

# **PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS**

**SUMINISTRO DE 4 PLATAFORMAS PORTÁTILES PARA  
MEDIDAS DE CALIDAD DE AIRE INTERIOR Y VELOCIDAD  
DE AIRE**



## CONTROL DOCUMENTAL:

<b>Autor del proyecto:</b>	Rodrigo Herrero Paredes	
<b>Director del Proyecto:</b>	Fernando Morales Aguirre	
<b>Director Técnico:</b>	Dionisio Izquierdo Bravo	
<b>Edición</b>	<b>Fecha</b>	<b>Nº Actividad</b>
	Noviembre 2023	IO_23-016V

## ÍNDICE

1. OBJETO .....	2
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN .....	2
3. ALCANCE .....	8
4. DOCUMENTACIÓN A APORTAR POR EL ADJUDICATARIO .....	11
5. PLAZO DE EJECUCIÓN DEL CONTRATO .....	11
6. GARANTÍA.....	12

## 1. OBJETO

El objetivo del presente Pliego de Prescripciones Técnicas es definir el alcance del suministro de 4 plataformas portátiles para monitorizar y registrar parámetros de calidad de aire interior (IAQ) en estaciones, túneles y dependencias de Metro de Madrid, y del servicio de acceso seguro y privado a plataforma web remota que aloje los registros de los dispositivos, permitiendo su análisis, volcado masivo o selectivo, y generación de informes, así como las labores de formación en el empleo de los dispositivos y la plataforma de información, y el mantenimiento (limpieza, calibración y/o reemplazo) de los dispositivos o sus componentes (sensores incluidos) durante la vigencia del Contrato.

## 2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Debido al incremento de requisitos en materia de control de la calidad del aire en espacios interiores derivado de la Crisis Sanitaria COVID 19, y a la problemática derivada de la reducción de los niveles máximos de emisión admisibles durante la operación de vehículos de tracción Diesel, recogida en el Real Decreto 427/2021, de 15 de junio, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo, Metro de Madrid ha impulsado, desde diferentes estamentos, iniciativas para cuantificar la calidad de aire interior y definir las posibles acciones requeridas para su control.

Entre ellas, el Área de Ingeniería de Instalaciones ha gestionado desde 2021 Pruebas de Concepto (PoC) con el fin de explorar las diferentes alternativas existentes en el mercado para la evaluación y medida de la calidad de aire interior mediante dispositivos instalados en diferentes emplazamientos de estaciones, con el objetivo de:

- cuantificar la calidad de aire interior, a partir de la medida continua de los diferentes agentes contaminantes que pueden encontrarse en el ecosistema de Metro de Madrid: parámetros termohigrométricos, partículas en suspensión (PM's) de diferente granulometría ( de 1 a 10 micras), compuestos orgánicos volátiles (COV'S), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y los compuestos habituales en la emisión Diésel.
- analizar la correlación entre la evolución temporal de los diferentes agentes muestreados y diferentes procesos del servicio (afluencia de viajeros, frecuencias de trenes, circulación de vehículos Diésel durante periodo fuera de explotación, funcionamiento de la ventilación, condiciones ambientales exteriores, y niveles exteriores de contaminación).
- analizar la causalidad inherente a la localización de los equipos de medida y los niveles registrados en estaciones de diferente tipología, con el fin de poder determinar la dimensión mínima del muestreo necesario para disponer un posterior sistema de medición y control global, identificando posibles agrupaciones de tipologías basadas en

parámetros geométricos de las estaciones, su situación en la red, niveles de afluencia de viajeros, tipología de ventilación, etc.).

Dichas pruebas de concepto han dado lugar a la adquisición de un total de 10 equipos de medida que han quedado integrados en 5 estaciones de la red.

LOCALIZACIÓN	EMPLAZAMIENTO	AÑO INSTALACIÓN	PARÁMETROS
Gran Vía	Andenes Línea 1	2021	CO2
Estadio Metropolitano	Andenes		CO PM (1,2.5,4,10)
Avenida de América	Vestíbulo intercambiador		Compuestos Orgánicos Volátiles Totales (TVOC)
	Andenes Línea 6		Temperatura Humedad Relativa Presión
Plaza Castilla	Vestíbulo Principal	2022	CO2
	Andenes Línea 1		Compuestos Orgánicos Volátiles Totales (TVOC)
	Andenes Línea 10		Formaldehído
Nuevos Ministerios	Vestíbulo At. Cliente		PM (1,2.5,4,10)
	Andenes Línea 6		Temperatura
	Andenes Línea 10		Humedad Relativa Presión

*Tabla 1. Listado de equipos de medida de calidad de aire instalados en la Red de Metro de Madrid desde 2021.*

Los dispositivos, de dimensiones reducidas, registran de forma semicontinua (actualización por excepción) los siguientes parámetros (varía en función del fabricante): CO2, CO, PM (1,2.5 y 10), Formaldehído, VOC's, además de Temperatura Humedad Relativa y Presión barométrica.

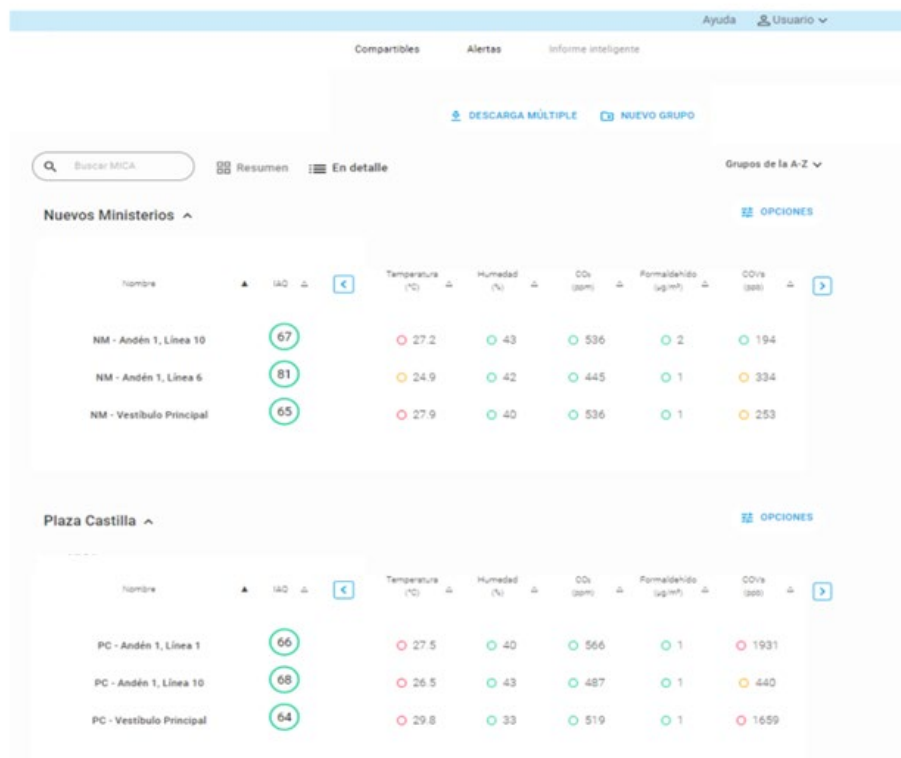
Adicionalmente, presentan indicadores de calidad de aire agregados, definidos a partir de las anteriores variables: Calidad de Aire, probabilidad de presencia de Virus y validación de los procesos de renovación de aire.

Los registros quedan almacenados en un cloud privado (propietario de cada fabricante de los dispositivos) y pueden ser consultados mediante un interfaz seguro. El acceso al mismo es gestionado por el Área de Ingeniería Instalaciones.

En la siguiente figura se muestra uno de los equipos en su emplazamiento actual:



*Figura 1: Ubicación de los dispositivos en andén de Nuevos Ministerios L10.*



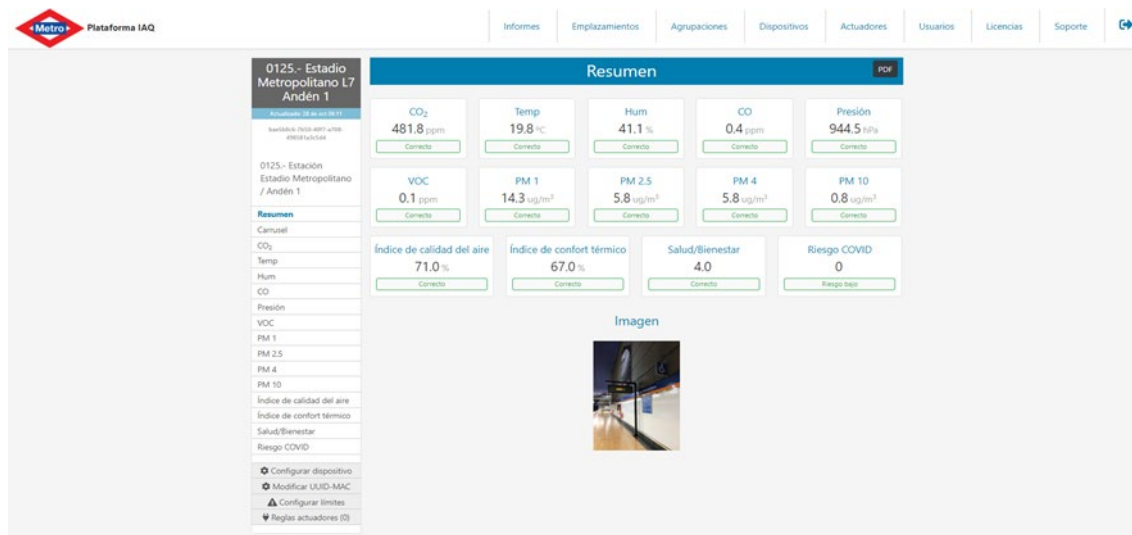
The screenshot shows a web interface for monitoring air quality. It features a search bar, navigation tabs (Resumen, En detalle), and a table of data for two locations: 'Nuevos Ministerios' and 'Plaza Castilla'. The table columns include Name, IAQ, Temperature (°C), Humidity (%), CO2 (ppm), Formaldehyde (µg/m³), and COV (ppb). Data points are color-coded: green for good, yellow for fair, and red for poor.

Nombre	IAQ	Temperatura (°C)	Humedad (%)	CO2 (ppm)	Formaldehído (µg/m³)	COV (ppb)
NM - Andén 1, Línea 10	67	27.2	43	536	2	194
NM - Andén 1, Línea 6	81	24.9	42	445	1	334
NM - Vestíbulo Principal	65	27.9	40	536	1	253

Nombre	IAQ	Temperatura (°C)	Humedad (%)	CO2 (ppm)	Formaldehído (µg/m³)	COV (ppb)
PC - Andén 1, Línea 1	66	27.5	40	566	1	1931
PC - Andén 1, Línea 10	68	26.5	43	487	1	440
PC - Vestíbulo Principal	64	29.8	33	519	1	1659

Figura 2. Aspecto general del Interfaz en la plataforma Cloud.



The screenshot shows a detailed summary of air quality data for the '0125 - Estación Metropolitana L7 Andén 1'. The interface includes a sidebar with navigation options and a main area with a 'Resumen' (Summary) section. The summary section displays various air quality metrics with their current values and status (Correcto/Incorrecto).

Metric	Value	Status
CO2	481.8 ppm	Correcto
Temp	19.8 °C	Correcto
Hum	41.1 %	Correcto
CO	0.4 ppm	Correcto
Presión	944.5 hPa	Correcto
VOC	0.1 ppm	Correcto
PM 1	14.3 µg/m³	Correcto
PM 2.5	5.8 µg/m³	Correcto
PM 4	5.8 µg/m³	Correcto
PM 10	0.8 µg/m³	Correcto
Índice de calidad del aire	71.0 %	Correcto
Índice de confort térmico	67.0 %	Correcto
Salud/Bienestar	4.0	Correcto
Riesgo COVID	0	Riesgo bajo

Figura 3. Aspecto general del Interfaz en la plataforma Cloud.

A partir de las mediciones en continuo registradas, por los dispositivos instalados en las estaciones, y de la historificación de algunos predictores que, de forma preliminar se han considerado relevantes para describir la actividad en el espacio interior (frecuencia de trenes, afluencia de viajeros, funcionamiento de la ventilación, condiciones ambientales exteriores), se

han efectuado análisis cuantitativos de la correlación e influencia de estos predictores en la evolución de los parámetros ambientales registrados.

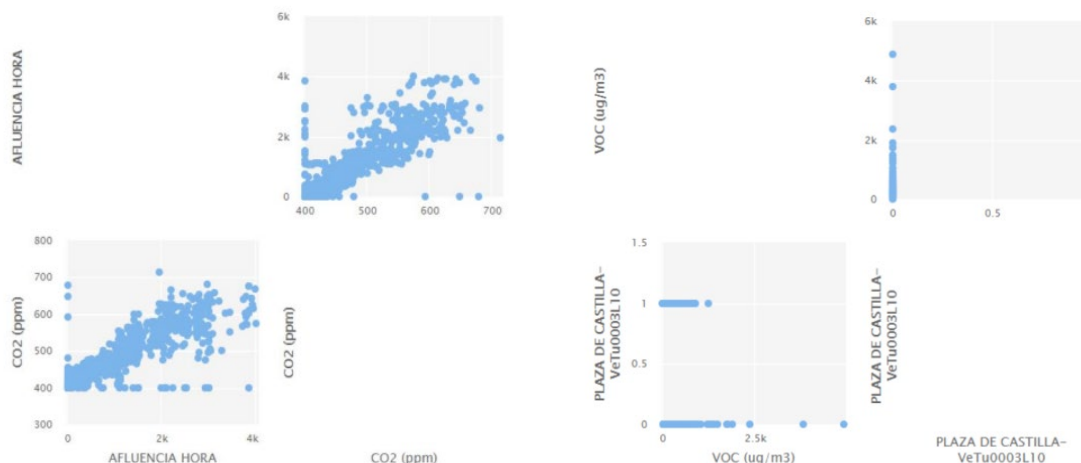


Figura 4. Evolución temporal del registro de concentración de CO<sub>2</sub> y afluencia de viajeros en Plaza Castilla 1 (izquierda) y TVOC frente a operativa de ventilación de túnel (derecha).

Pero esto requiere efectuar estudios de elevada complejidad que requieren disponer de históricos y profundidad de serie suficientemente amplios, y a su vez, y con la finalidad de aislar ciertos factores inherentes a fenómenos locales, como la geometría y dimensiones de estaciones y túneles, la eficiencia de ventilación, o la afluencia de viajeros, se precisa disponer de equipos de medida transportables, que puedan ser instalados en diferentes emplazamientos de forma temporal, con capacidad para efectuar de forma autónoma registros durante un periodo prolongado de tiempo.

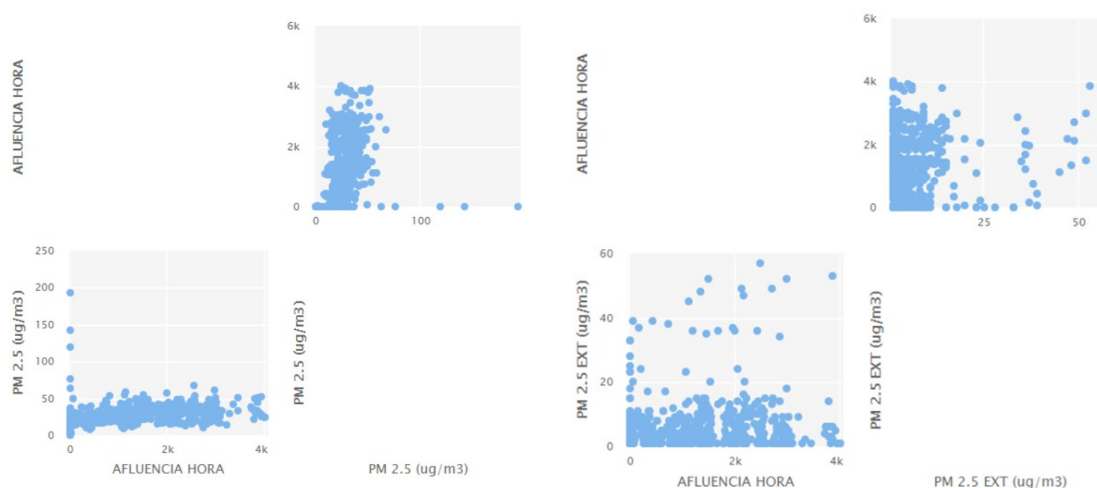
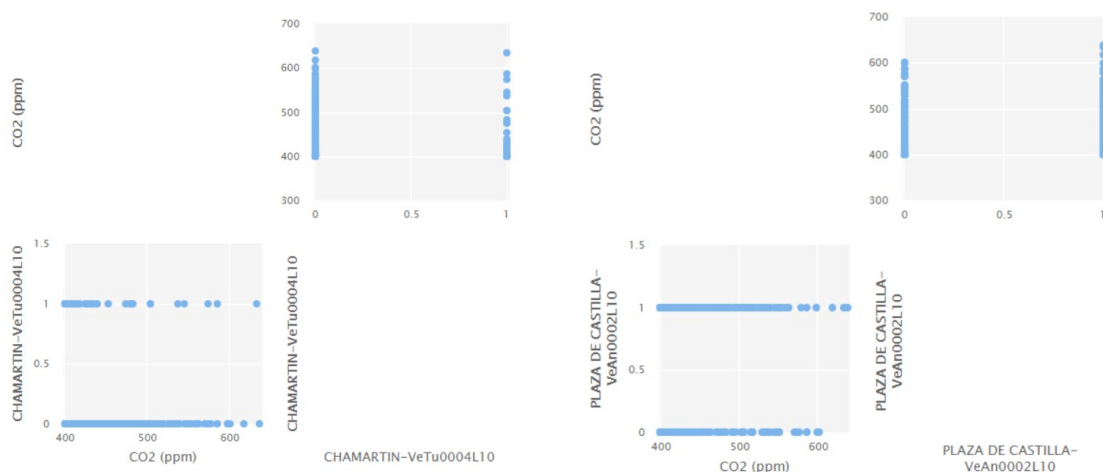


Figura 5. Variabilidad de la evolución temporal de la concentración de partículas (PM 2,5) en función del emplazamiento (izquierda vestíbulo, derecha andenes L10 Plaza Castilla), correlacionado con la afluencia.

A su vez, y con el fin de acreditar de forma explícita el impacto real de la operativa de ventilación en el emplazamiento de los equipos, se precisa que estos dispongan de medida de velocidad de aire, con el fin de reducir la incertidumbre asociada a la efectividad real de la operativa de los sistemas de ventilación forzada, o incluso para tener una medida de la eficiencia de otros modos de ventilación inducida (gradiente de densidad, efecto pistón). Sería preciso disponer de una medida cuantitativa de la velocidad de aire en la dirección principal del emplazamiento, de forma que el sensor que se disponga deberá permitir su orientación en campo.



*Figura 6. Variabilidad de la evolución temporal del registro de concentración de CO<sub>2</sub> frente al funcionamiento de diferentes ventiladores en andenes Plaza Castilla 10.*

El desarrollo posterior de modelos matemáticos y heurísticos basados en los datos recolectados en numerosos emplazamientos y situaciones de explotación, permitiría profundizar en el conocimiento sobre la dinámica real de los procesos de difusión que regulan la concentración y movimiento de contaminantes en el ambiente interior, lo cual es indispensable para el posterior establecimiento de sistemas de control y regulación de la ventilación o la programación de limpiezas periódicas que contribuyan a mantener unos niveles de Calidad de Aire interior acordes a los requisitos establecidos de manera uniforme, mediante el despliegue de dispositivos fijos en el menor número posible de emplazamientos que permitan caracterizar la totalidad de la Red de una manera fiable.

Adicionalmente, en determinados tramos de la red se registran problemas relacionados con la presencia de partículas en suspensión de origen en ocasiones indeterminado, o bien con la sospecha de elevadas concentraciones de gases asociados a la operación de vehículos auxiliares en periodo fuera de explotación, que motivan la necesidad de acometer campañas específicas de medición que permitan caracterizar la emisión y su concentración espacio-temporal, referida respecto a los requisitos inherentes a los criterios de salubridad en espacios interiores o lugares de trabajo, y evaluar en consecuencia diferentes estrategias de reducción, fundamentalmente mediante labores de limpieza y programas específicos de ventilación.



A tal fin, se precisa adquirir equipos de medida portátiles para la caracterización ambiental y de velocidad de aire de diferentes emplazamientos mediante campañas de registro temporales específicas, y que a su vez permitan evaluar la bondad de las posibles acciones correctoras que sean requeridas en caso de que los niveles de calidad de aire registrados sean desfavorables.

Para permitir el registro temporal en emplazamientos remotos, tales como túneles o pozos de ventilación, es requerido que los equipos sean autónomos y dispongan de una batería con capacidad suficientes para el registros continuo durante al menos 96 horas consecutivas. A su vez, deben permitir la comunicación inalámbrica continua de registros a los servidores remotos de almacenamiento y visualización mediante transmisión de datos GSM (4G).

Para facilitar la instalación y el transporte, es requisito que los equipos de medida (calidad de aire y velocidad) estén localizados sobre en una plataforma o bastidor que soporte adicionalmente las fuentes de alimentación, equipamiento de comunicaciones y sistemas de fijación a paramentos, disponiendo el conjunto de un peso muy reducido, tal que permita su transporte manual e instalación por una persona.

Finalmente, con el fin de permitir evaluar de forma rigurosa la influencia de algunos factores exógenos como la operativa de ventilación, o la localización relativa respecto a algún foco emisor, es preciso disponer de al menos 4 equipos de medida para poder efectuar estudios simultáneos que permitan profundizar en el conocimiento de los complejos procesos de difusión que gobiernan el movimiento y concentración de partículas en suspensión en ambientes interiores.

Disponiendo de cuatro equipos, se podría efectuar de forma simultánea la medición en vestíbulo, andenes, y ventosas de ventilación asociadas al entorno de una estación.

### 3. ALCANCE

Dentro del alcance queda incluido la adquisición de las plataformas, el acceso a los registros e interfaz privado de visualización y descarga de datos en servidor remoto (cloud) y los servicios y suministros específicos asociados al mantenimiento, calibración o reemplazamiento de los sensores que equipan los dispositivos de medida durante el plazo de ejecución del Contrato.

Así, el Alcance incluye:

- Adquisición de 4 plataformas portátiles y transportables para la medida de calidad de aire y velocidad en la dirección principal del flujo, incluyendo cada unidad:
  - Bastidor resistente y ligero que albergue los dispositivos de medida, alimentación, baterías y comunicaciones, de dimensiones máximas 500 x 500 x 300 mm y peso total, incluyendo todos los dispositivos que albergue, inferior en

todo caso a 15 kg (criterio excluyente). El bastidor dispondrá del mayor número posible de sistemas de sujeción a paramentos verticales, mediante apoyo, amordazamiento, suspensión o fijación atornillada. Adicionalmente, deberá albergar un sistema para la localización y fijación del equipo de medida de velocidad de aire, y un asa para facilitar su transporte.

- Equipo de medida de calidad de aire, albergado en envoltorio IP46, instalado sobre bastidor resistente, basado en un sistema de adquisición de muestras de aire continuo, albergando sensores que permitan el muestreo de los siguientes parámetros:
  - Temperatura ( -20°C a 50 °C)
  - Humedad HR (0% a 99%)
  - Partículas en cuatro canales de tamaños (1 µ, 2.5 µ, 4 µ.10 µ) µg/m<sup>3</sup>
  - Dióxido de carbono CO<sub>2</sub> (ppm)

Y adicionalmente:

- Compuestos Orgánico Volátiles Totales TVOC (ppm)
- Monóxido de Carbono CO (ppm)
- Dióxido de Nitrógeno NO<sub>2</sub> (ppm)
- Óxido de nitrógeno NO (ppm)

Los sensores habrán sido previamente calibrados, incluyendo certificado emitido por el fabricante y el proveedor del equipo, y deberán satisfacer cada uno de ellos (declaración firmada) los requisitos especificados para CLASE I en la norma UNE 17660-1:2022 (DIN CEN/TS 17660-1:2022-04), en el rango de concentraciones apropiado para el muestreo de calidad de aire.

Debido a la necesidad de movilidad de las plataformas, el periodo de estabilización de la medida de cada sensor máximo requerido tras la reubicación en un nuevo emplazamiento no será superior a 24 horas.

El equipo de medida y sus accesorios permitirá su desmontaje/montaje del bastidor para labores de calibración o mantenimiento.

- Sensor de velocidad de aire mediante rotámetro entre 0.2 y 50 m/s, con señal integrada en el equipo de medida de calidad de aire, disponiendo de un lanza con carrete extensible (cable) de al menos 1 m, tal que permita su ubicación óptima y fijación a paramentos, o sobre la propia estructura del bastidor.
- Sistema de alimentación mediante batería de litio con capacidad mínima de 96 horas de autonomía (criterio excluyente) para permitir la medida continua (en pasos temporales iguales o inferiores a 1 minuto) y comunicación ininterrumpida de todos los sensores de la plataforma, instalado sobre el mismo

bastidor, desmontable para recarga y mantenimiento. Incluye conexión directa a toma de corriente Schuko 230 Vca (a través de cargador de baterías), con manguera flexible de 1 m, recogida y afianzada sobre el bastidor en caso de no uso.

- Sistema de comunicaciones GSM (4G) sobre bastidor, alimentado por los sistemas instalados en el mismo, permitiendo la instalación de tarjeta SIM de datos por parte de Metro de Madrid. El dispositivo debe ser completamente configurable por parte de Metro de Madrid.
- Licencia de acceso a Plataforma web (sobre cloud externo) de almacenamiento (Base de Datos), visualización y descarga de datos, durante el plazo de ejecución del Contrato. El interfaz gráfico deberá ser altamente configurable para cada variable o conjunto de variables para facilitar la visualización de datos. La descarga de registros permitirá el volcado de ficheros en formato .csv/txt, imágenes de gráficos, e incluso una opción para el volcado completo de todos los registros en Base de Datos durante un periodo configurable. Se incluirá un sistema de emisión configurable de alertas mediante notificación SMS o mail (lista de distribución) en caso de superación de umbrales asociados a cada variable (magnitud y duración configurable). Incluirá Manual de usuario en español, y toda la documentación requerida para su configuración y parametrización. La plataforma web deberá estar preconfigurada y parametrizada antes de la puesta en marcha inicial de los equipos. Se incluirá una sesión de formación para la configuración y manejo de la plataforma para al menos 3 personas.
- Asistencia para la puesta en marcha inicial de los equipos en las oficinas de Metro de Madrid, en horario diurno, para una primera prueba de funcionamiento, comunicaciones, y testado de duración de baterías.
- Asistencia para la primera instalación de cada equipo en las dependencias de Metro, en horario nocturno (de 02 am a 05 pm), con la presencia física de al menos 1 persona, para verificar la adecuación de la instalación y la puesta en marcha de los equipos, así como la comunicación con el cloud.
- Suministro y servicio de mantenimiento requerido para cada plataforma o cada uno de los sensores instalados en ellas, durante el plazo de ejecución del Contrato, incluyendo la recogida de plataforma o bien de sensores individuales en oficinas de Metro de Madrid, limpieza, reemplazo por finalización de vida en servicio, o recalibración según corresponda, y emisión de certificado de calibración para el nuevo ciclo.

- Adicionalmente, en la Oferta se deberá especificar un plan detallado de mantenimiento y calibración para toda la vida útil de los equipos de medida, incluyendo su valoración económica a partir del tercer año.

#### 4. DOCUMENTACIÓN A APORTAR POR EL ADJUDICATARIO

La documentación que el Adjudicatario deberá aportar una vez formalizado el Contrato, y bajo solicitud de Metro de Madrid, se numera a continuación:

- Documentación gráfica (plano en formato vectorial) del conjunto.
- Clase (máxima incertidumbre de medida) para cada uno de los parámetros monitorizados, según *CEN/TS 17660-1:2022 Air quality - Performance evaluation of air quality sensor systems*.
- Grado de protección IP para la estación base o sus componentes
- Descripción del principio de medida para cada parámetro monitorizado, incluyendo dossier técnico de cada dispositivo, describiendo rangos de medida y condiciones admisibles de operación.
- Manual de puesta en marcha y uso de la estación base en idioma español.
- Manual del sistema cloud de acceso y monitorización de datos en idioma español. Especificación del proceso de alta de usuarios y máximo nº de usuarios. Ejemplo de procesos de descarga de datos, adjuntando ejemplos de resultados obtenibles y formato.
- Cronograma de actividades de ajuste, calibración, mantenimiento y recambio de componentes del sistema durante el periodo de vigencia del contrato (2 años). Se incluirá valoración económica y planning de actividades requerido a partir del tercer año.
- Plan de formación, especificando duración, número máximo de asistentes, y modalidad (presencial en las instalaciones de METRO/ONLINE).

#### 5. PLAZO DE EJECUCIÓN DEL CONTRATO

El plazo de ejecución del Contrato será de 2 años, desde la firma del acta de inicio de los trabajos o en la fecha de inicio que se indique en la propia acta.

La entrega de las 4 plataformas deberá producirse como máximo 60 días después del acta de inicio de los trabajos o en la fecha de inicio que se indique en la propia acta.

Desde la fecha de entrega de los equipos, hasta la fecha de ejecución del Contrato, se ejecutarán las tareas de primera instalación, conexión a sistema de información y parametrización del mismo, pruebas de los equipos en campo, y las relativas a las tareas de calibración, limpieza, reemplazamiento y mantenimiento de los sensores y elementos que constituyen cada plataforma, conforme se especifique en el acta de inicio de trabajos.

## **6. GARANTÍA**

El plazo de garantía exigido por Metro de Madrid, S.A. será de 2 años.