V_N are the amplitudes of the second through Nth harmonics.

Internal Reference

The LTC1863/LTC1867 has an on-chip, temperature compensated, curvature corrected, bandgap reference that is factory trimmed to 2.5V. It is internally connected to a reference amplifier and is available at V_{REF} (Pin 10). A 6k resistor is in series with the output so that it can be easily overdriven by an external reference if better drift and/or accuracy are required as shown in Figure 4. The reference amplifier gains the V_{REF} voltage by 1.638V/V to 4.096V at REFCOMP (Pin 9). This reference amplifier compensation pin, REFCOMP, must be bypassed with a 10µF ceramic or tantalum in parallel with a 0.1µF ceramic for best noise performance.

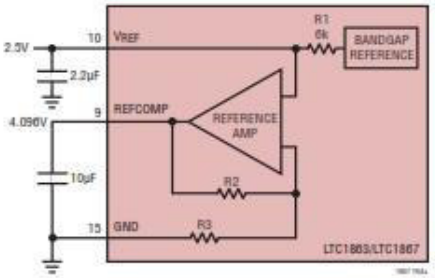


Figure 4a. LTC1867 Reference Circuit

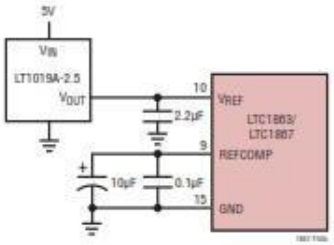


Figure 4b. Using the LT1019-2.5 as an External Reference

Digital Interface

The LTC1863/LTC1867 have a very simple digital interface that is enabled by the control input, $\overline{CS}$/CONV. A logic rising edge applied to the $\overline{CS}$/CONV input will initiate a conversion. After the conversion, taking $\overline{CS}$/CONV low will enable the serial port and the ADC will present digital data in two's complement format in bipolar mode or straight binary format in unipolar mode, through the SCK/SDO serial port.

Internal Clock

The internal clock is factory trimmed to achieve a typical conversion time of 3µs and a maximum conversion time, 3.5µs, over the full operating temperature range. The typical acquisition time is 1.1µs, and a throughput sampling rate of 200ksps is tested and guaranteed.

Automatic Nap Mode

The LTC1863/LTC1867 go into automatic nap mode when $\overline{CS}$/CONV is held high after the conversion is complete (see Figure 6). With a typical operating current of 1.3mA and automatic 150µA nap mode between conversions, the power dissipation drops with reduced sample rate. The ADC only keeps the V_{REF} and REFCOMP voltages active when the part is in the automatic nap mode. The slower the sample rate allows the power dissipation to be lower (see Figure 5).

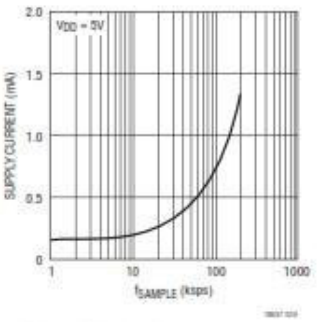


Figure 5. Supply Current vs f_{SAMPLE}

APPLICATIONS INFORMATION

If the $\overline{CS}$/CONV returns low during a bit decision, it can create a small error. For best performance ensure that the $\overline{CS}$/CONV returns low either within 100ns after the conversion starts (i.e. before the first bit decision) or after the conversion ends. If $\overline{CS}$/CONV is low when the conversion ends, the MSB bit will appear on SDO at the end of the conversion and the ADC will remain powered up (see Figure 7).

Sleep Mode

If the SLP = 1 is selected in the input word, the ADC will enter SLEEP mode and draw only leakage current (provided that all the digital inputs stay at GND or V_{DD}). After release from the SLEEP mode, the ADC need 60ms to wake up (2.2µF/10µF bypass capacitors on V_{REF}/ REFCOMP pins).

Board Layout and Bypassing

To obtain the best performance, a printed circuit board with a ground plane is required. Layout for the printed circuit board should ensure digital and analog signal lines are separated as much as possible. In particular, care should be taken not to run any digital signal alongside an analog signal.

All analog inputs should be screened by GND. V_{REF}, REFCOMP and V_{DD} should be bypassed to this ground plane as close to the pin as possible; the low impedance of the common return for these bypass capacitors is essential to the low noise operation of the ADC. The width for these tracks should be as wide as possible.

Timing and Control

Conversion start is controlled by the $\overline{CS}$/CONV digital input. The rising edge transition of the $\overline{CS}$/CONV will start a conversion. Once initiated, it cannot be restarted until the conversion is complete. Figures 6 and 7 show the timing diagrams for two types of $\overline{CS}$/CONV pulses.

Example 1 (Figure 6) shows the LTC1863/LTC1867 operating in automatic nap mode with $\overline{CS}$/CONV signal staying HIGH after the conversion. Automatic nap mode provides power reduction at reduced sample rate. The ADCs can also operate with the $\overline{CS}$/CONV signal returning LOW before the conversion ends. In this mode (Example 2, Figure 7), the ADCs remain powered up.

For best performance, it is recommended to keep SCK, SDI, and SDO at a constant logic high or low during acquisition and conversion, even though these signals may be ignored by the serial interface (DON'T CARE). Communication with other devices on the bus should not coincide with the conversion period (t_{CONV}).

Figures 8 and 9 are the transfer characteristics for the bipolar and unipolar mode.

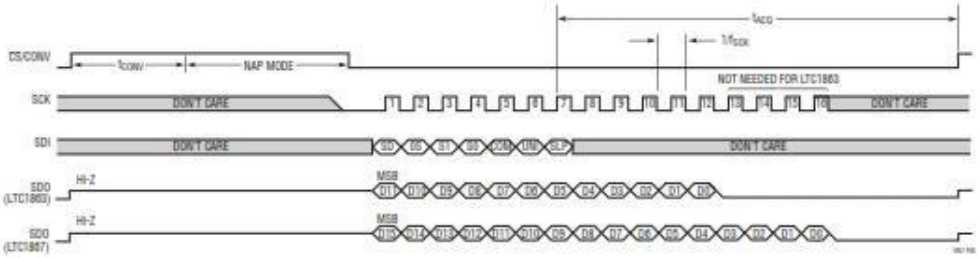


Figure 6. Example 1, $\overline{CS}$/CONV Starts a Conversion and Remains HIGH Until Next Data Transfer. With $\overline{CS}$/CONV Remaining HIGH After the Conversion, Automatic Nap Modes Provides Power Reduction at Reduced Sample Rate.

APPLICATIONS INFORMATION

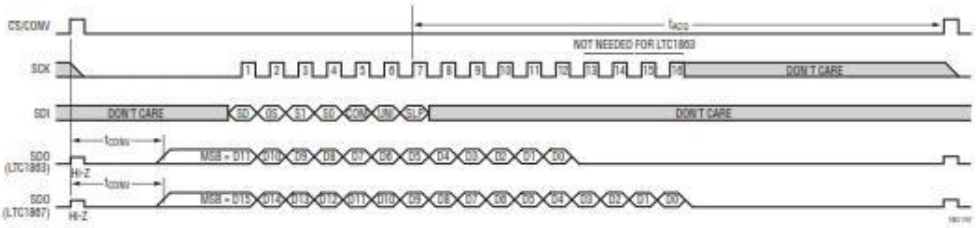


Figure 7. Example 2, CS/CONV Starts a Conversion With Short Active HIGH Pulse. With CS/CONV Returning LOW Before the Conversion, the ADC Remains Powered Up.

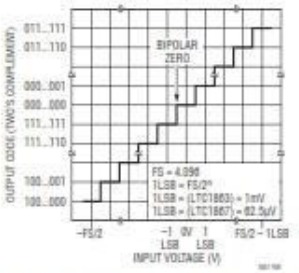


Figure 8. LTC1863/LTC1867 Bipolar Transfer Characteristics (Two's Complement)

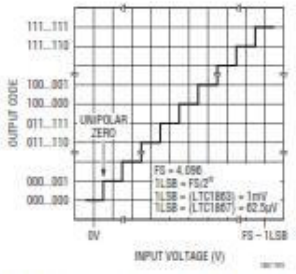
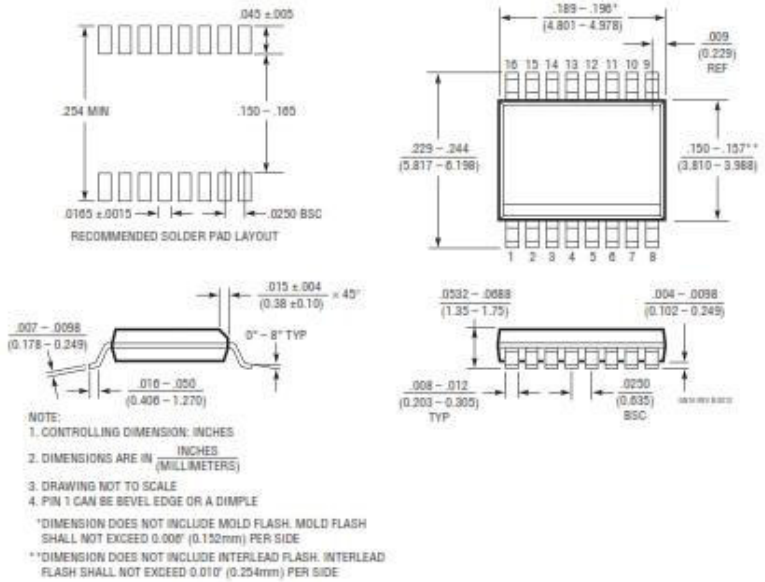


Figure 9. LTC1863/LTC1867 Unipolar Transfer Characteristics (Straight Binary)

PACKAGE DESCRIPTION

Please refer to http://www.linear.com/designtools/packaging/ for the most recent package drawings.

GN Package
16-Lead Plastic SSOP (Narrow .150 Inch)
(Reference LTC DWG # 05-08-1641 Rev B)



NOTE:
1. CONTROLLING DIMENSION: INCHES
2. DIMENSIONS ARE IN $\frac{\text{INCHES}}{(\text{MILLIMETERS})}$
3. DRAWING NOT TO SCALE
4. PIN 1 CAN BE BEVEL EDGE OR A DIMPLE

*DIMENSION DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH SHALL NOT EXCEED 0.006" (0.152mm) PER SIDE

**DIMENSION DOES NOT INCLUDE INTERLEAD FLASH. INTERLEAD FLASH SHALL NOT EXCEED 0.010" (0.254mm) PER SIDE

REVISION HISTORY (Revision history begins at Rev B)

REV	DATE	DESCRIPTION	PAGE NUMBER
B	6/14	Fixed the Order Information.	2

Information furnished by Linear Technology Corporation is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed for its use. Linear Technology Corporation makes no representation that the interconnection of its circuits as described herein will not infringe on existing patent rights.

RELATED PARTS

PART NUMBER	DESCRIPTION	COMMENTS
LTC1417	14-Bit, 400ksps Serial ADC	20mW, Unipolar or Bipolar, Internal Reference, SSOP-16 Package
LT1460	Micropower Precision Series Reference	Bandgap, 130µA Supply Current, 10ppm/°C, SOT-23 Package
LT1468/LT1469	Single/Dual 90MHz, 22V/µs, 16-Bit Accurate Op Amps	Low Input Offset: 75µV/125µV
LTC1609	16-Bit, 200ksps Serial ADC	65mW, Configurable Bipolar and Unipolar Input Ranges, 5V Supply
LT1790	Micropower Low Dropout Reference	60µA Supply Current, 10ppm/°C, SOT-23 Package
LTC1850/LTC1851	10-Bit/12-Bit, 8-Channel, 1.25Msps ADC	Parallel Output, Programmable MUX and Sequencer, 5V Supply
LTC1852/LTC1853	10-Bit/12-Bit, 8-Channel, 400ksps ADC	Parallel Output, Programmable MUX and Sequencer, 3V or 5V Supply
LTC1860/LTC1861	12-Bit, 1-/2-Channel 250ksps ADC in MSOP	850µA at 250ksps, 2µA at 1ksps, SO-8 and MSOP Packages
LTC1860L/LTC1861L	3V, 12-Bit, 1-/2-Channel 150ksps ADC	450µA at 150ksps, 10µA at 1ksps, SO-8 and MSOP Packages
LTC1864/LTC1865	16-Bit, 1-/2-Channel 250ksps ADC in MSOP	850µA at 250ksps, 2µA at 1ksps, SO-8 and MSOP Packages
LTC1864L/LTC1865L	3V, 16-Bit, 1-/2-Channel 150ksps ADC in MSOP	450µA at 150ksps, 10µA at 1ksps, SO-8 and MSOP Packages

© LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 2006