



# Requerimientos para el Software MADCASE

(código: MADCASE-RS01-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

<b>Introducción</b>	<b>4</b>
1.1 Propósito	4
1.2 Ámbito del sistema	4
1.3 Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas	5
1.4 Referencias	5
1.5 Visión general del documento	6
<b>Descripción general del documento</b>	<b>6</b>
2.1 Perspectiva del producto	6
2.2 Funciones del producto	7
2.3 Características de los usuarios	8
2.4 Restricciones	8
2.5 Suposiciones y dependencias	8
2.6 Requisitos futuros	9
<b>Requisitos específicos</b>	<b>9</b>
3.1 Interfaces externas	9
3.2 Funciones	10
3.3 Requisitos de rendimiento	10
3.4 Restricciones de diseño	11
3.5 Atributos del sistema	11
3.6 Otros requisitos	11
<b>Apéndices</b>	<b>12</b>

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	5 de noviembre de 2023

## 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.
- 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.

### 1.3. Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas

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

Abreviatura	Descripción
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.

### 1.4. Referencias

1. World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), 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<sub>2.5</sub> 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](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<sub>2,5</sub> 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<sub>2,5</sub>* <https://bcn.cl/2fegn>

## 1.5. Visión general del documento

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

## 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<sub>2,5</sub>, 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.

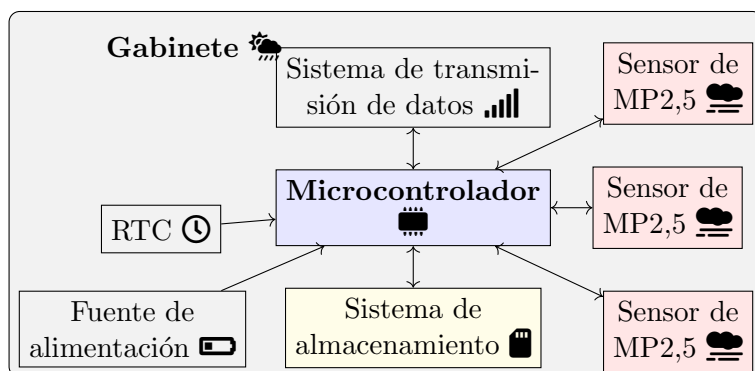


Figura 1. Esquema de bloques del instrumento.

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

**Cliente:** doctora en Química Ambiental especializada en monitoreo de calidad del aire. Actualmente lidera proyectos de relevancia nacional en Chile, como Fodequip Mayor y Fodecyt, enfocados en la implementación y evaluación de sensores de bajo costo para el monitoreo ambiental. Se espera su aporte en cuanto a definir características y requerimientos necesarios para un instrumental orientado a estimar las concentraciones de MP2,5.

**Orientador:** ingeniero electrónico con amplia experiencia tanto en el ámbito profesional como en la docencia. Su contribución será fundamental en el diseño de la placa electrónica que soportará el instrumental y en la optimización de la programación del microcontrolador.

**Usuario final:** el usuario final está constituido principalmente por la población urbana expuesta a episodios de contaminación atmosférica relacionados con MP2,5. Estos episodios son especialmente prevalentes durante ciertos días de invierno y pueden representar un riesgo significativo para la salud de grupos vulnerables, como niños, ancianos y personas con enfermedades preexistentes.

### 2.4. Restricciones

**Políticas de la empresa:** los resultados requerirán una precisión igual o superior a los sensores de bajo costo.

**Limitaciones del hardware:** el sistema deberá soportar lluvia y temperatura bajo 0 °C.

**Interfaces con otras aplicaciones:** debe ser capaz de comunicarse con un servidor remoto.

**Operaciones paralelas:** deberá gestionar los datos de al menos 3 sensores de MP2,5 simultáneamente.

**Funciones de auditoría:** deberá chequear el estado de los sensores, identificando si están encendidos o apagados, y detectar si el funcionamiento de alguno de los sensores, entrega valores fuera de rango o anómalos.

**Funciones de control:** debe verificar la desviación del RTC con el tiempo real (GMT).

**Lenguaje(s) de programación:** debe programarse en algún lenguaje compatible con sistemas embebidos, por ejemplo, C.

**Protocolos de comunicación:** debe contar con algún protocolo de comunicación estandar con el servidor remoto.

**Requisitos de habilidad:** debe ser capaz de trabajar con datos decimales.

**Criticalidad de la aplicación:** debe ser capaz de gestionar los datos en caso de corte de luz.

### 2.5. Suposiciones y dependencias

En el marco de la especificación de requisitos del sistema, se asume que la implementación de tres sensores ópticos para la medición de partículas finas (MP2,5) proporcionará un conjunto de datos replicados que permitirán realizar análisis estadísticos precisos en tiempo real. Se presupone que



esta configuración aumentará el volumen de muestreo, lo que se traduce en una mejora en la precisión y exactitud de las mediciones, así como en la reducción del error estándar. Además, se considera que la presencia de múltiples sensores ofrecerá una mayor robustez al sistema, permitiendo una detección anticipada de fallos y una respuesta efectiva a posibles anomalías.

Cabe destacar que estos supuestos se basan en la continuidad de ciertas condiciones técnicas y operativas. Cambios significativos en el entorno tecnológico, como la introducción de nuevas tecnologías de sensores ópticos, o alteraciones en la configuración de la red de monitoreo, podrían requerir una revisión de los requisitos. Los cambios en las especificaciones técnicas tanto de los sensores como las normas de medición afectarían los supuestos, lo que podría conllevar una necesaria reevaluación y adaptación de los requisitos establecidos.

## 2.6. Requisitos futuros

**Integración con IoT:** la capacidad para integrar los sensores con una red de Internet de las Cosas (IoT) es fundamental para la automatización y una monitorización más extensa. La infraestructura para IoT está cada vez más accesible y puede implementarse con relativa facilidad.

**Mejora de la interfaz de usuario y visualización de datos:** desarrollar una interfaz más intuitiva y sistemas de visualización avanzados, es esencial para que los usuarios finales puedan analizar e interpretar los datos eficientemente. Estas mejoras son principalmente del lado del software, lo que puede facilitar su implementación.

**Actualizaciones y mantenimiento remoto:** la capacidad de actualizar el software del sistema y realizar mantenimientos de forma remota es crucial para minimizar los tiempos de inactividad y asegurar que el sistema esté siempre actualizado con las últimas mejoras y correcciones de seguridad. Implementar esta capacidad puede aportar beneficios significativos a largo plazo.

## Requisitos específicos

### 3.1. Interfaces externas

[MADCASE-RS01-REQ01] Se implementará un código visual de funcionamiento del equipo, mediante el parpadeo de led, ubicado en el exterior del gabinete. Esto permitirá que el usuario que se encuentre manipulado físicamente el dispositivo pueda saber, a grandes rasgos, el estado de funcionamiento del instrumento.

[MADCASE-RS01-REQ02] Los datos serán almacenados sobre una memoria remobile que permita el acceso a los datos históricos del instrumento por operadores.

[MADCASE-RS01-REQ03] Se implementará un protocolo de comunicación flexible para la transmisión de datos de concentración de MP2,5 entre el nodo sensor y el servidor remoto.

[MADCASE-RS01-REQ04] Se enviará de manera remota alertas y notificaciones a un servidor externo. Estas alertas se dispararán por umbrales predefinidos de concentración de MP2,5 o problemas de funcionamiento de los sensores u otras partes del equipo.

### 3.2. Funciones

- [MADCASE-RS01-REQ05] El software gestionará 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-RS01-REQ06] El sistema proporcionará funcionalidades para el almacenamiento local de datos y permitirá consultar y vaciar la memoria cuando sea necesario.
- [MADCASE-RS01-REQ07] Procesarán y almacenará los datos relevantes sobre la memoria y de manera automática. Se calcularán parámetros estadísticos importantes como el promedio de los datos, su desviación estándar, anomalías significativas, entre otros aspectos.
- [MADCASE-RS01-REQ08] Incluirá una estampa temporal proporcionada por el RTC a cada dato almacenado.

### 3.3. Requisitos de rendimiento

- [MADCASE-RS01-REQ09] El instrumento estará equipado con al menos tres sensores de MP2,5, los cuales realizarán mediciones de manera simultánea. Esta simultaneidad se define como una diferencia temporal entre las mediciones de los sensores que no excederá un minuto.
- [MADCASE-RS01-REQ10] El sistema creará una tabla de registros que documentará el estado operativo, así como las calibraciones y ajustes realizados en el instrumento.
- [MADCASE-RS01-REQ11] Cada archivo de registro de concentración de MP2,5 contará con una cabecera descriptiva de los datos almacenados (metadatos), como las especificadas en el apéndice 1 del presente documento.
- [MADCASE-RS01-REQ12] El microprocesador generará y almacenará promedios temporales de MP2,5 de las mediciones en intervalos de 60 minutos y de 24 horas.
- [MADCASE-RS01-REQ13] Administrará las variables de datos de MP2,5 con decimales, tanto en el almacenamiento, como durante las operaciones matemáticas.
- [MADCASE-RS01-REQ14] Rango de operación mínima de concentración del MP2,5: 0 a  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y precisión de medición:  $\pm 10\%$ .
- [MADCASE-RS01-REQ15] Implementará protocolos de comunicación que permitan una conexión inalámbrica de a lo menos 10 metros de distancia.
- [MADCASE-RS01-REQ16] Generará alarmas y notificaciones de funcionamiento y fallas.
- [MADCASE-RS01-REQ17] Se activará un modo de ahorro de energía en caso de desconexión del sistema eléctrico externo.
- [MADCASE-RS01-REQ18] El registro temporal estará 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-RS01-REQ19] Las unidades empleadas para la concentración de MP2,5, o cualquier otra medición del parámetro ambiental, seguirá los estándares del sistema internacional de unidades (SI). Es decir, las concentraciones de MP2,5 se registrarán como microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

[MADCASE-RS01-REQ20] De acuerdo al comportamiento observado en los sensores se propondrá un periodo de calibración mínimo para cada sensor, que asegure un funcionamiento de acuerdo a los estándares que se establezca.

### 3.4. Restricciones de diseño

[MADCASE-RS01-REQ21] El gabinete del equipo debe contar con protección IP65.

[MADCASE-RS01-REQ22] El instrumento contará con una fuente de energía compatible con la red doméstica de 220V.

### 3.5. Atributos del sistema

[MADCASE-RS01-REQ23] Cada instrumento contará con un registro único identificador.

[MADCASE-RS01-REQ24] Cada sensor de MP2,5 contará con un registro único identificador.

[MADCASE-RS01-REQ25] Identificará de manera única cada instrumento en el software para asociar correctamente los datos recolectados.

### 3.6. Otros requisitos

[MADCASE-RS01-REQ26] A modo de seguridad, el instrumento podrá funcionar en un modo de ahorro y por tiempo reducido, mediante una batería recargable de al menos 2000mAh.

## Apéndices

Puede contener todo tipo de información relevante para la ERS pero que, propiamente, no forme parte de la ERS. Por ejemplo:

1. 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,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Código, Texto

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

2. Resultados de análisis de costes.

En el cuadro 1 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 1. Costos del proyecto de tesis.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario \$ USD	Valor total \$ USD
<b>MANO DE OBRA, HONORARIOS</b>			
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
<b>MATERIALES Y SUMINISTROS</b>			
Placas de desarrollo	4	50	200
Reloj de tiempo real	4	2	8
Placa comunicación	4	10	40
Memoria 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
<b>VIAJES Y DESPLAZAMIENTOS</b>			
Transporte terreno y reuniones	2	100	200
Alojamiento terreno	4	50	200
Alimentación	8	10	80
<b>EQUIPOS Y MAQUINARIA</b>			
Uso y compra de equipamiento	3	100	300
<b>OTROS COSTOS DIRECTOS</b>			
Imprevistos (~10 % del total del proyecto)	1	1.000	1.000
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS			8.428
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>			
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

3. 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.

Dado la masibidad y la