



Requerimientos para el Software MADCASE

(código: MADCASE-RS02-REQ)

Autor:

Mg. Luis Alberto Gómez Parada

Director:

Ing. Juan Manuel Cruz (FIUBA)

Docentes:

Alejandro Permingeat; Esteban Volentini; Mariano Finochietto y
Santiago Salamandri.

*Este documento fue realizado en el curso Ingeniería de Software
el 5 de noviembre de 2023, tercer bimestre.*

Índice

| | |
|---|-----------|
| Introducción | 5 |
| 1.1 Propósito | 5 |
| 1.2 Ámbito del sistema | 5 |
| 1.3 Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas | 5 |
| 1.4 Referencias | 6 |
| 1.5 Visión general del documento | 7 |
| Descripción general del documento | 7 |
| 2.1 Perspectiva del producto | 7 |
| 2.2 Funciones del producto | 8 |
| 2.3 Características de los usuarios | 9 |
| 2.4 Restricciones | 9 |
| 2.5 Suposiciones y dependencias | 10 |
| 2.6 Requisitos futuros | 10 |
| Requisitos específicos | 11 |
| 3.1 Interfaces externas | 11 |
| 3.2 Funciones | 11 |
| 3.3 Requisitos de rendimiento | 11 |
| 3.4 Restricciones de diseño | 12 |
| 3.5 Atributos del sistema | 12 |
| 3.6 Otros requisitos | 12 |
| Anexos | 13 |
| 4.1 Estándares administración de datos de calidad del aire | 13 |
| 4.2 Ejemplo archivo salida | 14 |
| 4.3 Especificaciones de un sensor de MP óptico de bajo costo | 15 |
| 4.4 Formatos de entrada/salida de datos, por pantalla o en listados | 15 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4.5 | Restricciones acerca del lenguaje de programación | 16 |
| 4.6 | Resultados de análisis de costos | 17 |

Registros de cambios

| Revisión | Detalles de los cambios realizados | Fecha |
|------------------|--|-------------------------|
| MADCASE-RS01-REQ | Creación del documento | 5 de noviembre de 2023 |
| MADCASE-RS02-REQ | Se responden las observaciones realizadas al documento | 22 de noviembre de 2023 |

1. Introducción

1.1. Propósito

El objetivo principal de este Documento de Especificación de Requisitos del Sistema (ERS) es definir los requisitos técnicos necesarios para el desarrollo del software de un dispositivo de medición de partículas finas (MP2,5) en atmósferas contaminadas. La solución propuesta busca mejorar la precisión y exactitud de los sensores ópticos de bajo costo actuales, implementando técnicas estadísticas de muestreo y algoritmos numéricos. El monitoreo de alta precisión y exactitud es de especial relevancia para autoridades ambientales nacionales y gobiernos locales, quienes constituyen los principales usuarios potenciales de este producto.

1.2. Ámbito del sistema

- Este software se denominará comercialmente como **MADCASE** (Micro Administración de Datos de Calidad del Aire en Sistemas Embebidos).
- **MADCASE** facilitará cálculos en tiempo real de las concentraciones de MP2,5, el monitoreo del estado de sensores, emitiendo alertas ante fallos y la transmisión de datos, la administración de formatos de la información y manejo de registros asociados a la medición o datos generados. No obstante, post-pruebas no se considera mantenimiento, actualizaciones, ni formación para usuarios. En conclusión, el software está diseñado para funcionalidad inmediata y fiabilidad, pero sin soporte continuo o expansión post-proyecto.
- El propósito es desarrollar una solución económica y confiable que pueda integrarse en sistemas de monitoreo de calidad del aire de bajo costo, equipados con sensores redundantes de MP2.5. Con ello, se busca mejorar significativamente la calidad y cantidad de la información registrada, lo cual se espera que tenga un impacto positivo en la salud pública de entornos urbanos.

Para más información sobre los estándares de manejo de datos de calidad del aire, se recomienda consultar el Anexo 4.1.

1.3. Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas

En esta subsección se definen todos los términos, acrónimos y abreviaturas utilizadas en la ERS.

| Abreviatura | Descripción |
|-------------|--|
| EPA | Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, ha desarrollado estándares de calidad del aire y metodologías para el monitoreo y reporte de contaminantes atmosféricos que son seguidos por varios países a nivel mundial. (https://www.epa.gov/amtic/air-monitoring-methods-criteria-pollutants) |
| IoT | Internet de las Cosas (IoT) conecta dispositivos cotidianos a Internet, permitiéndoles comunicarse y compartir datos, mejorando la eficiencia, la comodidad y el análisis de datos. |
| IP65 | Estándar que indica protección total contra polvo y resistencia a chorros de agua de baja presión, adecuado para equipos eléctricos que no requieren inmersión en agua. |
| ISO 8601 | Estándar internacional para la representación de fechas y horas, promoviendo la consistencia y claridad en la comunicación global, especialmente en el intercambio de datos electrónicos. |
| MADCASE | Micro Administración de Datos de Calidad del Aire en Sistemas Embebidos es un software para microprocesadores que permite la gestión de datos de calidad del aire, enfocado en la recopilación y análisis precisos de información ambiental |
| MP2,5 | Material Particulado Fino Respirable son micropartículas atmosféricas con un diámetro menor a 2.5 micrómetros de diámetro aerodinámico. Son peligrosas para la salud, ya que pueden penetrar en los pulmones y el torrente sanguíneo de las personas. |
| RTC | Real-Time Clock, es un reloj de computadora que mantiene un seguimiento preciso del tiempo actual, incluso cuando la energía principal está apagada, utilizando una batería independiente. |
| SI | El Sistema Internacional de Unidades, es un sistema de medida universal adoptado globalmente, basado en siete unidades básicas como el metro, kilogramo y segundo, para garantizar consistencia y claridad en mediciones. |
| SINCA | Red de Monitoreo de la calidad del aire en Chile, proporcionando datos en tiempo real sobre contaminantes atmosféricos y permite contar con datos para evaluar políticas ambientales en contaminantes como MP2,5 (https://sinca.mma.gob.cl/). |

1.4. Referencias

1. World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide executive summary*. Recuperado de <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034433>
2. United States Environmental Protection Agency. (2016). *Quality Assurance Guidance Document 2.12 - Monitoring PM_{2.5} in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods*. Recuperado de <https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-03/documents/p100oi8x.pdf>
3. European Commission. (2019). *Air quality standards*. Recuperado de <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
4. European Commission. (2018). *Data and reporting*. Recuperado de https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/data-and-reporting_en

5. International Organization for Standardization. (2019). *ISO 16000-37:2019 Indoor air — Part 37: Measurement of PM_{2,5} mass concentration*. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/66283.html>
6. United Nations Economic Commission for Europe. (1998). *Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-making and Access to Justice in Environmental Matters*. Recuperado de <https://unece.org/environment-policy/public-participation/aarhus-convention/text>
7. Ministerio Del Medio Ambiente, Gobierno de Chile (2011) Recuperado de *Decreto 12, Establece Norma Primaria De Calidad Ambiental Para Material Particulado Fino Respirable MP_{2,5}* <https://bcn.cl/2fegn>
8. Tongshu Zheng, Michael H. Bergin, Karoline K. Johnson, Sachchida N. Tripathi, Shilpa Shirodkar, Matthew S. Landis, Ronak Sutaria, and David E. Carlson. (2018). *Field evaluation of low-cost particulate matter sensors in high- and low-concentration environments* Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. <https://doi.org/10.5194/amt-11-4823-2018>

1.5. Visión general del documento

Este documento se realiza siguiendo el estándar IEEE Std. 830-1998

2. Descripción general del documento

2.1. Perspectiva del producto

La perspectiva del producto en el contexto de sistemas de monitoreo de calidad del aire se puede describir de la siguiente manera:

Interconexión con sistemas existentes: será diseñado para operar tanto de manera autónoma como en sinergia con otros sistemas y redes de monitoreo de calidad del aire. Se espera que la capacidad para almacenar y transmitir datos facilite la integración del instrumento con plataformas de análisis de datos más amplias, usadas por entidades gubernamentales y centros de investigación.

Complementariedad con tecnologías de alto costo: aunque utiliza sensores de bajo costo para medir MP_{2,5}, se espera que complemente tecnologías analíticas avanzadas. Su accesibilidad y análisis estadístico en tiempo real deben ofrecer una solución viable para zonas con limitaciones presupuestarias.

Parte de un sistema mayor de gestión ambiental: se concibe como un elemento esencial en redes de monitoreo para la gestión de la calidad del aire urbano. La información que provee será valiosa para reforzar políticas públicas, planes de descontaminación y estrategias de salud pública.

Independencia y modularidad: así bien cuenta con la capacidad de integrarse con otros sistemas, destaca por su independencia y modularidad, permitiendo su despliegue en diversas configuraciones (en red, equipo único, fuera de línea, etc.), adaptadas a las necesidades específicas de cada entorno urbano.

2.2. Funciones del producto

Este segmento de la Especificación de Requisitos del Software (ERS) proporciona un resumen esquemático de las funcionalidades clave del sistema propuesto. A continuación se detallan las principales funciones del sistema de monitoreo de calidad del aire:

Muestreo de contaminantes: el sistema estará equipado con tres sensores de MP2,5 que se encargan de medir y registrar las concentraciones de partículas finas en el aire.

Cálculo de concentración: el sistema será capaz de estimar la concentración de MP2,5 promedio y su precisión, mediante procesamiento numérico estadístico. Este proceso se llevara a cabo dentro del microprocesador.

Marca temporal de mediciones: a partir de la integración los datos suministrados por el RTC, el sistema incorporará a cada dato de contaminantes, una estampa de tiempo, lo que es crucial para el análisis temporal y comparación de la calidad del aire con otros monitores.

Almacenamiento de datos: cada medición capturada por los sensores, o calculada por el microprocesador, se almacenará de manera local en un sistema de almacenamiento de datos integrado. Esto busca disminuir el riesgo de perdida información relevante.

Transmisión de datos: el sistema incluye una funcionalidad de transmisión de datos que permite enviar las mediciones almacenadas a un servidor remoto para su posterior análisis y gestión. Esto facilita el monitoreo del equipo y la integración de los datos en redes de calidad de aire.

Gestión de Energía: El sistema es compatible con la red eléctrica y cuenta con una fuente de poder dedicada, asegurando su funcionamiento continuo y estable.

La figura 1 ilustra la forma en que los bloques de componentes del instrumento interactuarán entre sí. Se destaca la relación y flujo de información, sin profundizar en aspectos de diseño técnico.

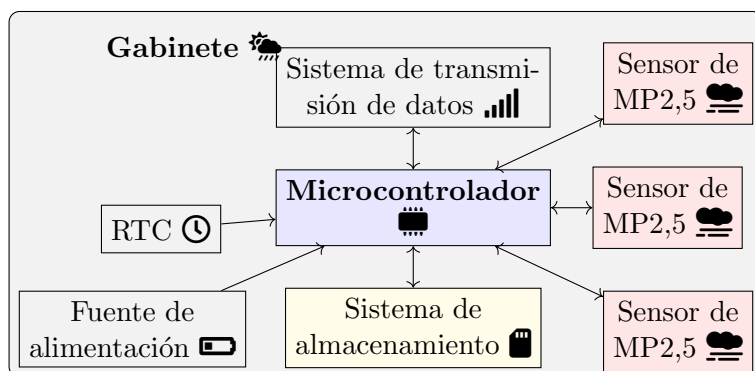


Figura 1. Esquema de bloques del instrumento.

Estos bloques forman la base operativa del sistema de monitoreo de calidad del aire, proporcionando un enfoque general para la detección y gestión de datos de MP2,5.

2.3. Características de los usuarios

Organizaciones de investigación: estos usuarios incluyen universidades, centros de investigación y consultores privados especializados en estudiar la problemática de contaminación atmosférica, identificar zonas contaminadas y establecer líneas base. Estas organizaciones analizan mecanismos de formación y emisión de MP2,5, evalúan impactos ambientales y sociales, y colaboran en soluciones y monitoreo de planes de descontaminación con gobiernos locales. Su menor restricción normativa las ha convertido en líderes en la aplicación de investigación sobre nuevas técnicas de monitoreo de MP2,5, como son con los sensores de bajo costo. En general son usuarios de alta formación y experiencia técnica.

Usuario institucional: corresponde a entidades gubernamentales, locales y nacionales, como municipios y agencias ambientales. Son las entidades responsables de asegurar un ambiente libre de contaminación, mediante el monitoreo de los niveles de MP2,5. Adicionalmente, analizan datos, proponen y ejecutan programas de descontaminación atmosférica y promulgan leyes para mantener el aire en niveles seguros para la población. A menudo instalan y mantienen redes de monitoreo de calidad del aire en áreas urbanas (por ejemplo SINCA) y se rigen normas internacionales de monitoreo. En particular, los ministerios de medioambiente cuentan con departamentos especializados en contaminación atmosférica en la que trabajan profesionales de alta experiencia técnica.

Usuario técnico: Este usuario es responsable de manejar los aspectos técnicos tanto del software como del hardware. A través de capacitación especializada, este usuario tiene la habilidad para configurar de manera adecuada el equipo, identificar y diagnosticar fallas comunes, y realizar el mantenimiento básico necesario para garantizar el óptimo funcionamiento del instrumental.

Usuario final: constituido principalmente por la población urbana, que está expuesta a episodios de contaminación atmosférica por MP2,5. Las altas concentraciones de este contaminante representa un riesgo significativo para la salud de grupos vulnerables, como niños, ancianos y personas enfermas, por lo que resulta vital su medición para conocer el grado de exposición. En regiones como el sur de Chile, donde la quema de leña es común, los usuarios finales son, a menudo, los principales responsables de las emisiones de MP2,5 a la atmósfera.

2.4. Restricciones

Políticas de la empresa: el sistema deberá entregar resultados de MP2,5 que serán de una precisión igual o superior a los sensores de bajo costo establecidos por el fabricante. Es decir, valores superiores en precisión a $\pm 20\%$, en un rango de concentración de MP2,5 de $100 - 500 \mu g/m^3$ y de $\pm 10 \mu g/m^3$ de MP2,5, en concentraciones entre $0 - 100 \mu g/m^3$. Estos valores se deben contrastar sobre la base de mediciones con instrumentales de referencia como el descrito en los estándares nacionales e internacionales como EPA *

Limitaciones del hardware: el sistema deberá soportar lluvia y temperaturas iguales o superiores a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e inferiores a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Interfaces con otras aplicaciones: el software deberá implementar capacidades de interconexión con sistemas externos de manera inalámbrica. Específicamente, mediante un módulo de conexión, por ejemplo Wi-Fi y la implementación de un cliente FTP (o

*<https://www.epa.gov/amtic/air-monitoring-methods-criteria-pollutants>

protocolo equivalente) que permita la comunicación a través de internet hacia un servidor externo. Esto permite enviar, a modo de respaldo, los datos generados por el sistema.

Operaciones paralelas: el software deberá gestionar los datos obtenidos de al menos 3 sensores MP2,5 que miden de manera simultánea.

Lenguaje(s) de programación: el sistema estará programado en algún lenguaje compatible con sistemas embebidos, por ejemplo, lenguaje C.

2.5. Suposiciones y dependencias

Aunque el fabricante proporciona información sobre la precisión y exactitud del instrumento (ver anexo 4.3), estudios como el realizado por Zheng et al., 2018, indican comportamientos no lineales en la concentración de MP2,5 con sensores de bajo costo. Estos patrones están especialmente vinculados a aumentos significativos en la humedad relativa del aire. Si se confirma esta conducta, a través de los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento, será necesario tomar medidas correctivas. Estas podrían incluir la restricción del rango operativo válido del sensor o la incorporación de un sensor de humedad ambiental en el instrumento, junto con la implementación de ecuaciones de corrección en el software, que ajusten las concentraciones en función de la humedad del aire.

2.6. Requisitos futuros

Integración con redes de calidad del aire: el sistema se deberá comunicar con otros instrumentos dentro de las redes de monitoreo de calidad de aire, como por ejemplo la red SINCA. Para ello, será esencial que el software permita configuraciones personalizables por parte del administrador del dispositivo. Estas configuraciones habilitarán, por ejemplo, cambios en los patrones de trama de datos, la incorporación de protocolos de comunicación adicionales, tales como APIs específicas o conexiones con servidores de bases de datos. Todo esto se realizará siguiendo los estándares de las redes de monitoreo mencionadas, como por ejemplo tipos de cabecera de archivo, número y tipo de columnas de datos, precisión de los resultados numéricos, entre otros aspectos (más detalle ver anexo 4.2).

Mejora de la interfaz de usuario y visualización de datos: el sistema se deberá comunicar con un servidor remoto que almacenará y desplegará las mediciones de MP2,5 efectuadas por el instrumento, para usuarios finales y propietarios. Así como también, albergará reportes con el estado de funcionamiento del instrumento, las que podrían generar alarmas de mantenimiento o fallo.

Actualizaciones y mantenimiento remoto: el sistema deberá contar con la capacidad de actualizar el software del sistema y efectuar mantenimientos del software de forma remota. Este aspecto resulta relevante para minimizar los tiempos de inactividad y asegurar que el sistema esté siempre actualizado, con las últimas correcciones de seguridad.

3. Requisitos específicos

3.1. Interfaces externas

[MADCASE-RS01-REQ01] El sistema debe indicar, mediante el parpadeo de led, un código visual de funcionamiento del equipo. Este led estará ubicado en el exterior del gabinete.

[MADCASE-RS01-REQ02] El sistema debe almacenar los datos en una memoria extraíble cada 10 minutos, 1 hora y 24 horas.

[MADCASE-RS01-REQ03] El sistema debe implementar uno o varios protocolos de comunicación, que permitan la transmisión de datos de concentración de MP2,5 entre el instrumento y hacia un servidor remoto.

[MADCASE-RS01-REQ04] El sistema debe generar alertas y notificaciones. Estas alertas serán almacenadas tanto en la memoria local como sobre un servidor externo. Algunas de estos estados de alarma serán indicados con el parpadeo del led en el instrumento. Estas alertas se dispararán por umbrales predefinidos de concentración de MP2,5 o problemas de funcionamiento de los sensores u otras partes del equipo. Por ejemplo concentraciones inferiores a $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ o superiores a $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP2,5.

3.2. Funciones

[MADCASE-RS02-REQ05] El software debe gestionar el funcionamiento y la lectura de al menos tres sensores de MP2,5. Considera el encendido y apagado de los sensores, los tiempos de lectura y el rescate de los datos medidos por cada sensor.

[MADCASE-RS02-REQ06] El sistema deberá proporcionar funcionalidades para el almacenamiento local de datos y permitirá consultar y vaciar la memoria cuando sea necesario.

[MADCASE-RS02-REQ07] El software debe procesar y almacenar los datos relevantes sobre una memoria, de manera automática y con una marca temporal. Esto quiere decir: cálculo de la concentración MP2,5 obtenido a partir de los parámetros de calibración de cada sensor; cálculo del promedio de los datos; estimación de la desviación estándar de la muestra, anomalías significativas, fecha y hora en que se tomó la muestra, entre otros aspectos.

3.3. Requisitos de rendimiento

[MADCASE-RS02-REQ09] El sistema debe tener la capacidad interoga y adquirir datos de al menos tres sensores de MP2,5. Estos sensores estarán midiendo de manera simultánea y redundante las concentraciones atmosféricas de este contaminante.

[MADCASE-RS02-REQ12] El software debe generar y almacenar promedios, desviaciones estándar, valores mínimos y máximos de MP2,5 de los sensores y en intervalos temporales de 10 minutos, 60 minutos y de 24 horas.

[MADCASE-RS02-REQ13] En sistema debe trabajar con variables de datos de MP2,5 con decimales, tanto en el almacenamiento, como durante las operaciones matemáticas.

- [MADCASE-RS02-REQ14] El sistema debe trabajar con un rango de operación mínima de concentración del MP2,5: 0 a 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y precisión de medición: $\pm 20\%$. Valores fuera del rango, el sistema los calificará como datos no validados.
- [MADCASE-RS02-REQ15] El sistema deberá transmitir de forma inalámbrica la información generada por el instrumento a un servidor remoto. Se requiere que esta conexión sea igual o superior a 10 metros de distancia.
- [MADCASE-RS02-REQ17] El sistema debe activar un modo de ahorro de energía en caso de desconexión del sistema eléctrico externo.
- [MADCASE-RS02-REQ20] El sistema debe requerir una calibración anual para asegurar su precisión y exactitud de los datos registrados. Tras cada calibración, el sistema deberá almacenar en memoria y aplicar los parámetros de calibración actualizada a cada dato obtenido en la medición de los sensores de MP2,5.

3.4. Restricciones de diseño

- [MADCASE-RS02-REQ21] El sistema debe crear, a partir del RTC, un registro temporal para cada dato, conformado por la fecha y hora de la medición. Se utilizará el formato de fecha y hora ISO 8601 (YYYY-MM-DD HH:MM:SS).
- [MADCASE-RS02-REQ22] Cada archivo de registro de concentración de MP2,5 contará con una cabecera descriptiva de los datos almacenados (metadatos), como las especificadas en el anexo 4.4.
- [MADCASE-RS02-REQ23] El software debe trabajar con unidades bajo el estándar del sistema internacional de unidades (SI). Tanto para la concentración de MP2,5, como para cualquier otra medición del parámetro ambiental. Es decir, las concentraciones de MP2,5 se registrarán como microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.5. Atributos del sistema

- [MADCASE-RS02-REQ24] El software debe administrar un registro de identificación único para cada sensor de MP2,5 y cada instrumento. Esto quiere decir que el sistema debe ser capaz de rescatar estos datos de un archivo de configuración y agregarlos a los archivos de datos generados por el sistema para una correcta trazabilidad de los datos.
- [MADCASE-RS02-REQ26] El sistema debe gestionar las fuentes de suministro eléctrico en caso de corte de energía eléctrica externa. Es decir, ante un fallo de la energía, el sistema cambiará su modo de funcionamiento a “modo ahorro” y por tiempo limitado, se alimentará por medio de batería recargable de 2000mAh.

3.6. Otros requisitos

- [MADCASE-RS02-REQ27] El gabinete del equipo debe contar con protección IP65.
- [MADCASE-RS02-REQ28] El instrumento debe contar con una fuente de energía compatible con la red doméstica de 220V.

4. Anexos

4.1. Estándares administración de datos de calidad del aire

Hasta la fecha no existe un único estándar internacional universalmente aceptado para el manejo y almacenamiento de datos de calidad del aire. Sin embargo, hay varias directrices y estándares desarrollados por diferentes organizaciones y agencias que son ampliamente reconocidos y utilizados a nivel internacional. Algunos de estos incluyen:

- **Organización Mundial de la Salud (OMS):** la OMS proporciona directrices sobre los niveles de calidad del aire que se consideran seguros para la salud humana. Estas directrices son referencias clave para muchos países al establecer sus propios estándares nacionales.
- **Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA):** la EPA ha desarrollado estándares de calidad del aire y metodologías para el monitoreo y reporte de contaminantes atmosféricos que son seguidos por varios países, especialmente en América del Norte.
- **Unión Europea (UE):** la UE tiene sus propias directivas para la calidad del aire, que establecen límites para varios contaminantes y requieren que los estados miembros monitoreen y reporten la calidad del aire.
- **Organización Internacional de Normalización (ISO):** la ISO tiene varias normas relacionadas con la calidad del aire, incluyendo aspectos de medición y análisis de contaminantes específicos.
- **Convenio de Aarhus sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública en la Toma de Decisiones y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales:** este tratado internacional, aunque no es específicamente sobre calidad del aire, establece principios importantes sobre el acceso a la información ambiental, lo que puede incluir datos sobre calidad del aire.

4.2. Ejemplo archivo salida

Figura 2 que muestra un archivo de ejemplo de salida de datos de la red SINCA.

```
#####
#
#
# MP 2,5 - registro diario
#
# Tipo degrafico: serie de tiempo
#
# Database time resolution: 1 Dias
#
# 231113 - 231120
#
# Serie tiempos seleccionada:
# Vialidad, PM25, RAT[M], Value
# Vialidad, PM25, VAL[M], Value
# Vialidad, PM25, LIN[M], Value
#
#Condicion corte:
#
#
# Dias semana: Todos
# Tipo dias: Todos
# Periodo del apo (mdd): 0101 - 1231
# Periodo diario (hh): 01 - 24
# Promedio movil: 1(1) centered
#
#
# Plot var. :
# 1. Registros validados (ug/m3) (Ty>=2018 OR (Ty>=2017 AND Tm>=5 AND Td>=1)?round(x1, 0):x1)
# 2. Registros preliminares (ug/m3) (!exist(x1)?(Ty>=2018 OR(Ty>=2017 AND Tm>=5 AND Td>=1)?round(x2, 0):x2):@)
# 3. Registros no validados (ug/m3) ((!exist(x1) AND !exist(x2))? (Ty>=2018 OR(Ty>=2017 AND Tm>=5 AND Td>=1)?round(x3, 0):x3):@)
#
#IGNORE: This is a way to ignore all data
XXX* 0 # Just to comply to the standard
EOH
#DATA
231113, 0000,      ,      8,      ,
231114, 0000,      ,     12,      ,
231115, 0000,      ,      7,      ,
231116, 0000,      ,     14,      ,
231117, 0000,      ,     10,      ,
231118, 0000,      ,     15,      ,
231119, 0000,      ,     10,      ,
EOF
#
# Registros validados (ug/m3)
#      m=--- s=-0 min=--- max=--- n=0
# Registros preliminares (ug/m3)
#      m=10.86 s=2.968 min=7 max=15 (at 231119) n=7
# Registros no validados (ug/m3)
#      m=--- s=-0 min=--- max=--- n=0
```

Figura 2. Archivo de datos generado por el sistema de administracion de datos SINCA para MP2,5 (fuente : <https://sinca.mma.gob.cl>)

4.3. Especificaciones de un sensor de MP óptico de bajo costo

Cuadro 1. Tabla de especificaciones técnicas de sensor de bajo costo

| Parameter | Index | Unit |
|--|--|-------------------------|
| Range of Measurement | 0,3 μm ; 1,0 μm ; 2,5 μm | Micrometer (μm) |
| Counting Efficiency | 50 % @ 0,3 μm ; 98 % @ $\geq 0,5\mu m$ | |
| Effective Range (PM2.5 standard) | 0 – 500 | $\mu g/m^3$ |
| Maximum Range (PM2.5 standard)* | ≥ 1000 | $\mu g/m^3$ |
| Resolution | 1 | $\mu g/m^3$ |
| Maximum Consistency Error (PM2.5 standard data)* | $\pm 10\%$ @ 100 – 500 $\mu g/m^3$; $\pm 10\mu g/m^3$ @ 0 – 100 $\mu g/m^3$ | |
| Standard Volume | 0.1 | Litre (L) |
| Single Response Time | < 1 | Second (s) |
| Total Response Time | ≤ 10 | Second (s) |
| DC Power Supply | Typ: 5.0; Min: 4.5; Max: 5.5 | Volt (V) |
| Active Current | ≤ 100 | Milliampere (mA) |
| Standby Current | ≤ 200 | Microampere (μA) |
| Interface Level | L < 0,8 @ 3,3; H > 2,7 @ 3,3 | Volt (V) |
| Working Temperature Range | -10 – +60 | °C |
| Working Humidity Range | 0 – 99 % | |
| Storage Temperature Range | -40 – +80 | °C |
| MTTF | ≥ 3 | Year (Y) |
| Physical Size | 50 × 38 × 21 | Millimeter (mm) |

4.4. Formatos de entrada/salida de datos, por pantalla o en listados

Cabecera de archivo datos de calidad del aire

- **Estación de monitoreo:** [nombre de la estación]
- **Ubicación:** [ciudad, país]
- **Latitud:** [latitud]
- **Longitud:** [longitud]
- **Altura:** [altura sobre el nivel del mar en metros]
- **Fecha de inicio de los registros:** [AAAA-MM-DD]
- **Fecha de fin de los registros:** [AAAA-MM-DD]
- **Instrumento de medición:** [modelo y marca del instrumento]
- **Calibración del instrumento:** [última fecha de calibración]
- **Intervalo de registro:** [intervalo de tiempo entre mediciones, por ejemplo, cada hora]
- **Responsable de los datos:** [nombre de la organización o individuo]

- **Contacto:** [información de contacto para consultas]
- **Descripción de los datos:** concentraciones de partículas MP2.5 (microgramos por metro cúbico)
- **Columnas de datos:** [nombre de cada columna]
- **Unidades de cada columna:** [año-mes-día hora:minuto:segundo, $\mu g/m^3$, código, texto]
- **Formato de cada columna:** [YYYY-MM-DD HH:MM:SS, 0.00]
- **Notas adicionales:** [cualquier otra información relevante]

Formato de los Datos:

Fecha y Hora, Concentración MP2.5, Código de Calidad de Datos, Observaciones
YYYY-MM-DD HH:MM:SS, $\mu g/m^3$, Código, Texto

| Fecha y Hora | Concentración MP2.5 ($\mu g/m^3$) | Código de Calidad | Observaciones |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------|---------------|
| 2023-11-13 08:00:00 | 12.5 | 1 | |
| 2023-11-13 09:00:00 | 15.2 | 1 | |

4.5. Restricciones acerca del lenguaje de programación

Dada su amplia adopción en sistemas embebidos, eficiencia y compatibilidad con múltiples arquitecturas, se selecciona C para programar el microcontrolador, asegurando rendimiento óptimo y mantenibilidad.

4.6. Resultados de análisis de costos

En el cuadro 2 se ofrece un desglose de los costos asociados a la presente tesis, todos presentados en dólares estadounidenses (USD). Los costos directos se dividen en categorías: mano de obra y honorarios (\$6.500 USD), materiales y suministros (\$888 USD), viajes y desplazamientos (\$480 USD), equipos y maquinaria (\$300 USD), y otros costos directos asociados a imprevistos (\$1.000 USD), sumando un subtotal de \$8,428 USD. Se incluyen también los costos indirectos, que comprenden arriendo y servicios públicos, con un subtotal de \$1.800 USD. El costo total estimado del proyecto es de \$10.228 USD.

Cuadro 2. Costos del proyecto de tesis.

| COSTOS DIRECTOS | | | |
|--|----------|--------------------------|-----------------------|
| Descripción | Cantidad | Valor unitario \$ USD | Valor total \$ USD |
| MANO DE OBRA, HONORARIOS | | | |
| Gestión del proyecto | 100 | 10 | 1.000 |
| Diseño general | 60 | 10 | 600 |
| Construcción del hardware | 120 | 10 | 1.200 |
| Diseño del firmware | 110 | 10 | 1.100 |
| Realización de pruebas | 120 | 10 | 1.200 |
| Ajustes finales | 40 | 10 | 400 |
| Generación escrito de memoria y manuales | 180 | 10 | 1800 |
| Entregas del trabajo final | 40 | 10 | 400 |
| MATERIALES Y SUMINISTROS | | | |
| Placas de desarrollo | 4 | 50 | 200 |
| Reloj de tiempo real | 4 | 2 | 8 |
| Placa comunicación | 4 | 10 | 40 |
| Memora flash | 4 | 5 | 20 |
| Fuente de poder | 4 | 5 | 20 |
| Gabinete | 4 | 10 | 40 |
| Batería | 4 | 10 | 40 |
| Sensor MP2.5 | 16 | 30 | 480 |
| Modem comunicación | 1 | 100 | 100 |
| VIAJES Y DESPLAZAMIENTOS | | | |
| Transporte terreno y reuniones | 2 | 100 | 200 |
| Alojamiento terreno | 4 | 50 | 200 |
| Alimentación | 8 | 10 | 80 |
| EQUIPOS Y MAQUINARIA | | | |
| Uso y compra de equipamiento | 3 | 100 | 300 |
| OTROS COSTOS DIRECTOS | | | |
| Imprevistos (~10 % del total del proyecto) | 1 | 1.000 | 1.000 |
| SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS | | | 8.428 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | |
| Descripción | Cantidad | Valor unitario \$ USD | Valor total \$ USD |
| Arriendo parcial espacio | 8 | 100 | 800 |
| Luz, agua, comunicación y calefacción | 10 | 100 | 1.000 |
| SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS | | | 1.800 |
| TOTAL | | | 10.228 |