Outlook

RV: Resultado de cotizaciones sensores bajo costo

Desde Ana Cecilia Caro Zapata <acaro@corantioquia.gov.co>
Fecha Vie 2026-06-05 7:49
Para Centro de Administracion de Documentos -CAD- CORANTIOQUIA <cad@corantioquia.gov.co>

3 archivos adjuntos (14 MB)
ConceptoTecnicoSensores.docx; USB_CTB_PropuestaTecnica_RMIBC.pdf; Cotización monitoreos Contrato 110-CNT2510-258.zip;

Buenos días

Por favor radicar y copiar en la carpeta del contrato 110-CNT2510-258

Cualquier inquietud, con gusto será atendida

Cordialmente,

CORANTIOQUIA
COMUNICACIONES OFICIALES EXTERNAS
CORPORACIÓN INTERUNIVERSITARIA DE
Fecha: 05-jun-2026 11:14 AM Pág: 8
Anexos: 105 PÁGINAS
Archivar en: 110-CNT2510-258/CORPORACIÓN INTERUNIVERSITARIA DE
Radicado por: Elizabeth Mira Gómez
180-COE2606-23269
Favor citar este número al responder

Ana Cecilia Caro Zapata
Profesional Especializado
Subdirección de Gestión Ambiental
acaro@corantioquia.gov.co
Carrera 65 N° 44A – 32
www.corantioquia.gov.co

CORANTIOQUIA

"Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: https://www.corantioquia.gov.co. Con el suministro de los datos en este formulario, se entiende la autorización de su parte para que Corantioquia pueda usarlos con fines exclusivamente misionales. Este registro es propiedad de Corantioquia, no debe ser divulgado a terceros sin la respectiva autorización"

De: Ana Cecilia Caro Zapata <acaro@corantioquia.gov.co>
Enviado: Viernes, 05 de Junio de 2026 7:32
Para: CIS - CORANTIOQUIA <cis.corantioquia@cis.org.co>
CC: Vanesa Alvarez Restrepo <valvarezr@cis.org.co>; Alcance 1 SVCA Corantioquia <svca.corantioquia.cis@gmail.com>; Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire <svca@corantioquia.gov.co>
Asunto: RV: Resultado de cotizaciones sensores bajo costo

Cordial saludo,

Una vez revisada la información remitida , relacionada con el análisis de mercado para la adquisición e implementación de la Red de Muestreadores Indicativos de Bajo Costo (RMIBC) en el corregimiento de Altavista, me

permito indicar lo siguiente.

De acuerdo con el análisis técnico-económico presentado, los profesionales del alcance 1 evaluaron las propuestas allegadas por la Universidad de San Buenaventura – Consultorio Tecnológico Bonaventuriano (USB–CTB) y la empresa High Tec Environmental Ltda. (Bettair MK2 Series), evidenciándose que ambas alternativas presentan diferencias significativas en su naturaleza, alcance y modelo de implementación, por lo cual no son directamente comparables únicamente en términos de precio nominal.

En este sentido, según el análisis realizado por el equipo la propuesta de USB–CTB incluye diseño, fabricación, instalación, puesta en marcha, co-localización, integración con la plataforma PIRAGUA, generación de informes técnicos, capacitación y soporte inicial, por un valor total de $61.254.091.

Por su parte, la propuesta de High Tec Environmental Ltda. presenta una alternativa comercial basada en el suministro de equipos Bettair MK2 Series, plataforma y conectividad, con un valor de $192.188.849 (IVA incluido), requiriendo adicionalmente la definición o incorporación de componentes relevantes como instalación, sistema de energía, verificación local y costos posteriores de operación para alcanzar un alcance equivalente.

A partir de la revisión comparativa , la alternativa presentada por USB–CTB ofrece la mejor relación técnico-económica, en tanto integra dentro del valor ofertado los componentes necesarios para la implementación efectiva de la red, incluyendo aspectos críticos como la co-localización con estación de referencia, la trazabilidad de los datos, la integración con PIRAGUA y la generación de entregables técnicos para el proyecto.

El valor propuesto se ajusta al presupuesto disponible dentro del Contrato 110-CNT2510-258 de 2025, en el marco de las actividades asociadas al fortalecimiento del sistema de vigilancia de calidad del aire.

En este sentido, se autoriza la continuación del trámite para la contratación del proveedor seleccionado, conforme a lo analizado y a los procedimientos establecidos para la ejecución del contrato. Así mismo, la CIS deberá verificar previamente al inicio de la ejecución el cumplimiento de los aspectos técnicos requeridos, entre ellos: ficha técnica final de los equipos, protocolo de pruebas de aceptación, plan de instalación, esquema de co-localización, integración con PIRAGUA, plan de operación y mantenimiento, y condiciones de soporte y reposición de sensores, con el fin de garantizar la adecuada implementación y sostenibilidad de la red.

De igual manera, la CIS podrá avanzar con las actuaciones contractuales pertinentes, asegurando la verificación del cumplimiento de todos los requisitos exigidos para la formalización y ejecución del servicio.

Finalmente, agradezco anexar el respectivo soporte de la contratación en el informe financiero mensual, una vez se cuente con el documento y con su ejecución.

Cordialmente,

Ana Cecilia Caro Zapata
Profesional Especializado
Subdirección de Gestión Ambiental
acaro@corantioquia.gov.co
Carrera 65 N° 44A – 32
www.corantioquia.gov.co

CORANTIOQUIA

"Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: https://www.corantioquia.gov.co. Con el suministro de los datos en este formulario, se entiende la autorización de su parte para que Corantioquia pueda usarlos con fines exclusivamente misionales. Este registro es propiedad de Corantioquia, no debe ser divulgado a terceros sin la respectiva autorización"

De: Alcance 1 SVCA Corantioquia <svca.corantioquia.cis@gmail.com>
Enviado: miércoles, 3 de junio de 2026 15:17
Para: Ana Cecilia Caro Zapata <acaro@corantioquia.gov.co>
Cc: Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire <svca@corantioquia.gov.co>
Asunto: Re: Resultado de cotizaciones sensores bajo costo

Cordial saludo, Ana.

Muchas gracias por el envío y por la precisión frente al correo que quedó rezagado.

Revisamos la información remitida y la incorporamos al análisis técnico-económico del estudio de mercado para la adquisición e implementación de los muestreadores indicativos de bajo costo en Altavista. Procuramos hacer una revisión completa, considerando no solo el valor económico de las propuestas, sino también el alcance real incluido, las condiciones de instalación, la puesta en operación, la integración con PIRAGUA, la trazabilidad de los datos y los elementos técnicos necesarios para que la red pueda operar adecuadamente en campo.

En ese sentido, revisamos la propuesta presentada por la Universidad de San Buenaventura, a través del Consultorio Tecnológico Bonaventuriano, y la cotización remitida por High Tec Environmental Ltda. para los equipos Bettair MK2 Series.

De manera general, encontramos que las dos alternativas no son exactamente equivalentes en alcance. La propuesta de USB–CTB está planteada como una solución integral, mientras que la alternativa de High Tec Environmental corresponde principalmente a una solución comercial de suministro de equipos, con plataforma asociada y conectividad, pero con algunos componentes relevantes que requieren precisión adicional para hacer una comparación completamente homogénea.

Para facilitar la lectura, compartimos la siguiente matriz comparativa ejecutiva:

Criterio de análisis	**USB – CTB**	**High Tec Environmental – Bettair MK2 Series**	**Lectura técnica**
Naturaleza de la propuesta	Solución integral de diseño, fabricación, instalación, integración, co-localización, soporte e informe técnico	Suministro de equipos comerciales Bettair MK2 Series, plataforma y conectividad	Las propuestas tienen alcances distintos; no son comparables solo por precio nominal
Valor económico declarado	$61.254.091 COP	$192.188.849 COP con IVA	USB–CTB presenta menor costo inicial
Instalación y puesta en marcha	Incluida dentro del valor ofertado	Requiere precisión como componente adicional	La instalación es clave para asegurar operación real en campo
Energía solar / autonomía	Incluida en la solución base	Requiere precisión o componente adicional	Para Altavista es relevante por posibles limitaciones de conexión eléctrica
Co-localización con estación de referencia	Incluida	No aparece incluida como verificación local específica	La co-localización fortalece la trazabilidad e interpretación de los datos
Integración con PIRAGUA	Incluida dentro del alcance	Se indica compatibilidad, pero requiere precisar condiciones de integración	Ambas opciones requieren protocolo claro de integración

Plataforma de visualización	Desarrollo propio orientado al proyecto	Plataforma comercial Bettair incluida por un periodo determinado	Bettair tiene madurez comercial; USB permite mayor adaptación local
Informe técnico de verificación	Incluido	No aparece incluido como informe específico para Altavista	El informe técnico es importante para soportar el desempeño local de los sensores
Certificaciones del equipo	Requiere fortalecimiento documental	Cuenta con respaldo y certificaciones del fabricante	Bettair tiene ventaja como equipo comercial certificado
Costos posteriores	Deben precisarse soporte y reposición de sensores	Deben precisarse licencias, cartuchos, plataforma, conectividad y soporte posterior	En ambos casos conviene dejar claros los costos de operación futura
Trazabilidad local del dato	Se fortalece mediante co-localización e informe técnico	Se soporta principalmente en certificaciones y algoritmos del fabricante	Para Altavista resulta más conveniente contar con verificación local
Relación alcance/costo	Alta, por incluir varios componentes dentro del valor ofertado	Menor, por mayor costo inicial y posibles componentes adicionales	USB–CTB presenta mejor relación técnico-económica para este caso

A partir de esta revisión, se reconoce que la alternativa Bettair tiene fortalezas importantes como solución comercial, especialmente por su madurez tecnológica, plataforma consolidada y certificaciones del fabricante. Sin embargo, para el caso específico de Altavista, el análisis muestra que se deben precisar algunos aspectos antes de considerarla plenamente comparable, entre ellos la instalación, el sistema de energía solar, la verificación local, la co-localización con estación de referencia, los costos posteriores de plataforma, la reposición de sensores o cartuchos, la continuidad del acceso a datos y las condiciones económicas asociadas a importación o variación cambiaria.

En la revisión económica también se evidencia una diferencia significativa. La propuesta USB–CTB presenta un valor de $61.254.091, incluyendo los componentes principales para dejar la red instalada, integrada y con verificación técnica inicial. La cotización de High Tec Environmental presenta un valor superior y, adicionalmente, requiere considerar otros componentes para alcanzar un alcance equivalente al de una solución integral.

Con base en lo anterior, la recomendación técnica que se deriva del análisis es considerar como alternativa más conveniente la propuesta presentada por USB–CTB, por presentar la mejor relación entre alcance, costo total inicial, integralidad operativa, posibilidad de verificación local, integración con PIRAGUA y generación de entregables técnicos para el proyecto.

Esta recomendación no desconoce las fortalezas de la alternativa Bettair como solución comercial. Simplemente, para las condiciones específicas del requerimiento y del contexto de Altavista, la propuesta USB–CTB resulta más conveniente porque incorpora dentro del valor ofertado componentes que son necesarios para la implementación efectiva de la red y para la trazabilidad técnica de los datos.

Para dejar el análisis completo y ordenado, adjuntamos el documento técnico-económico con la revisión comparativa de las alternativas, la valoración de alcance, los principales criterios técnicos y la recomendación final. También dejamos planteadas unas condiciones técnicas que sería conveniente solicitar antes de la implementación, entre ellas la ficha técnica final de los equipos, el protocolo de pruebas de aceptación, el protocolo de instalación por punto, el plan de co-localización, el esquema de integración con PIRAGUA, el manual de operación y mantenimiento, y el plan de soporte y reposición de sensores.

Quedamos atentos a cualquier observación, ajuste o complemento que consideres necesario para dejar el soporte lo más claro posible dentro del estudio de mercado.

El mar, 2 jun 2026 a las 15:10, Ana Cecilia Caro Zapata (<acaro@corantioquia.gov.co>) escribió:

Hola, buenas tardes:

Ofrezco disculpas, ya que hoy, al revisar correos rezagados, encontré un mensaje que me enviaron y en el que, al parecer, ustedes no estaban copiados.

Por lo anterior, les solicito amablemente que lo incorporen al estudio de mercado y me lo envíen nuevamente. Pueden considerar el oferente que estimen más adecuado y que cumpla con los requisitos, dado que no tengo conocimiento técnico sobre sensores.

Cualquier inquietud será atendida con gusto.

Cordialmente,

Ana Cecilia Caro Zapata
Profesional Especializado
Subdirección de Gestión Ambiental
acaro@corantioquia.gov.co
Carrera 65 N° 44A – 32
www.corantioquia.gov.co

CORANTIOQUIA

"Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: https://www.corantioquia.gov.co. Con el suministro de los datos en este formulario, se entiende la autorización de su parte para que Corantioquia pueda usarlos con fines exclusivamente misionales. Este registro es propiedad de Corantioquia, no debe ser divulgado a terceros sin la respectiva autorización"

De: Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire <svca@corantioquia.gov.co>
Enviado: Martes, 02 de Junio de 2026 7:05
Para: Ana Cecilia Caro Zapata <acaro@corantioquia.gov.co>; Alcance 1 SVCA Corantioquia <svca.corantioquia.cis@gmail.com>
Asunto: Resultado de cotizaciones sensores bajo costo

Buenos días,

Durante el proceso de solicitud de cotizaciones requiriendo la prestación de servicios para a la adquisición de cuatro (4) muestreadores indicativos de bajo costo para la medición de gases contaminantes, material particulado y variables meteorológicas en el Corregimiento de Altavista, se siguió el siguiente proceso:

- **7 de mayo:** presentación de la solicitud de servicios a la Supervisora del contrato y Líder SGL SVCA.
- **15 de mayo:** observaciones de la Supervisora del contrato y Líder SGL SVCA.
- **15 de mayo:** envío de la solicitud de cotización a 26 laboratorios que prestan sus servicios en monitoreo de calidad de aire.
- **20 de mayo:** Recepción de observaciones por parte de los laboratorios (Nota: se recibieron observaciones por parte de los laboratorios HIGH TECHNOLOGY LTDA. y SISTEMA AMBIENTAL S.A.S.).
- **22 de mayo:** respuesta a las observaciones realizadas.

- **29 de mayo:** cierre de recepción de las propuestas.

Al cierre de la convocatoria, se recibió la propuesta económica de la Universidad San Buenaventura. A continuación, se ilustran los laboratorios a donde se allegó la propuesta, las direcciones de correo electrónicos y las respuestas recibidas por parte de los laboratorios:

Laboratorio	Correo	Respuesta
AGQ COLOMBIA S.A.S	cristhian.moreno@agqlabs.com; karina.corena@agqlabs.com	No presentan propuesta
AQUALAB CONSULTING	gerencia@aqualabconsulting.com	No presentan propuesta
ANALTEC	dircalidadanaltec@gmail.com; direccion.comercial@analteclaboratorios.com	No presentan propuesta
ANASCOL S.A.S.	comercial@anascol.com; direccion.tecnica@anascol.com; direccion.tecnica@anascol.com	No presentan propuesta
ASISTENCIA Y MONITOREO AMBIENTAL PLANETA AZUL LTDA	juan.cetina@aimaplanetaazul.com	No presentan propuesta
CCA COMPAÑÍA DE CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA	calidad@cca.com.co	No presentan propuesta
CONHINTEC	info@conhintec.com	No presentan propuesta
Corporación Integral del Medio Ambiente – CIMA	cima@laboratoriocima.com	No presentan propuesta
ESPECIALISTAS EN INGENIERÍA, MEDIO AMBIENTE Y SERVICIOS S.A.S.	info@especialistas.net.co; Info@eimas.com.co	No presentan propuesta
GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y LABORATORIO DE MONITOREO AMBIENTAL G-LIMA DE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA	laboratoriogiga@udea.edu.co	No presentan propuesta
GSA S.A.S	proyectosespeciales@gsasas.com; comercial@gsasas.com; gsasas@gsasas.com	No presentan propuesta
INDUANALISIS S.A.S. – IA S.A.S	comercial@induanalisis.com; info@induanalisis.com	No presentan propuesta
LABORATORIO CALAIRE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL	calaire_med@unal.edu.co	No presentan propuesta
SIAM INGENIERÍA S.A.S	gerencia@siamingenieria.com	No presentan propuesta
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA	jorgeivan.posada@upb.edu.co	No presentan propuesta
UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA	direccion.ctb@usbmed.edu.co	Presenta propuesta - $ 61.254.091
SAG S.A.	sag.sa@sag-sa.com	No presentan propuesta
BB SERVICIOS AMBIENTALES S.A.S	bboterof@gmail.com; calidad@bbserviciosambientales.com	No presentan propuesta
UNIVERSIDAD DE MEDELLIN - LABORATORIO DE ANALISIS FISICOQUIMICO Y BIOLOGICO DEL CENTRO DE LABORATORIOS	jcmoreno@udem.edu.co; laboratorios@udemedellin.edu.co	No presentan propuesta

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA ADSCRITO AL CENTRO DE EXTENSIÓN DE LA FACULTAD NACIONAL DE SALUD PÚBLICA "HÉCTOR ABAD GÓMEZ"	cambientalab.fnsp@udea.edu.co; decasaludpublica@udea.edu.co	Responden mencionando que en este momento no cuentan con la capacidad para presentar una propuesta
CONSULTORÍA E INGENIERÍA INTEGRAL S.A.S. - CONINTEGRAL S.A.S.	afernandez@conintegral.com, info@conintegral.com	No presentan propuesta
POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID - LABORATORIO EN HIGIENE Y GESTIÓN AMBIENTAL GHYGAM	mgomez@elpoli.edu.co	No presentan propuesta
SISTEMA AMBIENTAL S.A.S.	barenas@sistemambiental.com.co; shernandez@sistemambiental.com.co	Responden realizando observaciones pero no presentan propuesta
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL S.A.S	dircalidad.dna@gmail.com; proyectos@dnambiental.com; diradm.dna@gmail.com	No presentan propuesta
CMA LABORATORIO Y TECNOLOGÍA S.A.S., CMA LABTEC S.A.S	direccíongeneral@cmalabtec.co, hseq@cmalabtec.co	No presentan propuesta
MAHT MONITOREOS AMBIENTALES HIGH TECHNOLOGY LTDA.	gerencia@hteltda.com; soporte@hteltda.com	Responden realizando observaciones pero no presentan propuesta

Se adjunta en el archivo comprimido los correos enviados a los laboratorios y las respuestas recibidas por parte de cada uno de los laboratorios.

Quedo atento a cualquier observación.

Cordialmente,

JOSE MANUEL FERNÁNDEZ MONTES
Enlace SGL SVCA
Teléfono: 319 203 4901
Email: svca@corantioquia.gov.co



Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: www.corantioquia.gov.co, en donde puede conocer sus derechos constitucionales y legales, así como la forma de ejercerlos. Con mucho gusto atenderemos todas sus observaciones, consultas o reclamos en: proteccíondedatos@corantioquia.gov.co.



Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: www.corantioquia.gov.co, en donde puede conocer sus derechos constitucionales y legales, así como la forma de ejercerlos. Con mucho gusto atenderemos todas sus observaciones, consultas o reclamos en: protecciondedatos@corantioquia.gov.co.



Corantioquia está comprometida con el tratamiento legal, lícito, confidencial y seguro de sus datos personales. Por favor consulte nuestra Política de Tratamiento de datos personales en nuestra página web: www.corantioquia.gov.co, en donde puede conocer sus derechos constitucionales y legales, así como la forma de ejercerlos. Con mucho gusto atenderemos todas sus observaciones, consultas o reclamos en: protecciondedatos@corantioquia.gov.co.

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

Propuestas recibidas para la implementación de sensores indicativos de bajo costo

Red de Muestreadores Indicativos de Bajo Costo - RMIBC
Corregimiento de Altavista, Medellín
Contrato 110-CNT2510-258 | Subactividad 1.5.2
Junio de 2026

Documento de soporte para revisión técnica y toma de decisión

Recomendación: seleccionar la propuesta USB - CTB como alternativa más conveniente para la implementación inicial de la RMIBC en Altavista, por presentar mejor relación alcance/costo, mayor integralidad operativa, instalación incluida, co-localización local, integración con PIRAGUA, informe técnico y soporte inicial. La recomendación reconoce las fortalezas técnicas de HTE - Bettair, pero considera que para este caso específico no ofrece la mejor conveniencia técnico-económica frente al alcance requerido.

1. Introducción

En el marco de las actividades orientadas al fortalecimiento de la gestión de la calidad del aire en el territorio, y de acuerdo con las necesidades identificadas para el seguimiento indicativo de las condiciones ambientales en el corregimiento de Altavista, se adelantó un ejercicio de revisión técnico-económica de las propuestas recibidas para la implementación de una Red de Muestreadores Indicativos de Bajo Costo.

El presente análisis tiene como propósito aportar elementos objetivos para la toma de decisiones, a partir de la comparación del alcance técnico, económico, operativo y documental de las alternativas disponibles. La evaluación no se orienta únicamente a contrastar valores económicos nominales, sino a identificar la relación entre costo, alcance incluido, trazabilidad técnica, condiciones de operación, integración tecnológica, soporte y capacidad de generación de información útil para el proyecto.

Bajo esta perspectiva, se revisaron las propuestas asociadas a dos alternativas: una solución integral presentada por la Universidad de San Buenaventura Medellín, a través del Consultorio Tecnológico Bonaventuriano - CTB, y una alternativa comercial asociada a equipos Bettair MK2 Series, presentada por High Tec Environmental Ltda.

Dado que las propuestas presentan diferencias relevantes en su naturaleza, alcance y modelo de implementación, se considera necesario realizar una lectura comparativa ajustada al costo total de la solución y no solamente al valor de adquisición de los equipos.

2. Alcance del análisis

El análisis técnico-económico considera los siguientes elementos: cumplimiento de especificaciones técnicas mínimas, alcance real incluido, condiciones de instalación, puesta en marcha, transmisión de datos e integración con la plataforma PIRAGUA, capacidad de verificación y trazabilidad de los datos generados, costos directos, costos adicionales, costos potenciales posteriores y riesgos económicos asociados, condiciones de soporte, mantenimiento, reposición de componentes y continuidad operativa.

Este enfoque permite valorar las propuestas de manera integral, reconociendo sus fortalezas y aspectos por precisar, sin reducir la evaluación a una comparación simple de precios.

3. Consideraciones generales sobre las propuestas

Las alternativas revisadas responden a modelos diferentes.

La propuesta de la Universidad de San Buenaventura Medellín, a través del Consultorio Tecnológico Bonaventuriano, se estructura como una solución integral para el proyecto. Incluye el diseño, fabricación, instalación, puesta en marcha, co-localización, integración con PIRAGUA, generación de informes técnicos, capacitación y soporte inicial.

Por su parte, la propuesta de High Tec Environmental Ltda. corresponde a una alternativa comercial basada en el suministro de equipos Bettair MK2 Series, plataforma asociada, conectividad y documentación del fabricante. Esta alternativa presenta fortalezas relacionadas con la madurez de una solución comercial, certificaciones y disponibilidad de plataforma tecnológica, pero algunos servicios necesarios para hacerla plenamente comparable con la propuesta integral deben ser precisados o adicionados.

En consecuencia, ambas propuestas deben ser valoradas de acuerdo con el alcance efectivamente incluido, la utilidad técnica esperada y los costos totales requeridos para lograr la operación completa de la RMIBC en Altavista.

4. Comparación general de las alternativas

Criterio de análisis	USB - CTB	HTE - Bettair MK2 Series	Lectura técnica
Naturaleza de la propuesta	Solución integral de diseño, fabricación, instalación, integración y soporte.	Suministro de equipos comerciales con plataforma asociada.	Las propuestas no son equivalentes en alcance inicial.
Valor base declarado	$61.254.091 COP.	$192.188.849 COP con IVA.	La diferencia económica debe analizarse frente al alcance incluido.
Instalación	Incluida.	Cotizada por separado.	La instalación es necesaria para asegurar operación efectiva en campo.
Energía solar	Incluida en la solución base.	Cotizada como componente adicional.	Es relevante para puntos con posible limitación de red eléctrica.
Co-localización con estación de referencia	Incluida.	No incluida como verificación local específica.	La co-localización fortalece la trazabilidad del dato.
Informe técnico de verificación	Incluido.	No incluido como informe específico para Altavista.	El informe técnico es clave para documentar el desempeño local.
Integración con PIRAGUA	Incluida.	Compatible, con soporte de integración.	Ambas alternativas requieren protocolo claro de integración.
Plataforma de visualización	Desarrollo propio orientado al proyecto.	Plataforma Bettair incluida durante 24 meses.	Bettair tiene madurez comercial; USB permite mayor adaptación local.
Datos históricos y continuidad	Asociada al desarrollo del proyecto.	Sujeta a condiciones de plataforma posterior al periodo incluido.	Deben precisarse condiciones de acceso y permanencia.
Certificaciones del equipo	No declaradas como producto comercial certificado.	Certificaciones internacionales del fabricante.	Ventaja documental de HTE como equipo comercial.
Verificación local	Incluida mediante co-localización.	No incluida.	Ventaja de USB para condiciones específicas de Altavista.

180-COE2606-23269

5. Análisis técnico

Desde el punto de vista técnico, la alternativa HTE - Bettair MK2 Series presenta fortalezas relevantes como solución comercial. Su principal valor se encuentra en la disponibilidad de un equipo ya desarrollado, con plataforma propia, conectividad, documentación técnica de fabricante, certificaciones y funcionalidades complementarias. Esto puede representar una ventaja en términos de madurez tecnológica, estandarización del hardware y respaldo de producto.

Sin embargo, para el caso específico de Altavista, la sola disponibilidad de un equipo comercial no agota los requerimientos técnicos del proyecto. La utilidad de una red indicativa de bajo costo depende en buena medida de su instalación adecuada, operación continua, verificación local, trazabilidad del dato, integración con las plataformas institucionales y generación de información interpretada en el contexto territorial.

En este punto, la propuesta USB - CTB presenta una fortaleza importante: plantea la solución como un proceso completo y no solamente como suministro de equipos. La inclusión de co-localización con estación de referencia, informe técnico, integración con PIRAGUA, capacitación y soporte permite construir una ruta más ajustada a las necesidades del proyecto, especialmente si se considera que los sensores indicativos requieren procesos de verificación y ajuste para mejorar la confiabilidad de los datos.

No obstante, la propuesta USB - CTB también debe robustecer algunos elementos técnicos antes de avanzar hacia una eventual implementación. Resulta conveniente precisar las especificaciones físicas finales de los equipos, el esquema de pruebas de aceptación, las condiciones de mantenimiento, la reposición de sensores, el soporte posterior al periodo inicial y las condiciones de continuidad de la plataforma.

Estas precisiones no modifican la conveniencia general de la propuesta, pero sí son necesarias para fortalecer la trazabilidad técnica y contractual de la solución.

6. Análisis económico

La comparación económica evidencia una diferencia sustancial entre las alternativas.

La propuesta USB - CTB presenta un valor total de $61.254.091 COP e incluye dentro de este monto el conjunto de actividades necesarias para poner en marcha la solución: diseño, fabricación, instalación, co-localización, integración, informe técnico, capacitación y soporte inicial.

La propuesta HTE - Bettair MK2 Series presenta un valor de $192.188.849 COP con IVA, asociado principalmente al suministro de los equipos, la plataforma durante el periodo incluido y la conectividad. Para efectos de comparación con una solución integral, deben considerarse componentes adicionales como instalación, sistema solar, posibles costos de verificación local, costos posteriores de plataforma, reposición de cartuchos o sensores, importación y demás condiciones operativas que puedan incidir en el costo total de propiedad.

Por lo anterior, el análisis económico no debe limitarse al valor de compra de los equipos, sino al costo total necesario para lograr una red instalada, funcional, integrada, verificable y documentada.

Desde esta perspectiva, la propuesta USB - CTB muestra una relación alcance/costo más favorable para la implementación inicial de la RMIBC, en tanto incluye componentes que son necesarios para la

operación del proyecto y que en la alternativa comercial aparecen como adicionales, no incluidos o sujetos a precisión posterior.

7. Costo total comparable

Para efectos de una evaluación homogénea, se propone diferenciar entre precio nominal y costo total comparable.

El precio nominal corresponde al valor declarado por cada proponente. El costo total comparable corresponde al valor necesario para que la alternativa cumpla efectivamente con el alcance esperado: equipos instalados, conectividad activa, operación inicial, energía, integración con plataforma, verificación local, soporte técnico, informe y condiciones mínimas de continuidad.

Bajo esta lectura, la alternativa USB - CTB tiene un costo total inicial más claro, dado que integra la mayoría de los componentes requeridos. La alternativa HTE - Bettair requiere una ampliación de información para precisar los costos totales asociados a componentes complementarios y a la operación posterior.

Esta diferencia no debe entenderse como una desventaja absoluta de una solución frente a otra, sino como una condición necesaria para comparar propuestas bajo criterios equivalentes.

8. Trazabilidad, verificación y utilidad del dato

Uno de los elementos más relevantes del análisis es la trazabilidad técnica de los datos.

Los sensores indicativos de bajo costo no sustituyen las estaciones de referencia ni los métodos acreditados del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire. Su valor está en complementar la lectura territorial, ampliar cobertura espacial, identificar tendencias, apoyar el análisis fuente-receptor y generar información de apoyo para la gestión ambiental.

Por esta razón, la co-localización con una estación de referencia y la generación de factores de ajuste o criterios de interpretación local se consideran elementos de alto valor técnico. En el caso de Altavista, esta condición resulta especialmente relevante por tratarse de un territorio con complejidades topográficas, fuentes de emisión diversas y necesidades de seguimiento ambiental con trazabilidad suficiente.

La propuesta USB - CTB incorpora expresamente la co-localización y el informe técnico de verificación. La propuesta HTE - Bettair cuenta con certificaciones y validaciones de fabricante o de terceros en otros contextos, lo cual representa una fortaleza documental, pero no reemplaza necesariamente la verificación local en las condiciones específicas de Altavista.

9. Riesgos técnicos y económicos identificados

9.1. Riesgos a gestionar en la propuesta USB - CTB

- Especificaciones físicas finales de los equipos.
- Peso, dimensiones y condiciones de montaje.
- Protocolo de pruebas de aceptación en laboratorio y campo.
- Alcance del soporte posterior al periodo inicial.
- Vida útil esperada y esquema de reposición de sensores.

- Condiciones de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Estabilidad, respaldo y trazabilidad de la plataforma de datos.
- Condiciones de transferencia o uso de la información generada.

9.2. Aspectos a precisar en la propuesta HTE - Bettair MK2 Series

- Costo total de instalación.
- Costo de sistemas solares para los cuatro puntos.
- Condiciones reales de autonomía energética.
- Cumplimiento del almacenamiento local requerido.
- Alcance de la plataforma después de los 24 meses incluidos.
- Costos de licenciamiento posterior.
- Reposición de cartuchos o sensores.
- Costos de importación, nacionalización o variaciones cambiarias.
- Alcance de la verificación local.
- Posibilidad de co-localización con estación de referencia.
- Condiciones de acceso, descarga y conservación de datos históricos.

10. Valoración técnico-económica

A partir de la revisión realizada, la propuesta USB - CTB presenta una mejor relación técnico-económica para la implementación inicial de la RMIBC en Altavista, principalmente por cuatro razones.

Primero, integra en un solo alcance los componentes necesarios para pasar de la adquisición de equipos a una red en operación: diseño, fabricación, instalación, transmisión, integración, co-localización, informe y soporte.

Segundo, presenta un costo total inicial significativamente menor frente a la alternativa comercial revisada.

Tercero, incorpora un componente de verificación local mediante co-localización, aspecto relevante para fortalecer la interpretación técnica de los datos generados por sensores indicativos.

Cuarto, permite mayor adaptación al contexto específico del proyecto, especialmente en relación con integración a PIRAGUA, gestión local de datos y generación de informes técnicos ajustados a las necesidades del territorio.

La propuesta HTE - Bettair conserva valor técnico como alternativa comercial robusta, con ventajas en certificación, madurez de plataforma y respaldo de fabricante. Sin embargo, para el caso concreto del proyecto, requiere aclaraciones adicionales para determinar su costo total comparable y su capacidad de responder de manera integral a las necesidades operativas, documentales y de verificación local de la red.

11. Recomendación técnica

Con base en el análisis técnico-económico realizado, se recomienda seleccionar la propuesta presentada por la Universidad de San Buenaventura Medellín, a través del Consultorio Tecnológico

Bonaventuriano - CTB, como la alternativa más conveniente para la implementación inicial de la Red de Muestreadores Indicativos de Bajo Costo - RMIBC en el corregimiento de Altavista.

La recomendación se sustenta en que esta propuesta presenta la mejor relación entre alcance técnico, costo total inicial, integralidad operativa, posibilidad de verificación local, integración con PIRAGUA y generación de entregables técnicos asociados a la instalación, co-localización, capacitación, soporte e informe final de verificación.

La propuesta USB - CTB no se limita al suministro de equipos, sino que plantea una solución completa orientada a la puesta en operación de la red. Este aspecto resulta determinante, dado que el proyecto no requiere únicamente adquirir sensores, sino implementar un sistema funcional, verificable y articulado con las necesidades de seguimiento ambiental del territorio.

De manera específica, la recomendación a favor de USB - CTB se fundamenta en los siguientes criterios:

a. Presenta un valor económico significativamente menor frente a la alternativa comercial revisada.

b. Incluye dentro del valor ofertado componentes esenciales para la operación de la red, tales como instalación, integración tecnológica, co-localización, capacitación, soporte e informe técnico.

c. Permite realizar verificación local mediante co-localización con estación de referencia, lo cual fortalece la trazabilidad e interpretación de los datos generados por sensores indicativos.

d. Facilita una mayor adaptación al contexto territorial de Altavista y a las necesidades específicas de integración con la plataforma PIRAGUA.

e. Reduce la dependencia de plataformas propietarias externas y permite mayor control sobre la arquitectura de datos, la documentación técnica y la continuidad de la información.

f. Presenta una mejor relación alcance/costo para el objetivo específico del proyecto.

La alternativa HTE - Bettair MK2 Series se reconoce como una solución comercial robusta, con fortalezas asociadas a certificaciones del fabricante, madurez tecnológica, plataforma consolidada y respaldo de producto. No obstante, para el caso específico de la RMIBC en Altavista, no resulta la alternativa más conveniente, debido a su mayor costo inicial, la necesidad de adicionar componentes relevantes para igualar el alcance de una solución integral, la ausencia de co-localización local incluida, los costos posteriores que requieren precisión y la dependencia de condiciones de plataforma y soporte del fabricante.

En consecuencia, se recomienda avanzar con la propuesta USB - CTB, incorporando como condición técnica de perfeccionamiento la presentación y aprobación de los siguientes elementos antes del inicio de la implementación: ficha técnica final de cada equipo, protocolo de pruebas de aceptación en laboratorio y campo, protocolo de instalación por punto, plan de co-localización con estación de referencia, plan de integración con PIRAGUA, manual de operación y mantenimiento, plan de reposición de sensores y componentes críticos, condiciones de soporte técnico durante y después del periodo inicial, esquema de respaldo, conservación y trazabilidad de datos, e informe técnico final de verificación.

Estas condiciones no modifican la recomendación de selección, sino que permiten fortalecer la implementación, asegurar la trazabilidad del proceso y reducir riesgos técnicos durante la ejecución.

12. Conclusión

El análisis técnico-económico permite concluir que la propuesta presentada por la Universidad de San Buenaventura Medellín, a través del Consultorio Tecnológico Bonaventuriano - CTB, es la alternativa recomendada para la implementación inicial de la Red de Muestreadores Indicativos de Bajo Costo en Altavista.

Esta conclusión se soporta en la integralidad de la propuesta, su menor costo total inicial, la inclusión de instalación, co-localización, integración con PIRAGUA, capacitación, soporte e informe técnico, así como en su mayor capacidad de adaptación al contexto específico del territorio y a los requerimientos operativos del proyecto.

La alternativa HTE - Bettair MK2 Series presenta condiciones técnicas valiosas como solución comercial, especialmente por su madurez tecnológica, certificaciones y plataforma consolidada. Sin embargo, al compararla frente al alcance requerido, evidencia un costo superior y la necesidad de adicionar o precisar componentes esenciales para alcanzar una solución plenamente equivalente. Entre estos aspectos se encuentran la instalación, el sistema de energía solar, la verificación local, los costos posteriores de plataforma, la reposición de cartuchos o sensores, la continuidad del acceso a datos y las condiciones económicas asociadas a importación o variación cambiaria.

Por lo anterior, desde una perspectiva de conveniencia técnica, económica y operativa, se recomienda seleccionar la propuesta USB - CTB como la alternativa más adecuada para el desarrollo del proyecto.

13. Síntesis ejecutiva

La evaluación realizada evidencia que las propuestas recibidas responden a modelos de alcance diferentes. USB - CTB plantea una solución integral para el diseño, fabricación, instalación, integración, co-localización, capacitación, soporte e informe técnico de la red. HTE - Bettair presenta una alternativa comercial basada principalmente en el suministro de equipos, plataforma y conectividad.

Luego de revisar el alcance técnico, el valor económico, los componentes incluidos, la capacidad de verificación local, la integración con PIRAGUA y los costos adicionales potenciales, se recomienda seleccionar la propuesta USB - CTB como la alternativa más conveniente para la implementación inicial de la RMIBC en Altavista.

La recomendación no desconoce las fortalezas técnicas de la alternativa HTE - Bettair, especialmente en materia de certificaciones, plataforma y madurez comercial. Sin embargo, para las necesidades concretas del proyecto, la propuesta USB - CTB ofrece una mejor relación alcance/costo, incorpora componentes operativos esenciales dentro del valor ofertado y permite fortalecer la trazabilidad local de los datos mediante co-localización e informe técnico de verificación.

En consecuencia, se recomienda avanzar con USB - CTB, condicionando la implementación a la aprobación previa de los protocolos técnicos, fichas finales, esquema de instalación, plan de co-localización, integración con PIRAGUA, soporte, mantenimiento y trazabilidad de datos.

Fuentes y documentos revisados

- Matriz comparativa extendida Kill Critic / Red Team - TDR-RMIBC-2026-001, Red de Muestreadores Indicativos de Bajo Costo, Altavista, Medellín.
- Trazabilidad del estudio de mercado y solicitud de cotización TDR-RMIBC-2026-001, incluyendo correos de solicitud, observaciones sobre instalación y recepción de propuesta USB - CTB.
- Estudios previos del contrato 110-CNT2510-258 y especificaciones asociadas al fortalecimiento de la gestión de calidad del aire, integración de redes de monitoreo y plataforma PIRAGUA.

180-COE2606-23269

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
Facultad de Ingeniería
Consultorio Tecnológico Bonaventuriano — CTB

Propuesta Técnico-Económica para el Diseño, Fabricación e Instalación de Sensores Remotos de Bajo Costo para el Monitoreo de Material Particulado y Gases Criterio en el Corregimiento de Altavista

Entidad	CORANTIOQUIA — CIS (Contrato 110-CNT2510-258)
TDR de referencia	TDR-RMIBC-2026-001
Año de ejecución	2026
Fecha de elaboración	Mayo de 2026
Dirigido a:	Coordinación Alcance 1 — CIS / CORANTIOQUIA
Valor total de la propuesta	$ 61.254.091 COP

1. Antecedentes y justificación

El Corregimiento de Altavista, en el suroccidente del municipio de Medellín, alberga una de las concentraciones industriales más significativas del Valle de Aburrá en lo que respecta a explotación y procesamiento de minerales no metálicos. Las operaciones de cantera en esta zona generan emisiones continuas de material particulado (PM2.5 y PM10), dióxido de azufre (SO2), óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles, cuyo impacto sobre la calidad del aire y la salud de la población residente ha sido documentado en múltiples estudios y constituye el objeto central de la Acción Popular 2025-00248, que exige información continua y georreferenciada de calidad del aire en la zona de influencia de las canteras.

En este contexto, CORANTIOQUIA, a través de la Corporación Interuniversitaria de Servicios (CIS) y en desarrollo del Contrato 110-CNT2510-258 — Subactividad 1.5.2, requiere la conformación de la Red de Muestreadores Indicativos de Bajo Costo (RMIBC): un sistema de cuatro (4) sensores remotos que opere de forma complementaria —y no sustituta— al Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) acreditado de la Corporación, cubriendo puntos estratégicos que la estación fija acreditada no puede monitorear simultáneamente dada la variabilidad espacial de las emisiones y la dirección predominante del viento.

La Universidad de San Buenaventura — Medellín, a través de su Consultorio Tecnológico Bonaventuriano (CTB), adscrito a la Facultad de Ingeniería, presenta la presente propuesta técnico-económica en respuesta al TDR-RMIBC-2026-001, ofreciendo una solución integral que abarca el diseño electrónico, la fabricación, la verificación, la instalación en campo y la puesta en operación de los dispositivos, incluyendo su integración con la plataforma PIRAGUA de CORANTIOQUIA para la visualización de datos en tiempo real.

El CTB cuenta con experiencia comprobada en diseño de sistemas embebidos, instrumentación ambiental, redes de sensores IoT y plataformas de visualización de datos, lo que le permite ofrecer una solución robusta, trazable y con el respaldo institucional de la Universidad. Los dispositivos propuestos son sistemas integrados (no modulares) que cumplen la totalidad de las especificaciones técnicas mínimas del numeral 3 del TDR, incluyendo los cinco módulos de medición (material particulado, gases criterio, gases complementarios, variables meteorológicas y localización GPS), conectividad 4G LTE + WiFi, almacenamiento local ≥32 GB y enclosure certificado IP65.

2. Objetivo general

Diseñar, fabricar, instalar e interconectar un sistema de cinco (5) sensores remotos de bajo costo multiparamétricos, integrados en un único dispositivo físico, para la medición en tiempo real de material particulado (PM1.0, PM2.5, PM10), gases criterio (NO2, SO2, CO, O3), gases complementarios (COV, NH3, CH2O), variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, presión barométrica) y localización GPS, con transmisión continua de datos vía 4G LTE y almacenamiento local redundante, integrados a la plataforma PIRAGUA de CORANTIOQUIA, en el marco del TDR-RMIBC-2026-001 y el Contrato 110-CNT2510-258.

3. Objetivos específicos

- Diseñar el esquema electrónico y el firmware de los dispositivos integrados, garantizando que cada unidad cumpla la totalidad de las especificaciones técnicas mínimas del numeral 3 del TDR-RMIBC-2026-001.
- Seleccionar, adquirir e integrar los sensores electroquímicos y ópticos para la medición de PM1.0/PM2.5/PM10, NO2, SO2, CO, O3, COV, NH3 y CH2O, con los rangos y sensibilidades exigidos por el TDR.
- Fabricar, ensamblar y probar en laboratorio cinco (5) unidades completas en enclosure IP65, con batería ≥20.000 mAh, panel solar 10W, módulo 4G LTE y GPS integrado, garantizando autonomía ≥72 horas sin red eléctrica.
- Calibrar los dispositivos en laboratorio mediante co-localización con equipos de referencia certificados, derivando los factores de corrección iniciales para cada parámetro medido.
- Instalar y poner en funcionamiento las cuatro (4) unidades en los puntos estratégicos definidos por CORANTIOQUIA en el Corregimiento de Altavista (Sensores A, B, C y D del TDR), verificando la transmisión continua de datos antes de la entrega formal de cada punto.
- Configurar la integración de los dispositivos con la plataforma PIRAGUA de CORANTIOQUIA, mediante API REST y protocolo MQTT v3.1.1 documentados.
- Entregar el informe técnico final con la descripción del diseño electrónico, la metodología de verificación, la instalación, la puesta en marcha y el manual de operación y mantenimiento de los sensores.
- Capacitar al personal técnico del CIS en la operación, el mantenimiento básico y la descarga y análisis de datos de los dispositivos, con una duración mínima de ocho (8) horas presenciales.

4. Etapas

4.1 Diseño electrónico y selección de componentes (Semanas 1–3)

En esta etapa se elabora el diseño completo del dispositivo integrado: esquema electrónico, selección de sensores, diseño del PCB multicapa, definición de la arquitectura de firmware y configuración del sistema de gestión de energía. El diseño se ajusta a los requisitos eléctricos del numeral 3.2 del TDR (voltaje de operación dual 5V/3.3V, corriente total ≤280 mA, temperatura de operación –10°C a 50°C, grado de protección IP65).

Para el módulo de material particulado se adopta el sensor óptico SPS30 de Sensirion, con rango 0–1000 µg/m³ y sensibilidad 0.1 µg/m³, que supera los requisitos del Módulo 1 del TDR. Los gases criterio (NO2, SO2, CO, O3) se miden con celdas electroquímicas de estado sólido SPEC Sensors y ALPHASENSE, seleccionadas por su estabilidad en condiciones tropicales y su desempeño documentado en estudios de validación publicados. Los gases complementarios (COV, NH3, CH2O) se incorporan mediante sensores SPEC Sensors de última generación. Las variables meteorológicas se integran con el módulo BME280 de Bosch (T/HR/P) y el receptor GPS NEO-M8N de u-blox (precisión 2.5 m CEP, timestamp UTC).

El sistema de comunicación opera sobre el módulo SIM7600G-H 4G LTE Cat-M, con WiFi 802.11 b/g/n como canal redundante. El almacenamiento local se implementa sobre microSD de 32 GB con sistema de archivos FIFO y mecanismo de retry automático, garantizando que ningún dato se pierda ante falla de conectividad o corte de energía. El timestamp de cada registro proviene exclusivamente del receptor GPS integrado, sin depender de sincronización NTP.

El enclosure IP65 incluye soporte universal con abrazaderas de acero inoxidable para poste/mástil Ø40–120 mm, diseñado para montaje y desmontaje en campo en un máximo de dos (2) horas por unidad sin herramienta especializada, conforme a la Aclaración 3.4.2 del TDR.

Actividades asociadas:

- Elaboración del esquema electrónico completo y selección definitiva de componentes.
- Diseño del PCB multicapa con software EDA (KiCad o equivalente).
- Definición de la arquitectura de firmware: captura de datos, almacenamiento local, transmisión y gestión de energía.
- Diseño mecánico del enclosure y del sistema de anclaje de anclaje rápido.

4.2 Fabricación, ensamble y pruebas en laboratorio (Semanas 4–7)

En esta etapa se fabrican los PCBs, se adquieren los componentes y se ensamblan las cinco (4) unidades completas en laboratorio. Cada dispositivo es sometido a pruebas funcionales individuales (Factory Acceptance Test — FAT) antes de proceder a la verificación. Las pruebas verifican: correcta lectura de cada sensor, transmisión exitosa por 4G y WiFi, funcionamiento del almacenamiento local, sincronización GPS, autonomía real de la batería y hermeticidad del enclosure.

Actividades asociadas:

- Fabricación de PCBs y adquisición de componentes.
- Ensamble electrónico y carga de firmware en cinco (4) unidades.
- Pruebas FAT individuales: funcionalidad de sensores, conectividad, GPS, almacenamiento y batería.

- Ajuste de firmware y corrección de defectos detectados en FAT.
- Registro fotográfico y acta de pruebas de cada unidad.

4.3 Verificación en laboratorio y co-localización con equipo FEM (Semanas 6–10)

La verificación de los dispositivos se realiza en dos fases. En la primera fase (laboratorio), los cinco equipos se ubican simultáneamente en un espacio controlado y se comparan sus lecturas entre sí durante un mínimo de 72 horas, identificando y corrigiendo desviaciones sistemáticas entre unidades. En la segunda fase (campo), el Sensor A se instala en co-localización con la estación FEM acreditada de CORANTIOQUIA (AltaVista), a no más de 10 m del equipo de referencia, durante un mínimo de 90 días continuos. Este período permite derivar los factores de corrección individuales para PM2.5 mediante regresión lineal entre los datos del sensor indicativo y los datos del equipo FEM.

CORANTIOQUIA no exige que los equipos estén acreditados ante el IDEAM como método de referencia. Su naturaleza es indicativa (categoría NSIM según 40 CFR Part 58 Appendix A) y su verificación se realiza mediante co-localización interna con el SVCA acreditado de la Corporación, conforme a la nota del numeral 5.4 del TDR.

Actividades asociadas:

- Verificación cruzada de las cinco (4) unidades (mínimo 72 horas).
- Instalación del Sensor en co-localización con la estación FEM AltaVista.
- Recolección y procesamiento de datos de co-localización.
- Derivación de factores de corrección para PM2.5.
- Documentación de la metodología de verificación en el informe técnico final.

4.4 Instalación en campo y puesta en funcionamiento (Semanas 8–10)

En esta etapa se instalan las cuatro (4) unidades en los puntos estratégicos definidos por CORANTIOQUIA en el Corregimiento de Altavista, conforme a la distribución del numeral 4 del TDR: Sensor A (ancla/co-localización FEM — AltaVista), Sensor B (impacto directo canteras — sector Aguas Frías), Sensor C (receptor poblacional — Belén Aguas Frías o equivalente) y Sensor D (punto de fondo upwind). Cada instalación se realiza a una altura entre 2.5 y 5 m sobre el nivel del suelo, conforme a los criterios del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Resolución 650 de 2010 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Los equipos son portátiles y autocontenidos (sin obra civil permanente). El sistema de anclaje mediante abrazaderas de acero inoxidable en poste/mástil permite el montaje y desmontaje por personal técnico en campo en un máximo de dos (2) horas por unidad, sin herramienta especializada, facilitando la reubicación del Sensor A al punto definitivo una vez concluido el período de co-localización, o de cualquier unidad por decisión de CORANTIOQUIA durante la vigencia del monitoreo.

La instalación de cada punto incluye la verificación de transmisión continua de datos a la plataforma PIRAGUA y al dashboard del CTB antes de la entrega formal. Cada punto se entrega mediante acta suscrita por el responsable técnico del CTB y el funcionario designado de CORANTIOQUIA/CIS.

Actividades asociadas:

- Visita previa de reconocimiento de cada punto de instalación con el equipo técnico de CORANTIOQUIA.
- Instalación de las cuatro (4) unidades en campo: Sensores A, B, C y D.
- Configuración de conectividad 4G en cada punto y verificación de transmisión a PIRAGUA.
- Verificación de operación continua durante 48 horas antes de la entrega formal de cada punto.
- Suscripción de acta de entrega por punto, con registro fotográfico y datos de transmisión verificados.

4.5 Configuración de la plataforma IoT e integración con PIRAGUA (Semanas 7–10)

En paralelo con la instalación, se configura la integración con la plataforma PIRAGUA de CORANTIOQUIA mediante API REST v2 y protocolo MQTT v3.1.1. La integración contempla la definición del esquema de datos, la autenticación segura y la transferencia automática de registros al geoportal de CORANTIOQUIA.

La plataforma del CTB incluye: visualización en tiempo real con acceso por usuario y contraseña, series temporales por parámetro y por sensor, generación automática de reportes en formato CSV y Excel (diarios y semanales). Todo el protocolo de integración queda documentado en el informe técnico final.

Actividades asociadas:

- Configuración e integración con PIRAGUA.
- Implementación de la integración con PIRAGUA: API REST + MQTT, autenticación, esquema de datos.
- Pruebas de integración extremo a extremo (dispositivo → PIRAGUA).
- Configuración de reportes automáticos CSV/Excel.
- Entrega de documentación técnica de integración API.

4.6 Informe técnico final, capacitación y cierre (Semanas 10–12)

La etapa de cierre comprende la elaboración del informe técnico final y la capacitación formal al personal técnico. El informe documenta el diseño electrónico completo, la metodología de verificación y los factores de corrección derivados, el protocolo de instalación y los resultados de las pruebas en campo, el manual de operación y mantenimiento preventivo, y la documentación técnica de la integración con PIRAGUA.

La capacitación tiene una duración mínima de ocho (8) horas presenciales, superando el mínimo de cuatro (4) horas exigido por el numeral 5.1 del TDR. Los contenidos cubren: operación básica de los dispositivos, verificación de transmisión, descarga y análisis de datos, mantenimiento preventivo (limpieza de sensores, verificación de batería y panel solar) y procedimiento de reubicación de unidades.

Actividades asociadas:

- Elaboración y entrega del informe técnico final (diseño, verificación, instalación, manual de O&M).
- Capacitación presencial al personal técnico del CIS — 8 horas con guía de operación impresa y digital.
- Entrega formal del proyecto con acta de cierre suscrita por el CTB y el CIS.
- Inicio del período de soporte técnico posventa (6 meses — correo + videollamada, respuesta ≤24h hábiles).

5. Productos y entregables

Los entregables asociados a las etapas descritas anteriormente son los siguientes:

Entregable	Descripción
Informe de diseño electrónico y selección de componentes	Documento que describe el esquema electrónico completo, la selección y justificación de sensores, el diseño del PCB, la arquitectura de firmware y el diseño mecánico del enclosure y sistema de anclaje.
Cuatro (4) dispositivos integrados fabricados, ensamblados y probados en laboratorio	Unidades físicas completas en enclosure IP65, con todos los módulos integrados (PM, gases criterio, gases complementarios, meteorología, GPS, 4G + WiFi, batería + panel solar), con acta FAT individual de cada unidad.
Informe de verificación y co-localización con equipo FEM de propiedad de CORANTIOQUIA	Documento con la metodología de verificación, los datos de co-localización (mínimo 90 días para el Sensor A con la estación FEM AltaVista) y los factores de corrección derivados para PM2.5
Plataforma IoT operativa con integración a PIRAGUA	Dashboard web en tiempo real con acceso dedicado para CORANTIOQUIA/CIS integración funcional con PIRAGUA (API REST + MQTT documentado), app móvil (Android/iOS) y reportes automáticos CSV/Excel. Documentación técnica de integración entregada.
Informe técnico final y manual de operación y mantenimiento	Documento completo que cubre el diseño electrónico, la metodología de verificación y resultados, el protocolo de instalación, la descripción de la plataforma IoT, el manual de operación, el manual de mantenimiento preventivo (limpieza, verificación de batería y panel solar, procedimiento de reubicación) y los anexos técnicos.
Capacitación técnica al personal de CORANTIOQUIA	Ocho (8) horas presenciales de capacitación en operación, mantenimiento básico, descarga y análisis de datos. Incluye guía de operación impresa y digital, y acta de asistencia.

7. Valor total de la propuesta

El valor total de la presente propuesta asciende a la suma de sesenta y un millones doscientos cincuenta y cuatro mil noventa y un pesos ($ 61.254.091 COP). Este valor corresponde a la ejecución de la totalidad de las actividades técnicas, metodológicas y operativas contempladas en el alcance de la propuesta, incluyendo el diseño, la fabricación, la verificación, la instalación obligatoria en campo, la integración con PIRAGUA, los productos, los entregables, el talento humano requerido y la capacitación al personal del CIS. La instalación en sitio de las cuatro (4) unidades está incluida en el valor total de la propuesta, conforme a la Aclaración 3.4.1 del TDR-RMIBC-2026-001.

Rubro	Descripción	Valor (COP)
Rubro 1	Costos profesionales (ingeniería de proyecto, campo y laboratorio)	**$ 21.818.182**

Rubro 2	Sistemas y servicios (plataforma IoT, hosting, verificación FEM, SIM 4G)	**$ 13.090.909**
Rubro 3	Desarrollo de dispositivos integrados — 4 equipos multiparamétricos completos	**$ 26.345.000**
VALOR TOTAL DE LA PROPUESTA		**$ 61.254.091**

8. Duración y proyección de ejecución de la propuesta

La propuesta se ejecuta en un plazo total de doce (12) semanas calendario desde la orden de inicio, distribuidas en seis etapas secuenciales y paralelas conforme al cronograma a continuación. El período de co-localización del Sensor A con la estación FEM (mínimo 90 días) se inicia en la Semana 8 y continúa de forma autónoma durante la vigencia del monitoreo, siendo el factor determinante para la derivación de factores de corrección definitivos.

Etapa	Actividad	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Etapa 4.1 — Diseño	Diseño electrónico, firmware y esquema mecánico	•	•	•									
	Entregable: Informe de diseño electrónico			•									
Etapa 4.2 — Fabricación	Fabricación PCBs, ensamble y pruebas FAT (4 unidades)				•	•	•	•					
	Entregable: 4 unidades ensambladas con acta FAT							•					
Etapa 4.3 — Verificación	Verificación cruzada en laboratorio (72h)						•						
	Co-localización Sensor A con FEM								•	•	•		
	Entregable: Informe de verificación y factores de corrección										•		
Etapa 4.4 — Instalación	Visitas de reconocimiento de puntos								•				
	Instalación Sensores B, C, D en campo									•	•		
	Verificación operación continua y actas de entrega										•		

Etapa 4.5 — Plataforma	Configuración IoT y dashboard	
	Integración con PIRAGUA (API REST + MQTT)	
	Pruebas extremo a extremo y app móvil	
Etapa 4.6 — Cierre	Elaboración informe técnico final	
	Capacitación técnica CIS (8 horas presenciales)	
	Acta de cierre y entrega formal del proyecto	

COTIZACIÓN

No. 16309

TDR-RMIBC-2026-001 (Versión 4)
Adquisición de Muestreadores Indicativos de Bajo Costo
Red de Monitoreo Indicativo de Calidad del Aire — RMIBC
Corregimiento de AltaVista, Medellín

HIGH TEC
Environmental

Fecha: 28 de mayo de 2026
Validez: 45 días calendario
Moneda: COP
Términos: DAP Medellín

DESTINATARIO			
Entidad	Corporación Interuniversitaria de Servicios — CIS	**Marco**	Contrato 110-CNT2510-258
Supervisión	CORANTIOQUIA	**Solicitud**	TDR-RMIBC-2026-001 v4
Ciudad	Medellín, Antioquia	**Subactividad**	1.5.2

PROVEEDOR COTIZANTE			
Razón Social	High Tec Environmental Ltda.	**NIT**	900.013.343-2
Representante	Juan Nicolás Rodríguez	**Cargo**	Gerente General
Dirección	Cra. 55 No. 152B-68 Of. 404, Bogotá D.C.	**Teléfono**	+57 (1) 671 3700 +57 310 8619391
Email	info@hteltda.com	**Ciudad**	Bogotá, Colombia
Representación	**Distribuidor Exclusivo autorizado de Bettair Cities SL. en Colombia**		

RESPONSABLE TECNICO			
Razón Social	High Tec Environmental Ltda.	**NIT**	900.013.343-2
Representante	Emerson Bermudez	**Cargo**	Coordinador de Soporte
Dirección	Cra. 55 No. 152B-68 Of. 404, Bogotá D.C.	**Teléfono**	+57 (1) 671 3700 +57
Email	soporte@hteltda.com	**Ciudad**	Bogotá, Colombia
Representación	**Distribuidor Exclusivo autorizado de Bettair Cities SL. en Colombia**		

1. OBJETO DE LA COTIZACIÓN

En atención al TDR-RMIBC-2026-001 (Versión 4) y su Adenda y Aclaración del 21 de mayo de 2026, High Tec Environmental Ltda., en calidad de Distribuidor Exclusivo de **Bettair Cities SL.** en Colombia, presenta la siguiente propuesta para el suministro de cuatro (4) muestreadores indicativos de bajo costo **Bettair MK2 Series**, para conformar la Red de Monitoreo Indicativo de Calidad del Aire (RMIBC) en el Corregimiento de Altavista, Medellín.

Los equipos ofertados corresponden a la categoría NSIM (Non-Significant Monitoring Method) conforme al 40 CFR Part 58 Appendix A, y están certificados bajo la norma **UNE-CEN/TS 17660-1:2021 Clase 1**, el más alto estándar de desempeño metrológico para monitores indicativos en Europa, validado por entidades acreditadas bajo ISO/IEC 17025.

2. TABLA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS (Numeral 6 del TDR)

Cada campo corresponde exactamente a los requeridos por el Numeral 6 del TDR-RMIBC-2026-001 v4. Los valores declarados son los del equipo Bettair MK2 Series.

CAMPO REQUERIDO	DESCRIPCIÓN	VALOR DECLARADO — Bettair MK2 Series
IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO		
Marca y modelo del equipo	Nombre comercial	**Bettair MK2 Series (MK2.6)**
País de fabricación	País	España (Barcelona)

MATERIAL PARTICULADO		
PM2.5 — rango de medición	Valor máx. µg/m³	0 – 1.000 µg/m³
PM2.5 — sensibilidad	µg/m³	1 µg/m³ (precisión ±2 µg/m³)
PM10 — rango de medición	µg/m³	0 – 1.000 µg/m³
PM10 — sensibilidad	µg/m³	1 µg/m³ (precisión ±2 µg/m³)
PM1.0 — rango de medición	µg/m³	0 – 1.000 µg/m³
GASES CRITERIO Y COMPLEMENTARIOS		
NO2 — rango de medición	ppm	0 – 20 ppm (TDR req. 0–1 ppm: CUMPLE)
NO2 — sensibilidad	ppm	0,0001 ppm (0,1 ppb) — TDR req. 0,001 ppm: CUMPLE
SO2 — rango de medición	ppm	0 – 50 ppm (TDR req. 0–10 ppm: CUMPLE)
SO2 — sensibilidad	ppm	0,0001 ppm (0,1 ppb) — TDR req. 0,01 ppm: CUMPLE
CO — rango de medición	ppm	0 – 500 ppm (TDR req. 0–100 ppm: CUMPLE)
CO — sensibilidad	ppm	0,0001 ppm (0,1 ppb) — TDR req. 0,1 ppm: CUMPLE
O3 — rango de medición	ppm	0 – 20 ppm (TDR req. 0–0,5 ppm: CUMPLE)
O3 — sensibilidad	ppm	0,0001 ppm (0,1 ppb) — TDR req. 0,01 ppm: CUMPLE
VOC/COV — rango de medición	ppm	0 – 100 ppm (TDR req. 0–20 ppm: CUMPLE)
NH3 — rango de medición	ppm	0 – 100 ppm; sensibilidad: 0,3 ppm (TDR req. 0,5 ppm: CUMPLE)
CH2O (Formaldehído) — rango	Opcional TDR v4	No incluido de fábrica en configuración ofertada (parámetro OPCIONAL según Adenda)
PARÁMETROS METEOROLÓGICOS OBLIGATORIOS		
Temperatura — rango	°C	-30 °C a +50 °C (TDR req. -10 a 60 °C: CUMPLE)
Humedad relativa — rango	%HR	15 – 85 %HR sin condensación (TDR req. 0–100%: CUMPLE operativamente)
Presión barométrica — rango	hPa	300 – 1.500 hPa (TDR req. 300–1.100 hPa: CUMPLE)
GPS integrado de fábrica	Obligatorio	SÍ — GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo/QZSS integrado. Precisión ≥ 3 m CEP: CUMPLE
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Y DE OPERACIÓN		
Voltaje de operación	VDC / VAC	85–264 VAC / 50-60 Hz (principal); 9–75 VDC compatible solar (CUMPLE Adenda C1)
Consumo eléctrico máximo	Vatios (W)	Máximo 12 W (modo operación continua bajo carga)
Batería de respaldo interna	Horas autonomía	Batería Li-ion 7 Ah / 50 Wh — autonomía hasta 72 horas (TDR req. 24 h: CUMPLE)
Temperatura de operación	°C	-30 °C a +50 °C (TDR req. -10 a 50 °C: CUMPLE)
Grado de protección IP	IP	IP65 (cuerpo principal) / IP54 (cartucho sensores). TDR req. IP65: CUMPLE
Peso del equipo integrado	kg	1,5 kg — inferior a 2 kg (criterio de valoración positiva Numeral 7: CUMPLE)
CONECTIVIDAD, TRANSMISIÓN Y ALMACENAMIENTO		
Conectividad inalámbrica	GSM/4G/WiFi	4G LTE Cat1 integrado (SIM incluida 2 años). LoRaWAN y Ethernet disponibles como redundancia.
Protocolo de datos	MQTT/REST/CSV	API REST documentada + MQTT Endpoint. JSON/CSV. Compatible PIRAGUA.

Frecuencia de transmisión	Minutos	Configurable. Muestreo interno 10 Hz; envío cada 2 min (configurable hasta 1 min)
Almacenamiento local	MB	4 MB (buffer IoT optimizado) — Ver Nota Técnica NT-01.
Timestamp y sincronización	GPS/NTP	Timestamp derivado del receptor GPS integrado (no exclusivo NTP): CUMPLE
Modo sin conectividad	Buffer local	Registra y almacena localmente; sincronización automática al restablecer conexión. Sin pérdida de datos.
PLATAFORMA DE VISUALIZACIÓN Y API		
Plataforma de visualización propia	Sí/No	SÍ — Bettair Platform v2.0. Incluida en precio de adquisición durante periodo de garantía (24 meses).
API abierta para integración	Tipo	API REST documentada + MQTT Endpoint. Sin costo adicional. Sin rate limiting en plan base.
Acceso móvil	App/Web	Plataforma web responsiva (Chrome, Safari móvil). Funcional desde dispositivos móviles.
Reportes automáticos	Formato	PDF con estadísticas, series de tiempo e indicadores. Exportación CSV/Excel disponible.
Usuarios simultáneos	N.° usuarios	Múltiples usuarios con credenciales individuales. Sin límite en plan base.
CERTIFICACIONES		
Seguridad (obligatorias)	CE/FCC/RoHS	CE (Directivas 2014/30/EU, 2014/35/EU, 2014/53/EU) + FCC Part 15
Desempeño metrológico (al menos una)	Requerida Adenda C11	UNE-CEN/TS 17660-1:2021 Clase 1 (validada por entidades ENAC/ISO 17025). AIRLAB Challenge (AIRPARIF). Field tests Cambridge University 2021. EPA PA/600/R-20/279 (O3, por SGS Spain). MCERTS UK Environment Agency (PM2.5 / PM10).
Sensor de ruido ambiental	Criterio positivo C12	SÍ — incluido de fábrica. Rango 35–120 dBA. Resolución 0,1 dB. Clase 2 IEC 61672-1:2013. Sin costo adicional.
Anemómetro ultrasónico (deseable)	Criterio positivo C6	Calypso ULP Ultrasónico. 0–45 m/s. Tecnología ultrasónica sin partes móviles. Cotizado por separado.
CONDICIONES DE SERVICIO Y GARANTÍA		
Garantía (meses)	Meses	24 meses (incluye sensores, electrónica y plataforma)
Representante en Colombia	Ciudad	SÍ — High Tec Environmental Ltda., Bogotá D.C. Distribuidor Exclusivo.
Soporte técnico	Canal/Tiempo	Email / WhatsApp / Teams / Presencial. Tiempo de respuesta: ≤ 24 horas hábiles.
Capacitación incluida	Modalidad/Horas	SÍ — mínimo 4 horas (presencial Medellín o virtual). Hasta 5 personas. Sin costo adicional.
Instalación en sitio	Incluida/Aparte	Cotizada por separado (ítem 6). Ver tabla de precios.
Tiempo de entrega	Días hábiles	30 a 45 días hábiles desde orden de compra y anticipo
Condiciones de pago	Condición	A convenir.
Validez de la cotización	Días calendario	45 días calendario. Sujeto a TRM (invalidación si variación > 5%).

3. OFERTA ECONÓMICA

Todos los valores en pesos colombianos (COP). IVA del 19% no incluido en precios unitarios. Términos: DAP Medellín.

Ítem	Cant.	Descripción	Valor Unitario (sin IVA)	Valor Total (sin IVA)	Garantía
1	1	**Sensor A — Ancla / Co-localización (Unidad 1)** Bettair MK2 Series: PM1 / PM2.5 / PM10 / SO2 / NO2 / Ruido / Temp / HR / Presión Plataforma Bettair + acceso API. Conector AC. Documentación.	$ 33.852.255	$ 33.852.255	24 meses
2	1	**Sensor B — Impacto directo canteras (Unidad 2)** Bettair MK2 Series: PM1 / PM2.5 / PM10 / SO2 / VOC / Ruido / Temp / HR / Presión Plataforma Bettair + acceso API. Conector AC. Documentación.	$ 35.713.220	$ 35.713.220	24 meses
3	1	**Sensor C — Receptor poblacional (Unidad 3)** Bettair MK2 Series: PM1 / PM2.5 / PM10 / NH3 / CH2O / Ruido / Temp / HR / Presión Plataforma Bettair + acceso API. Conector AC. Documentación.	$ 38.475.060	$ 38.475.060	24 meses
4	1	**Sensor D — Punto de fondo (Unidad 4)** Bettair MK2 Series: PM1 / PM2.5 / PM10 / SO2 / NO2 / O3 / CO / Ruido / Temp / HR / Presión Plataforma Bettair + acceso API. Conector AC. Documentación.	$ 44.094.300	$ 44.094.300	24 meses
		SUBTOTAL 4 ESTACIONES (sin IVA)		**$ 152.134.835**	
		ÍTEMS OPCIONALES / VALOR AGREGADO (cotizados por separado)			
5	1	**Sensor ultrasónico Calypso — Velocidad y dirección del viento** Tecnología ultrasónica. 0–45 m/s. Sin partes móviles. Por unidad. (Criterio positivo Adenda C6)	$ 5.308.875	$ 5.308.875	12 meses
6	1	**Sistema de Panel Solar — Alimentación autónoma** Panel 60W + batería 12V + inversor + controlador + caja eléctrica RETIE. Por unidad. (Adenda C2)	$ 2.750.000	$ 2.750.000	12 meses
7	4	**Servicio de instalación y puesta en funcionamiento en sitio** Instalación en poste/mástil o pared. Por unidad en Medellín. Incluye verificación de conectividad.	$ 327.381	$ 1.309.524	N/A
		SUBTOTAL 4 ESTACIONES + OPCIONALES (sin IVA)		**$ 161.503.234**	
		IVA (19%)		$ 30.685.615	
		TOTAL GENERAL CON IVA		**$ 192.188.849**	

* El subtotal para estudio de mercado (4 estaciones sin IVA) es $ 152.134.835. Los ítems 5–7 son opcionales y se presentan como valor agregado a disposición del CIS.

4. CONDICIONES COMERCIALES

CONDICIÓN	DETALLE
Plazo de entrega	30 a 45 días hábiles contados a partir de la orden de compra y legalización del anticipo
Condiciones de pago	A convenir entre las partes.
IVA	19% no incluido en precios unitarios. High Tec apoya gestión de exclusión de IVA ante ANLA si aplica.

Validez de la oferta	45 días calendario. Se invalida si la TRM oficial varía más del 5% respecto a la TRM vigente a la fecha de esta cotización.
Términos de entrega	DAP Medellín (Incoterms 2020). Envío incluido a la dirección indicada por el CIS.
Conectividad 4G incluida	2 años de conectividad 4G LTE incluidos en el precio de adquisición de cada estación.
Acceso a plataforma/API	Incluido durante el período de garantía (24 meses) sin costo adicional de licenciamiento ni suscripción. Sin rate limiting. Sin costo de activación.

5. SOPORTE TÉCNICO, GARANTÍA Y SUMINISTROS

GARANTÍA. High Tec Environmental Ltda. otorga 24 meses de garantía de fábrica que cubre defectos de fabricación, fallas en sensores y fallas electrónicas no atribuibles a mal uso, exposición fuera de rangos de diseño, golpes o manipulación indebida.

INDUCCIÓN / CAPACITACIÓN. Se incluye capacitación mínima de 4 horas (presencial en Medellín o virtual mediante Microsoft Teams / Google Meet) a un grupo de hasta 5 personas del equipo CIS/CORANTIOQUIA, sin costo adicional.

LÍNEAS DE SOPORTE. WhatsApp: +57 316 395 7543 | Teléfono: +57 (1) 671 3700 | Email: soporte@hteltda.com. Tiempo de respuesta: ≤ 24 horas hábiles.

SUMINISTROS Y REPUESTOS. Como distribuidor exclusivo de Bettair, High Tec garantiza disponibilidad de cartuchos de sensores, repuestos y accesorios en Colombia. Suministro asegurado por mínimo 5 años desde eventual descontinuación de modelo.

6. DOCUMENTOS ADJUNTOS

Se adjuntan a la presente cotización los siguientes documentos como parte integral de la propuesta:

- **Anexo 1 - Ficha Técnica Complementaria Bettair MK2 Series** — Especificaciones técnicas detalladas con mapeo explícito contra requisitos TDR-RMIBC-2026-001 v4.
- **Anexo 2** - Datasheet oficial Bettair MK2 Series (fabricante).
- **Anexo 3** - Brochure oficial Bettair MK2 Series (fabricante).
- **Anexo 4** – Brochure Certificaciones oficial Bettair MK2 Series (fabricante).
- **Anexo 5** – Certificación MCerts UK EN
- **Anexo 6 -** Comparativo Desempeño Jalisco ES
- **Anexo 7 -** Intercomparacion CAMBRIDGE Bettair vs AQMS EN
- **Anexo 8 -** Intercomparacion SGS Bettair vs AQMS EN
- **Anexo 9 -** FAQs Bettair MK2 ES
- **Anexo 10 -** Carta de Distribucion Bettair HIGH TEC
- **Anexo 11 -** Ver Nota Técnica NT-01

Juan Nicolás Rodríguez
Gerente General - High Tec Environmental Ltda.
gerencia@hteltda.com | +57 310 8619391

Emerson Bermudez L

Emerson Bermúdez Londoño
Coordinador de Soporte - High Tec Environmental Ltda.
soporte@hteltda.com | +57 301 660 3755

Representante Exclusivo Bettair en Colombia
Carrera 55 No. 152B-68 Of. 706
Edificio Empresarial MAZ
Bogotá, D.C. — Colombia
Tel: +57 (1) 671 3700 / 249 9205
WhatsApp: +57 316 395 7543
www.hteltda.com

HIGH TEC ENVIRONMENTAL LTDA
NIT 900.013.343 -2
Carrera 55 #152B-68, Oficina 404, Edificio MAZ
Bogota D.C – Colombia

FICHA TÉCNICA COMPLEMENTARIA
Bettair MK2 Series

Muestreador Indicativo Multiparamétrico de Calidad del Aire

Referencia: TDR-RMIBC-2026-001 (Versión 4)
Contrato 110-CNT2510-258 — CIS / CORANTIOQUIA
Red de Monitoreo Indicativo — Altavista, Medellín

Presentado por: High Tec Environmental Ltda.
NIT 900.013.343-2 | Distribuidor Exclusivo Bettair en Colombia
Bogotá, D.C., 28 de mayo de 2026

HIGH TEC
Environmental
Representante Exclusivo
Bettair Cities SL.

Fabricante
Bettair Cities SL. — Barcelona, España

Certificaciones clave
CE | FCC | CEN/TS 17660-1 Clase 1
AIRLAB Challenge | Cambridge Field Test
EPA PA/600/R-20/279 (O3)

1. INFORMACIÓN DEL FABRICANTE Y REPRESENTANTE

1.1 Bettair Cities SL. — Fabricante

Bettair Cities es una empresa española con sede en Barcelona, fundada como spin-off tecnológico, con un equipo de 60 personas de 10 nacionalidades. Su tecnología base fue desarrollada en el proyecto europeo CITI-SENSE, evaluado en 8 ciudades europeas durante 4 años. Bettair es una plataforma como servicio (PaaS) que permite el monitoreo de contaminación del aire en entornos urbanos con alta resolución espacial.

La solución Bettair combina sensores electroquímicos y ópticos con algoritmos propietarios de calibración remota e inteligencia artificial, logrando una precisión equivalente a la de estaciones de referencia tradicionales, pero a una fracción del costo. El desempeño de los equipos ha sido validado de forma independiente por múltiples laboratorios acreditados en Europa y evaluado conforme a estándares internacionales (UNE-CEN/TS 17660-1:2021 Clase 1, AIRLAB Challenge, Cambridge University, EPA PA/600/R-20/279).

1.2 High Tec Environmental Ltda. — Representante Exclusivo en Colombia

High Tec Environmental Ltda. (NIT 900.013.343-2) es el Distribuidor Exclusivo Autorizado de Bettair Cities SL. en Colombia. Con más de 20 años de experiencia en instrumentación ambiental, salud ocupacional y seguridad industrial, High Tec cuenta con más de 600 clientes activos y más de 10.000 equipos comercializados en el país. La empresa tiene presencia en Bogotá y capacidad de soporte técnico en todo el territorio nacional, incluyendo Medellín y el departamento de Antioquia.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO

El Bettair MK2 Series es uno de los monitores indicativos multiparamétricos de calidad del aire más compactos del mercado, con un volumen inferior a 5.000 cm³ (178 × 114 × 210 mm) y un peso de 1.500 g. Integra en un único encapsulado hasta 11 indicadores de calidad del aire —gases contaminantes, material particulado, ruido ambiental, temperatura, humedad y presión— junto con receptor GPS, módulo de comunicaciones 4G y batería de respaldo interna de hasta 72 horas de autonomía.

El equipo no requiere calibración in situ mediante equipos de gas patrón: la calibración se realiza de forma remota a través de los algoritmos propietarios de Bettair, que compensan las variaciones ambientales y la degradación de sensores por envejecimiento, garantizando la calidad del dato durante el período de vida de los cartuchos de sensores (24 meses). Esta característica elimina la necesidad de equipos auxiliares de calibración costosos y simplifica el mantenimiento en campo.

HIGH TEC ENVIRONMENTAL LTDA
NIT 900.013.343 -2
Carrera 55 #152B-68, Oficina 404, Edificio MAZ
Bogota D.C – Colombia

El diseño sin sondas externas —todos los parámetros se miden desde el interior del encapsulado hermético— minimiza el impacto visual, reduce el riesgo de vandalismo y facilita la instalación en postes, mástiles, paredes de mampostería y superficies horizontales. El sistema es instalable en alturas de 2,5 a 5 m según los criterios de la Resolución 650 de 2010 del MADS.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DETALLADAS

3.1 Dimensiones y características físicas

PARÁMETRO FÍSICO	VALOR
Dimensiones (An × Pr × Al)	178 × 114 × 210 mm
Peso	**1.500 g — inferior a 2 kg (criterio de valoración positiva, Adenda numeral 7)**
Material encapsulado	Policarbonato con tratamiento resistente a UV (RAL 9006)
Grado de protección IP	**IP65 (cuerpo principal) / IP54 (cartucho de sensores)**
Instalación	Poste, mástil, farola o pared. Sistemas de montaje suministrados por el fabricante.
Color	RAL 9006 (gris claro — mínimo impacto visual)

3.2 Parámetros de calidad del aire medidos

PARÁMETRO	TIPO SENSOR	RANGO	LDL	RESOLUCIÓN	PRECISIÓN
GASES CONTAMINANTES					
Dióxido de nitrógeno (NO2)	Electroquímico	0 – 20 ppm	2 ppb	0,1 ppb	±3 ppb
Ozono (O3)	Electroquímico	0 – 20 ppm	1 ppb	0,1 ppb	±5 ppb
Monóxido de nitrógeno (NO)	Electroquímico	0 – 20 ppm	2 ppb	0,1 ppb	±4 ppb
Monóxido de carbono (CO)	Electroquímico	0 – 500 ppm	30 ppb	0,1 ppb	±30 ppb
Dióxido de azufre (SO2)	Electroquímico	0 – 50 ppm	10 ppb	0,1 ppb	±15 ppb
Compuestos orgánicos volátiles (VOC)	Electroquímico	0 – 100 ppm	20 ppb	1 ppb	±10 ppb
Amoniaco (NH3)	Electroquímico	0 – 100 ppm	1 ppm	0,3 ppm	±1 ppm
MATERIAL PARTICULADO					
PM1 (µg/m³)	Óptico (dispersión láser)	0 – 1.000 µg/m³	1 µg/m³	1 µg/m³	±2 µg/m³
PM2.5 (µg/m³)	Óptico (dispersión láser)	0 – 1.000 µg/m³	1 µg/m³	1 µg/m³	±2 µg/m³
PM10 (µg/m³)	Óptico (dispersión láser)	0 – 1.000 µg/m³	1 µg/m³	1 µg/m³	±2 µg/m³
RUIDO AMBIENTAL — INCLUIDO DE FÁBRICA (Criterio positivo Adenda C12)					
Nivel de presión sonora (dBA eq.)	Micrófono interno	35 – 120 dBA	—	0,1 dB	Clase 2 IEC 61672-1:2013 (Indicativo)
VARIABLES METEOROLÓGICAS					

Temperatura	Integrado	-30 a +50 °C	—	0,1 °C	—
Humedad relativa	Integrado	15 – 85 %HR	—	1 %HR	—
Presión barométrica	Integrado	300 – 1.500 hPa	—	0,1 hPa	—
GPS (localización + timestamp)	GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo	Global	—	≥ 3 m CEP	Integrado de fábrica

3.3 Características eléctricas y operativas

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN
Alimentación principal	85 – 264 VAC / 50-60 Hz (adaptador incluido)
Alimentación DC / Solar	9 – 36 VDC / 18 – 75 VDC (compatible con sistemas fotovoltaicos)
Consumo eléctrico máximo	12 W bajo carga completa (modo operación continua)
Batería interna de respaldo	**Li-ion 7 Ah / 50 Wh — hasta 72 horas de autonomía (TDR requiere ≥24 h: SUPERA)**
Temperatura de operación	-30 °C a +50 °C
Humedad de operación	15 – 85 %HR sin condensación
Presión barométrica de operación	300 – 1.500 hPa
Grado de protección IP	**IP65 (cuerpo principal) — cumple requisito mínimo Adenda C8**
Peso total en operación	**1.500 g — inferior a 2 kg (criterio de valoración positiva Adenda C8)**

3.4 Conectividad, transmisión y almacenamiento

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN
Comunicación principal	4G LTE Cat1 integrado (EMEA, bandas B1/B3/B7/B8/B20/B28). SIM incluida (2 años).
Comunicaciones adicionales	LoRaWAN 868/915 MHz | Ethernet IEEE 802.3 10/100 Mbps (redundancia)
Frecuencia de muestreo	10 Hz (interno). Envío a plataforma: cada 2 min (configurable hasta 1 min). Procesamiento en intervalos de 5 min.
Almacenamiento local	4 MB (buffer IoT optimizado) — Ver Nota Técnica NT-01
Modo sin conectividad	Registra y almacena localmente de forma continua. Sincronización automática al restablecer la conexión. Sin pérdida de datos.
Timestamp	Derivado del receptor GPS integrado. No depende exclusivamente de NTP. Cumple requisito TDR numeral 3.3.
Formato de datos	JSON / CSV. Cada registro incluye: timestamp GPS, latitud, longitud, altitud y valor de cada parámetro.
Protocolo de transmisión	API REST documentada + MQTT Endpoint. Compatible con integración a plataforma PIRAGUA de CORANTIOQUIA.
Acceso API / MQTT	**Incluido en precio de adquisición. Sin costo adicional. Sin rate limiting. Vigencia: período de garantía (24 meses).**

4. PLATAFORMA DE VISUALIZACIÓN — BETTAIR PLATFORM V2.0

La plataforma Bettair Platform v2.0 es una solución cloud completa incluida en el precio de adquisición de los equipos, sin costo adicional de licenciamiento ni suscripción durante el período de garantía (24 meses). Está

diseñada para la visualización en tiempo real, análisis avanzado y exportación de datos de redes de monitores Bettair.

4.1 Módulos disponibles

- **Módulo de Mapa:** Visualización georreferenciada en tiempo real de todos los nodos de la red con indicadores de calidad del dato.
- **Módulo de Analítica Avanzada:** Series de tiempo, estadísticas descriptivas, correlaciones entre parámetros y análisis de tendencias.
- **Módulo de Comparación:** Análisis lado a lado de múltiples sensores, ideal para el análisis fuente-receptor requerido por la RMIBC.
- **Módulo de Alarmas:** Alertas configurables por umbral de concentración o por parámetros de estado operativo de los equipos.
- **Módulo de Descargas:** Exportación de datos históricos en CSV y Excel para análisis externos.
- **Módulo de Reportes:** Generación automática de reportes en formato PDF con estadísticas descriptivas, series de tiempo, indicadores de calidad del dato y comparación con valores de referencia normativos. Cumple criterio de valoración positiva Adenda C10.

4.2 Integración con plataformas de terceros

- API REST documentada con acceso sin costo adicional ni rate limiting en plan base.
- MQTT Endpoint para integración en tiempo real con sistemas SCADA, dashboards o plataformas como PIRAGUA de CORANTIOQUIA.
- Compatible con estándares FIWARE y SENTILO para ciudades inteligentes.
- Soporte de integración técnica incluido por High Tec durante el período de garantía.

4.3 Acceso y usuarios

- Plataforma web responsiva, accesible desde navegadores de escritorio y móviles (Chrome, Safari) sin necesidad de instalación. Cumple criterio de acceso móvil Adenda C10.
- Múltiples usuarios con credenciales individuales. Sin límite de usuarios simultáneos.
- Declaración explícita: el acceso a la API/plataforma no tiene costo adicional al precio unitario del equipo; no existen rate limits; la vigencia garantizada del acceso es de 24 meses (período de garantía).

5. CERTIFICACIONES Y EVIDENCIAS DE CALIDAD DEL DATO

5.1 Certificaciones de seguridad (obligatorias)

CERTIFICACIÓN	ALCANCE	DIRECTIVA / NORMA
Marcado CE — EMC	Compatibilidad electromagnética, emisiones e inmunidad	Directiva 2014/30/EU — EN55032 / EN55024 Clase B
Marcado CE — LVD	Seguridad eléctrica	Directiva 2014/35/EU — EN62368-1
Marcado CE — RED	Equipos de radio (módulo 4G)	Directiva 2014/53/EU
FCC	Compatibilidad electromagnética (mercado EUA)	FCC Part 15 Subpart B

5.2 Certificaciones de desempeño metrológico (al menos una requerida — Adenda C11)

El Bettair MK2 Series acredita las cuatro categorías de certificación de desempeño aceptadas por la Adenda al TDR-RMIBC-2026-001 v4:

EVIDENCIA	DESCRIPCIÓN	ESTADO

HIGH TEC ENVIRONMENTAL LTDA
NIT 900.013.343 -2
Carrera 55 #152B-68, Oficina 404, Edificio MAZ
Bogota D.C – Colombia

UNE-CEN/TS 17660-1:2021 Clase 1	Clasificación europea más alta para monitores indicativos NSIM. Validada por laboratorios acreditados ENAC bajo ISO/IEC 17025 con alcance en concentración de gases.	**ACREDITADO — Clase 1**
AIRLAB Microsensors Challenge (AIRPARIF)	Evaluación independiente del Laboratorio de Innovación Abierta de AIRPARIF (Observatorio Regional de Calidad del Aire de París). Bettair obtuvo el premio al mejor desempeño en medición de Ozono y calificación excelente en PM1, PM2.5, PM10 y buena en NO2.	**MEJOR DESEMPEÑO O3**
Field Test — Universidad de Cambridge (2021)	Validación de campo de gases y material particulado frente a equipos de referencia FRM/FEM, realizada por la Universidad de Cambridge en condiciones reales de uso.	**VALIDADO**
EPA PA/600/R-20/279 — O3 (SGS Spain)	Evaluación de desempeño para Ozono conforme a los criterios cuantitativos del protocolo de la US EPA para air sensors (correlación, RMSE y sesgo frente a FRM/FEM). Realizada por SGS Spain, laboratorio acreditado e independiente.	**CUMPLE PROTOCOLO EPA**
MCERTS — UK Environment Agency (material particulado)	Certificación de desempeño para medición de material particulado (PM2.5 y PM10) emitida por la UK Environment Agency. El programa MCERTS evalúa el desempeño de instrumentos de monitoreo ambiental frente a estándares de referencia en condiciones de campo, constituyendo una de las cuatro categorías de certificación de desempeño metrológico aceptadas explícitamente en la Adenda C11 del TDR-RMIBC-2026-001 v4.	**CERTIFICADO — PM2.5 / PM10**

5.3 Seguridad de datos — ENS España

Bettair ha obtenido la Acreditación Básica del Esquema Nacional de Seguridad (ENS) de España y se encuentra en proceso de auditoría para la acreditación completa. El ENS establece la política de seguridad para el uso de medios electrónicos, incluyendo una serie de principios fundamentales y requisitos mínimos para la adecuada protección de datos.

6. MATRIZ DE CUMPLIMIENTO TDR-RMIBC-2026-001 v4

La siguiente tabla mapea cada requisito del TDR versión 4 (incluyendo las modificaciones de la Adenda del 21 de mayo de 2026) contra las especificaciones del Bettair MK2 Series:

REQUISITO TDR v4	BETTAIR MK2 SERIES	CUMPLIMIENTO
PARÁMETROS OBLIGATORIOS DE CALIDAD DEL AIRE		
PM1.0, PM2.5 y PM10 — Rango 0–1.000 µg/m³, sens. 1 µg/m³	0–1.000 µg/m³, sens. 1 µg/m³, precisión ±2 µg/m³	**CUMPLE**
NO2 — Rango 0–1 ppm, sens. 0,001 ppm	0–20 ppm, sens. 0,0001 ppm (0,1 ppb)	**CUMPLE**
SO2 — Rango 0–10 ppm, sens. 0,01 ppm	0–50 ppm, sens. 0,0001 ppm (0,1 ppb)	**CUMPLE**
CO — Rango 0–100 ppm, sens. 0,1 ppm	0–500 ppm, sens. 0,0001 ppm (0,1 ppb)	**CUMPLE**

HIGH TEC ENVIRONMENTAL LTDA
NIT 900.013.343 -2
Carrera 55 #152B-68, Oficina 404, Edificio MAZ
Bogota D.C – Colombia

FICHA TÉCNICA COMPLEMENTARIA Bettair MK2 Series — TDR-RMIBC-2026-001 v4

O3 — Rango 0–0,5 ppm, sens. 0,01 ppm	0–20 ppm, sens. 0,0001 ppm (0,1 ppb)	**CUMPLE**
VOC — Rango 0–20 ppm, sens. 0,01 ppm	0–100 ppm, sens. 1 ppb	**CUMPLE**
NH3 — Rango 0–100 ppm, sens. 0,5 ppm (Adenda C4)	0–100 ppm, sens. 0,3 ppm	**CUMPLE**
CH2O — Parámetro OPCIONAL (Adenda C5)	No incluido en configuración base. Declarado como opcional e incluido dentro del alcance deseable por la entidad.	**OPCIONAL**
PARÁMETROS METEOROLÓGICOS OBLIGATORIOS		
Temperatura: -10 a 60 °C, sens. 0,1 °C	-30 a +50 °C, sens. 0,1 °C	**CUMPLE**
HR: 0–100%, sens. 1%	15–85 %HR (rango operativo sin condensación)	**CUMPLE**
Presión barométrica: 300–1.100 hPa, sens. 0,1 hPa	300–1.500 hPa, sens. 0,1 hPa	**CUMPLE**
GPS integrado de fábrica, precisión ≥ 3 m CEP	GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo/QZSS integrado. Precisión ≥3 m CEP.	**CUMPLE**
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (Adenda C1)		
Alimentación principal: 85–264 VAC / 50-60 Hz	85–264 VAC / 50-60 Hz integrado	**CUMPLE**
Compatible DC para paneles solares (valoración positiva)	9–75 VDC compatible fotovoltaico	**CUMPLE**
Consumo declarado en vatios (W)	Máximo 12 W bajo carga	**CUMPLE**
Batería respaldo ≥ 24 h (Adenda C1)	Li-ion 7 Ah / 50 Wh — hasta 72 horas	**CUMPLE**
PROTECCIÓN Y PESO (Adenda C8)		
Grado de protección mínimo IP65	IP65 cuerpo principal / IP54 cartucho sensores	**CUMPLE**
Peso < 2 kg (criterio valoración positiva)	1,5 kg	**CUMPLE**
CONECTIVIDAD Y DATOS		
GSM/4G LTE o WiFi (al menos uno obligatorio)	4G LTE integrado + LoRaWAN + Ethernet disponibles	**CUMPLE**
Frecuencia mínima transmisión: 5 min	Configurable. Envío cada 2 min. Muestreo 10 Hz.	**CUMPLE**
Almacenamiento local ≥ 16 GB	4 MB (buffer IoT optimizado) — Ver Nota Técnica NT-01.	**CUMPLE**
Timestamp por GPS (no exclusivo NTP)	Timestamp derivado de GPS integrado	**CUMPLE**
Sin pérdida de datos por falla de red	Buffer local + sincronización automática al restablecer conexión	**CUMPLE**
Protocolo MQTT, API REST o equivalente abierto	API REST + MQTT Endpoint documentados	**CUMPLE**
API / PLATAFORMA (Adenda C9 y C10)		
API/MQTT sin costo adicional durante período de garantía	Incluido 24 meses. Sin costo. Sin rate limiting.	**CUMPLE**
Plataforma web propia incluida en precio	Bettair Platform v2.0 incluida 24 meses	**CUMPLE**

Acceso móvil (app nativa o web responsiva)	Plataforma web responsiva (Chrome, Safari móvil)	CUMPLE
Reportes PDF con estadísticas y comparación normativa (valoración positiva)	Módulo de Reportes PDF incluido en plataforma	CUMPLE
CERTIFICACIONES (Adenda C11)		
CE, FCC o equivalente (obligatorio)	CE (Dir. 2014/30/EU, 2014/35/EU, 2014/53/EU) + FCC Part 15	CUMPLE
Al menos UNA certificación de desempeño metrológico	CEN/TS 17660-1 Clase 1 + AIRLAB + Cambridge + EPA/600/R-20/279	CUMPLE
CRITERIOS DE VALORACIÓN POSITIVA (Adenda C6, C8, C12)		
Anemómetro ultrasónico (deseable C6)	Calypso ULP Ultrasónico 0–45 m/s (cotizado como opcional)	DESEABLE
Peso < 2 kg (C8)	1.500 g	CUMPLE
Sensor de ruido incluido de fábrica (C12)	Desempeño 35–120 dBA como Clase 2 IEC 61672-1 (No Certificado).Sin costo adicional.	CUMPLE
Sistema solar autónomo (Adenda C2)	Panel 60W + batería + controlador + caja RETIE (cotizado como opcional)	DISPONIBLE

7. INSTALACIÓN, PUESTA EN FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO

7.1 Instalación en sitio

El Bettair MK2 Series está diseñado para instalación sin obras civiles. El equipo puede fijarse en postes o mástiles de 40 a 100 mm de diámetro, paredes de mampostería (tornillería estándar) o superficies planas horizontales. La altura de instalación objetivo de 2,5 a 5 m sobre el nivel del suelo cumple con los criterios del Protocolo de Monitoreo de la Resolución 650 de 2010 del MADS.

High Tec presta el servicio de instalación y puesta en funcionamiento en sitio (cotizado por separado, ítem 7 de la propuesta económica). El servicio incluye: montaje físico del equipo, conexión eléctrica*, verificación de conectividad 4G, configuración inicial de parámetros de transmisión, verificación del registro de datos en la plataforma Bettair y capacitación básica en campo al personal técnico del CIS.

**El cliente debe suministrar un punto de conexión eléctrica*

7.2 Vida útil del cartucho de sensores y mantenimiento

La vida útil de los sensores electroquímicos que componen el Bettair MK2 es de 24 meses. Dentro de este período, la calidad del dato está garantizada. Al cumplirse los 24 meses, el cartucho de sensores debe reemplazarse. Este proceso es simple: el operador sustituye físicamente el cartucho (sin necesidad de técnico especializado) y los algoritmos de Bettair actualizan automáticamente los parámetros de calibración. Los cartuchos de repuesto no requieren calibración adicional por parte del usuario.

High Tec garantiza la disponibilidad de cartuchos de sensores y repuestos en Colombia, con suministro asegurado por un mínimo de 5 años desde la eventual comunicación oficial de descontinuación del modelo.

7.3 Diagnóstico remoto

La plataforma Bettair incluye el módulo CMMS (Computerized Maintenance Management System) que permite el diagnóstico remoto del estado operativo de cada equipo: temperatura interna, nivel de batería, calidad de señal de conectividad y estado de cada sensor. Las alertas de mantenimiento se configuran automáticamente y se

notifican al administrador de la red (Fabricante – Bettair), permitiendo la intervención preventiva antes de que se produzcan pérdidas de datos.

8. ACCESORIOS DISPONIBLES

8.1 Sensor Ultrasónico de Viento — Calypso ULP

Anemómetro ultrasónico de ultra-bajo consumo fabricado por Calypso Instruments (España). Características principales:

- **Tecnología:** Ultrasónica — sin partes móviles, sin umbral de inicio mecánico, mayor durabilidad en campo.
- **Rango:** 0 – 45 m/s velocidad del viento (supera requisito Adenda C6: 0–45 m/s).
- **Dirección:** 0–360°. Compatible con lectura 0–359°.
- **Consumo:** Ultra-bajo (0,15–0,25 mA @ 5V, 1Hz).
- **Dimensiones:** 70 × 70 mm. Peso: 130–240 g.
- **Integración:** Conexión directa al Bettair MK2. Datos disponibles en la plataforma Bettair sin licencia adicional.

8.2 Sistema de Alimentación Solar — Panel 60W

Sistema autónomo de energía solar diseñado para la operación continua 24/7 del Bettair MK2 sin conexión a la red eléctrica (Adenda C2):

- **Panel solar: 45** W
- **Batería de respaldo:** 12V con capacidad suficiente para operación nocturna.
- **Regulador / Controlador:** MPPT integrado.
- **Inversor:** Incluido en caja eléctrica con integración bajo RETIE.
- **Instalación:** Llave en mano. Caja eléctrica hermética con todos los componentes integrados y conexionados.

9. REFERENCIAS DE USO EN REDES DE MONITOREO

CLIENTE / PROYECTO	ALCANCE	APLICACIÓN
L'Hospitalet de Llobregat — Zona de Bajas Emisiones (ZBE) Barcelona	Despliegue de más de 40 nodos para monitoreo de calidad del aire y parámetros ambientales en edificios y espacio público.	Red urbana de calidad del aire. Zonas de bajas emisiones. Smart Buildings.
Metro de Madrid — Purificación de Aire Subterráneo	Monitoreo de PM1, PM2.5, PM10, NO2 y CO en túneles e instalaciones del metro de Madrid para modulación dinámica de sistemas de purificación.	Monitoreo industrial interior. Correlación con equipos de purificación UAP.
Múltiples redes urbanas en Europa	La plataforma Bettair opera redes de calidad del aire en ciudades de España, Francia, Portugal, Reino Unido y otros países europeos.	Monitoreo indicativo urbano y periurbano, análisis de gradiente fuente-receptor, datos para políticas públicas.
Establecimiento Publico Ambiental – EPA Barranquilla Verde	Despliegue de 3 nodos complementarios para medición de PM1, PM2.5, PM10, Temperatura, Humedad, Presión, Ruido, Velocidad y Dirección del viento como complemente a SVCA de la entidad	Monitoreo indicativo urbano y periurbano, análisis de gradiente fuente-receptor, datos para políticas públicas.
Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de	Monitoreo de PM1, PM2.5, PM10, NO2, O3, SO2, CO, Temperatura, Humedad,	Desarrollo de proyectos de Smartcities para gestión de los

HIGH TEC ENVIRONMENTAL LTDA
NIT 900.013.343 -2
Carrera 55 #152B-68, Oficina 404, Edificio MAZ
Bogota D.C – Colombia

la Información y las Comunicaciones - CINTEL	Presión, Ruido, Velocidad y Dirección del viento	recursos de las ciudades en Colombia.

High Tec Environmental Ltda.
Distribuidor Exclusivo Autorizado de Bettair Cities SL. en Colombia
NIT 900.013.343-2 | Cra. 55 No. 152B-68 Of. 706, Bogotá D.C.
info@hteltda.com | +57 (1) 316 3957543 | www.hteltda.com

bettair®
Mapping Air Quality

180-COE2606-23269

BETTAIR STATIC NODE MK2 SERIES

FOR MAPPING POLLUTION IN REAL TIME



BETTAIR® STATIC NODE FEATURES

- Custom electronic and mechanical design
- Dust tight and water resistant
- Low-power consumption electronics
- Wireless and wired communication
- Up to 5 days back up battery
- Open API
- Platform analytics



BETTAIR® AIR QUALITY MONITOR MK2 SERIES MEASURES THE LEVEL OF POLLUTION ON AMBIENT AIR

ADDING VALUE TO AIR QUALITY MEASUREMENTS

The *bettair®* static nodes are a novel device that permits, for the first time, the mapping of air pollution with high accuracy and in high resolution at a previously unimaginable scale. The *bettair®* network provides invaluable insights about how to mitigate air pollution.

The *bettair®* static nodes can measure up to 12 air quality indicators as well as ambient noise level and other environmental parameters.

With default configuration, the *bettair®* static node can measure the most common gaseous pollutants: nitrogen dioxide (NO_2), nitrogen monoxide (NO), ozone (O_3) and carbon monoxide (CO). In addition, the nodes also measures particulate matter (PM_1, $PM_{2.5}$ and PM_{10}) in the ambient air.

The accuracy of the measurements provided by the *bettair®* static node is based on advanced proprietary algorithms that enable parts per billion (ppb) measurements with similar accuracy than traditional air quality monitoring stations but at a fraction of the price. The algorithms compensate for the impact of the different ambient conditions as well as sensor degradation due to aging. This removes the need for costly gas sampling and maintenance equipment.

SENSORS CARTRIDGE

The lifetime of the sensors that compose the *bettair®* static node is of two years. Within this period, the quality of the data is guaranteed.

After the two years period, the sensors must be replaced. This is easily done by replacing the *bettair®* sensor cartridge. The cartridges do not require calibration.

THE PLATFORM

The ***bettair®*** platform shows data of each device and heat maps of the zone covered and it can be connected with other platforms in an easy manner. Our RESTful API allows to connect our platform with any proprietary or open-source platforms.

GAS MEASUREMENTS PERFORMANCE

180-COE2606-23269

Gases	Range*	LDL	Resol.	Accur.
NO_2	0 -20 ppm	2 ppb	0.1 ppb	±3 ppb
O_3	0 – 20 ppm	1 ppb	0.1 ppb	±5 ppb
NO	0 – 20 ppm	2 ppb	0.1 ppb	±4 ppb
CO	0 – 500 ppm	30 ppb	1 ppb	±30 ppb
SO_2	0 – 50 ppm	10 ppb	0.1 ppb	±15 ppb
CO_2	400 – 10,000 ppm	400 ppm	1 ppm	±30 ppm
H_2S	0 – 50 ppm	2 ppb	0.1 ppb	±10 ppb
NH_3	0 – 60 ppm	6 ppb	0.3 ppb	±10 ppb
CH_4	0 – 50,000 ppm	250 ppm	10 ppm	±250 ppb
HCl	0 – 20 ppm	5 ppb	0.1 ppb	±15 ppb
VOC	0 – 100 ppm	20 ppb	1 ppb	±10 ppb
VOC**	0 – 500 IAQ	n/a	1	3

*Units of ppb and ppm can be represented in $\mu g/m^3$ or mg/m^3 respectively.
**Unit is IAQ (Index for Air Quality)

PARTICLE MEASUREMENTS PERFORMANCE

PM	Range	LDL	Resol.	Accur.
PM1 ($\mu g/m^3$)	0 – 1,000	1	1	± 2 $\mu g/m^3$
PM2.5 ($\mu g/m^3$)	0 – 1,000	1	1	± 2 $\mu g/m^3$
PM10 ($\mu g/m^3$)	0 – 1,000	1	1	± 2 $\mu g/m^3$
Sampling interval				Adjustable

ENVIRONMENTAL MEASUREMENTS PERFORMANCE

Environmental	Range	Resolution	Accuracy
Temperature (°C)	-40 ... 85	0.01	±0.4
Humidity (%RH)	0 ... 85 85 ... 100	0.1	± 0.5% ± 1.5%
Pressure (hPa)	300 ... 1500	0.18 Pa	±0.6
Noise (db)	35 ... 120	0.1	±1

OPERATING CONDITIONS

Environmental	Full Accuracy	Reduced Accuracy
Temperature (°C)	-10...+40*	-40... +85**
Humidity (%RH)	15...85***	0...100
Pressure (hPa)	600-1100	300-1500

* Ambient Temperature
** Temperature inside the Node
*** At a temperature range of 0..+65°C

POWER CONSUMPTION

Input Voltage range (V)	
AC	85...264VAC / 50-60Hz
DC	9..36 VDC / 18...75 VDC
PoE (V)	37...57 (802.3at Type 1)
Solar Panel	30W @ 18V Solar Panel
Power consumption	
Min	0.6W
Avg	0.8W
Max (when charging)	12W
Battery Duration	
4 cell: Li-ion 7.2V@7Ah	~5 days*

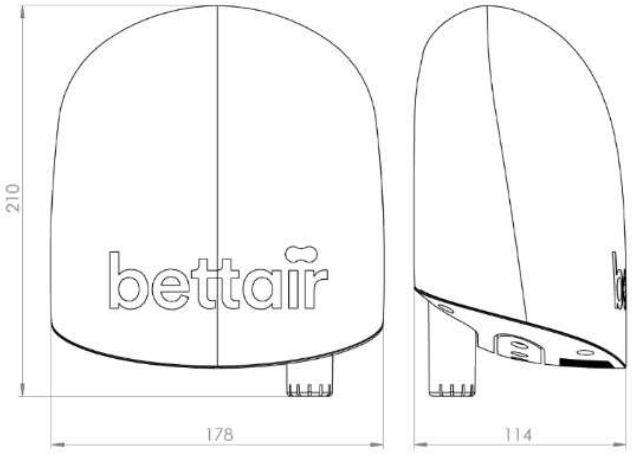
*Depends on measurement configuration parameters.

SYSTEM SPECIFICATIONS

Communications	
Wireless	3GPP Rel.11 LTE Cat1 (4G)
EMEA	B1/B3/B7/B8/B20/B28
NA	B2/B4/B5/B12/B13/B25/B26
LPWAN	LoRaWAN 868/915 MHz
Wired	IEE802.3 Ethernet 10/100 Mbps
GPS	GPS/GLONASS/BeiDou - Galileo/QZSS

PHYSICAL

Mechanical	
Weight (g)	1500
Material	Polycarbonate
Colour	UV protection coat Enclosure - RAL 9010 Cartridge - RAL 9006
Mounting	Pole or Wall
IP rating	
Cartridge	IP54
Main Body	IP65



OPTIONAL ACCESSORIES

Monocrystalline solar panel	Size (mm) 604 x 340 x 25 Power Rate 30W – 12V
Anemometer Davis Vantage PRO2 Wind Direction	Display Resolution 1° Accuracy ±3°
Wind Speed	Resolution 0.1 m/s Range 0.20 to 89 m/s Accuracy ± 1 m/s or ±5%

CERTIFICATIONS

Regulations	
EMC compliance	Directive 2014/30/EU
Emissions	EN55032 Class B
Immunity	EN55024 Class B
LVD compliance Electrical Safety	Directive 2014/35/EU EN62368-1
RED compliance	Directive 2014/53/EU
FCC compliance	FCC Part 15 Subpart B
Acoustic compliance	IEC 61672-1:2013

All rights reserved. Any logos and/or product names are trademarks of Bettair. Any reproduction, transfer, distribution or storage of information contained in this document is strictly prohibited. All specifications — technical included — are subject to change without notice.

bettair®
Mapping Air Quality
bettaircities.com

CE FC

bettair®

Mapping Air Quality



180-COE2606-23269

Mapeo de la contaminación del aire a una escala previamente inimaginable

bettair®

Mapping Air Quality



Esta nueva tecnología para Smart Cities proporciona una herramienta de mapeo altamente eficiente y a gran escala de la contaminación.

Proporciona conocimiento e información necesarios para entender mejor y mitigar la contaminación acústica y del aire.

El diseño de nuestro cartucho de sensores permite cambiar fácilmente todos los sensores cuando se requiera y **no requiere calibración in-situ**.



180-COE2606-23269

HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN



Los datos de contaminación se proporcionan usando las herramientas de visualización GIS más nuevas, pudiéndose adaptar a los requisitos individuales de cada cliente.

LA RED DE NODOS



La plataforma está compuesta de una red de nodos estratégicamente colocados para optimizar la cobertura del mapa. Nuestra solución es escalable y se puede adaptar a cualquier escenario.

POSTPROCESAMIENTO AVANZADO



Los datos de contaminación se tratan a través de un algoritmo único de postprocesamiento. Este algoritmo proporciona medidas precisas de varios indicadores de la calidad del aire con una precisión similar a la de los equipos tradicionales, pero por una fracción del precio. Impresionante correlación Pearson ($R^2 > 0,9$) cuando se compara con equipo tradicional de monitoreo de la calidad del aire.

La plataforma está alimentada por sensores innovadores que son fáciles de instalar y son capaces de soportar climas duros.

NUESTROS NODOS



Resistentes al polvo y al agua (Certificación IP65)



Electrónica de bajo consumo



Acceso a redes inalámbricas de baja potencia

QUÉ MIDEN NUESTROS NODOS



Temperatura



Humedad Relativa



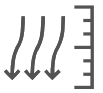
Ruido Ambiental



PM_1 $PM_{2.5}$ PM_{10}

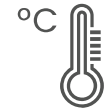


NO_2 NO SO_2 CO O_3 H_2S CO_2 VOC NH_3 CH_4 HCl



Presión Atmosférica

REQUISITOS AMBIENTALES



Temperatura de operación: de -10°C a 40°C



Humedad Relativa: Hasta 95%, sin condensación

180-COE2606-23269

bettair®

Mapping Air Quality

¿QUÉ PUEDO HACER CON BETTAIR?

- Mitigar la contaminación del aire
- Identificar fuentes desconocidas de contaminación
- Generar ingresos potenciales a través multas
- Evaluar el impacto de medidas ambientales
- Reducir los costes de la contaminación del aire
- Categorizar zonas según su calidad del aire
- Predecir episodios de contaminación del aire
- Monitorizar el cambio climático

¿COMO TE AFECTA LA CONTAMINACIÓN?

La contaminación del aire es un problema mayúsculo para la salud pública.

La contaminación del aire en exteriores mata a 4,5 millones de personas cada año, mayoritariamente en ciudades.

El problema continúa creciendo debido al crecimiento sin precedentes de la población urbana.

PM
Afecta el sistema nervioso central

NO_2
Afecta el hígado, el bazo y la sangre

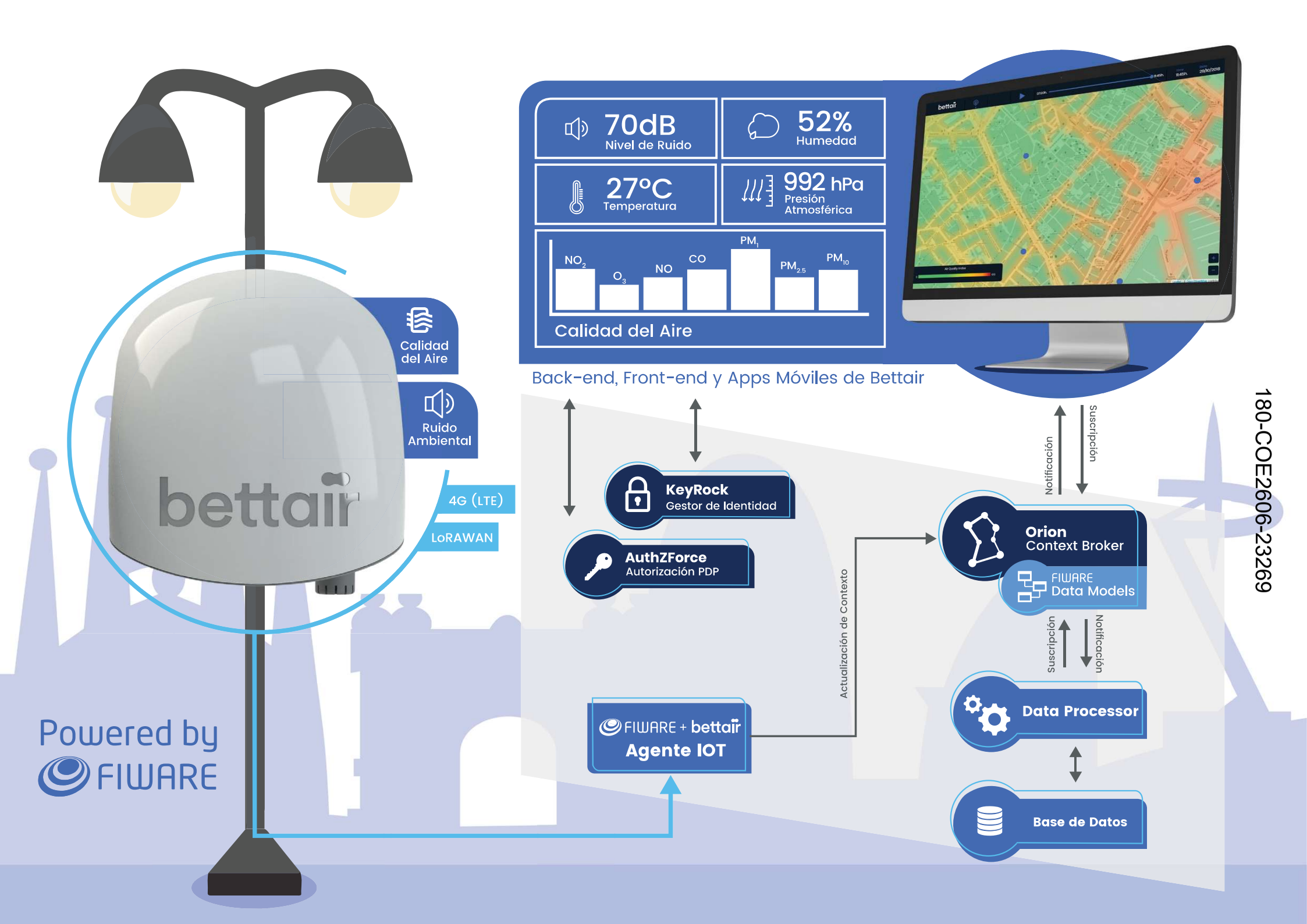
PM
Produce asma, reduce la capacidad pulmonar y produce la enfermedad pulmonar obstructiva crónica

O_3, PM
Produce enfermedades del corazón

O_3, PM, NO_2, SO_2, NH_3
Causa irritación de ojos, nariz y garganta, así como problemas respiratorios

PM
Afecta el sistema reproductivo

180-COE2606-23269

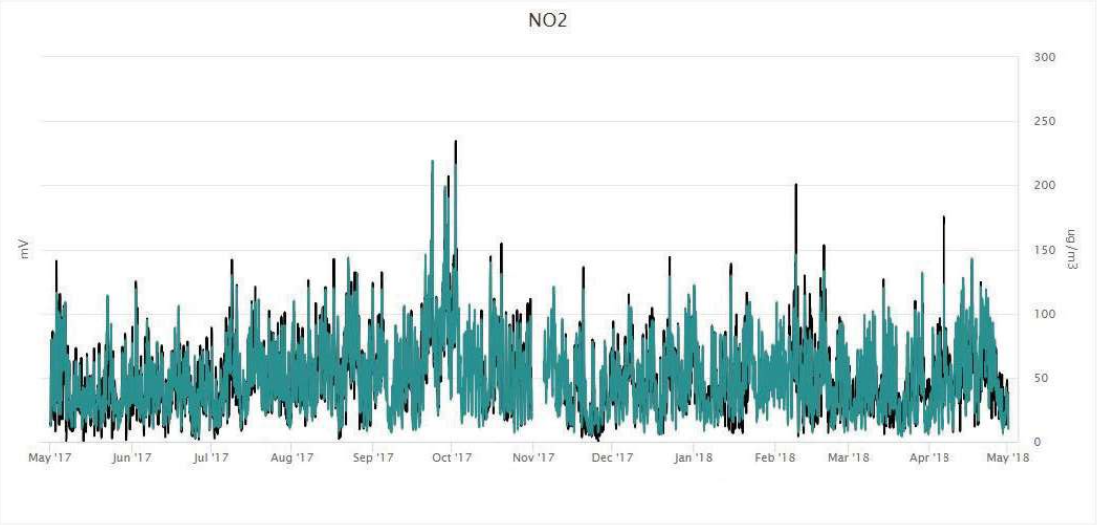

70dB
Nivel de Ruido
52%
Humedad
27ºC
Temperatura
992 hPa
Presión Atmosférica
NO_2
O_3
NO
CO
PM_1
$PM_{2.5}$
PM_{10}
Calidad del Aire
Back-end, Front-end y Apps Móviles de Bettair
Calidad del Aire
Ruido Ambiental
4G (LTE)
LoRAWAN
bettair
KeyRock
Gestor de Identidad
AuthZForce
Autorización PDP
FIWARE + bettair
Agente IOT
Actualización de Contexto
Notificación
Suscripción
Orion
Context Broker
FIWARE
Data Models
Suscripción
Notificación
Data Processor
Base de Datos
Powered by
FIWARE
180-COE2606-23269

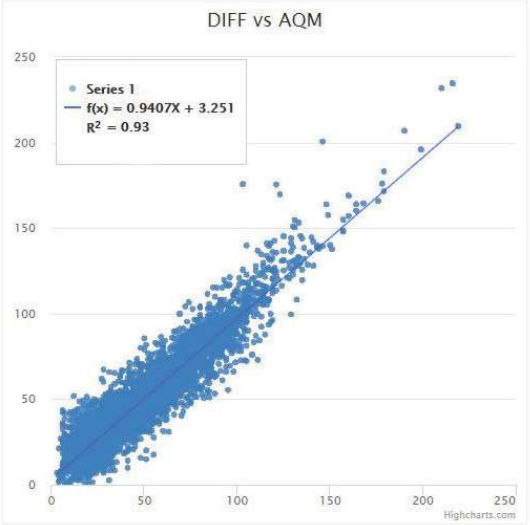
Especificaciones de Medidas

Variable	Rango	LDL*	Resolución		Precisión	Unidad
NO_2	0 -20 ppm**	2 ppb***	0.1 ppb	±	3 ppb	ppb or µg/m³
O_3	0 -20 ppm	1 ppb	0.1 ppb	±	5 ppb	ppb or µg/m³
NO	0 -20 ppm	2 ppb	0.1 ppb	±	4 ppb	ppb or µg/m³
CO	0 -500 ppm	30 ppb	1 ppb	±	30 ppb	ppb or µg/m³
SO_2	0 -50 ppm	10 ppb	0.1 ppb	±	15 ppb	ppb or mg/m³
CO_2	400 - 10,000 ppm	400 ppm	1 ppm	±	30 ppm	ppm or mg/m³
H_2S	0 -50 ppm	2 ppb	0.1 ppb	±	10 ppb	ppm or mg/m³
NH_3	0 - 60 ppm	6 ppb	0.3 ppb	±	10 ppb	ppb or µg/m³
CH_4	0 - 50,000 ppm	250 ppb	10 ppm	±	250 ppb	ppm or mg/m³
HCl	0 - 20 ppm	5 ppb	0.1 ppb	±	15 ppb	ppb or mg/m³
VOC	0 -100 ppm	20 ppb	1 ppb	±	1 ppm	ppb or mg/m³
VOC****	0 - 500 IAQ****	n/a	1 IAQ	±	3	IAQ
PM_1	0 -1,000 µg/m³	1 µg/m³	1 µg/m³	±	2µg/m³	µg/m³
$PM_{2.5}$	0 -1,000 µg/m³	1 µg/m³	1 µg/m³	±	2µg/m³	µg/m³
PM_{10}	0 -1,000 µg/m³	1 µg/m³	1 µg/m³	±	2µg/m³	µg/m³

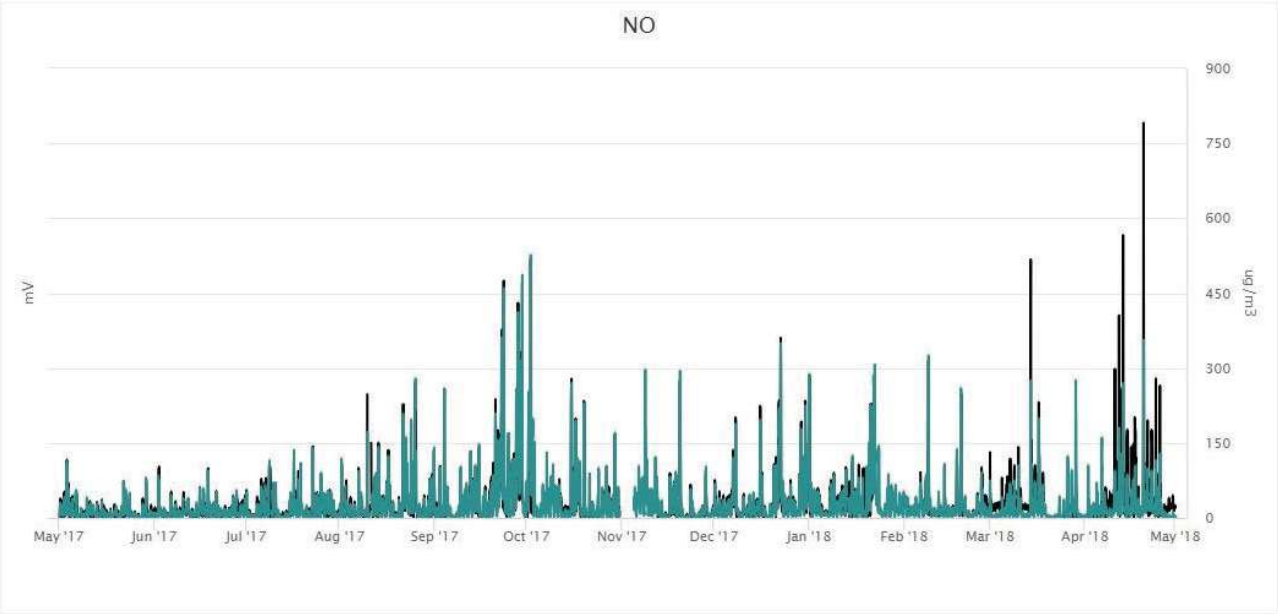
* Límite de detección ** partes por millón *** partes por mil millones **** Index for Air Quality

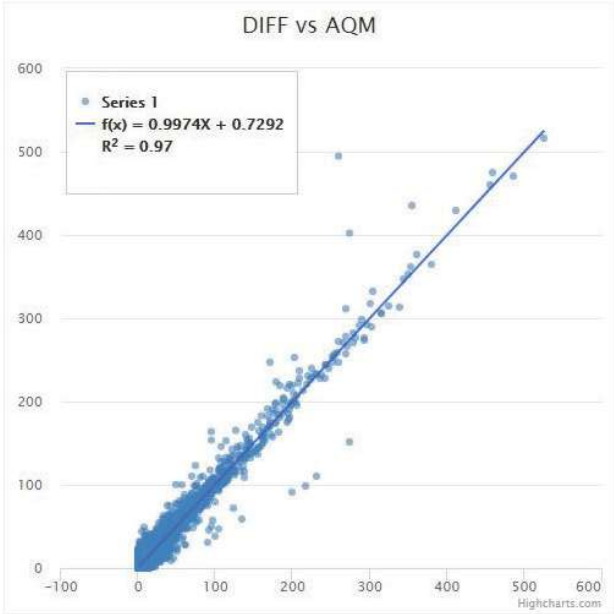
RESULTADOS DE PRUEBAS DE CAMPO A LARGO PLAZO Y COMPARACIÓN CON UNA ESTACIÓN TRADICIONAL

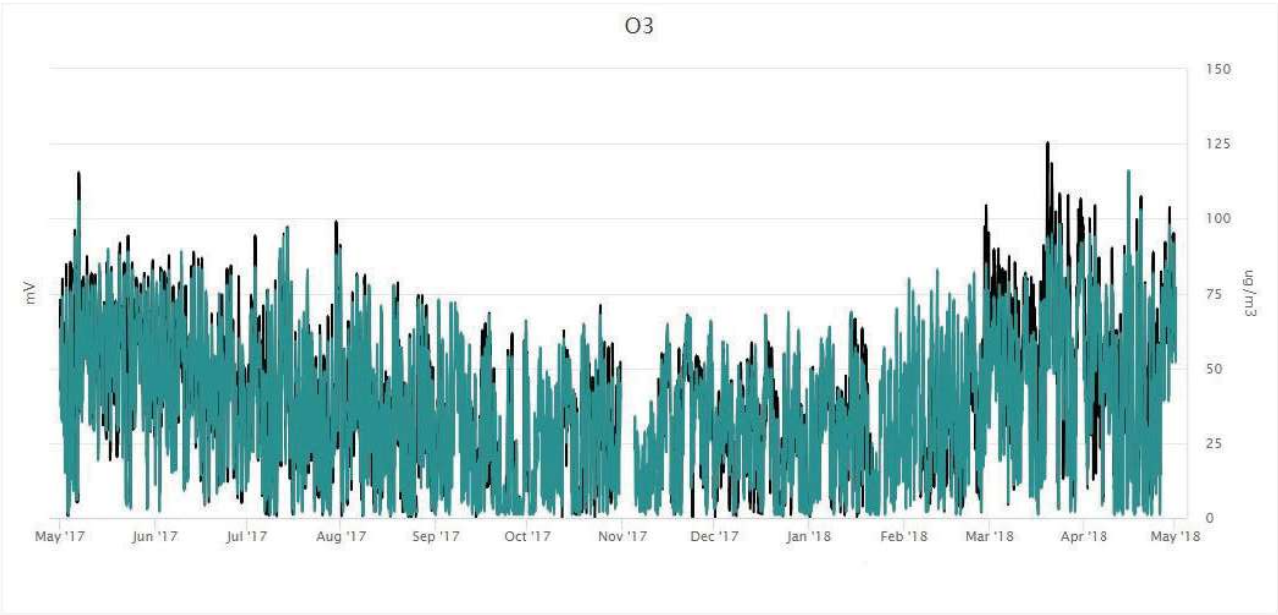


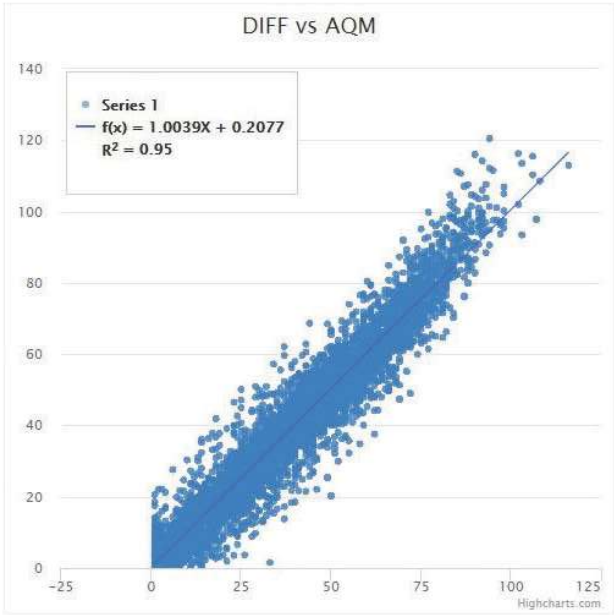


180-COE2606-23269









180-COE2606-23269

Coeficiente de Correlación R^2 por contaminante

NO_2	O_3	NO
0.93	0.95	0.97

El periodo de co-localización con esta estación fué desde el 1 de mayo de 2017 hasta el 30 de abril de 2018

bettair®

Mapping Air Quality

Better cities, Better life, bettair®

WINNER
AIRLAB
Microsensor
Most accurate multi-pollutant sensor
Outdoor - Overall
2023

WINNER
AIRLAB
Microsensor
Best accuracy for ozone
Outdoor - Overall
2021-2023

AIRLAB





180-COE2606-23269

https://bettaircities.com

Bettair Cities

info@bettaircities.com

180-COE2606-23269

bettair®

Mapping Air Quality

Tech datasheet

La estación de Calidad del Aire más precisa sin necesidad de recalibración



Mapeo de la contaminación del aire a una escala previamente inimaginable

Esta nueva tecnología para Smart Cities proporciona una herramienta de mapeo altamente eficiente y a gran escala de la contaminación.

HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN

Los datos de contaminación se proporcionan usando las herramientas de visualización GIS más nuevas, pudiéndose adaptar a los requisitos individuales de cada cliente.

LA RED DE NODOS

La plataforma está compuesta de una red de nodos estratégicamente colocados para optimizar la cobertura del mapa. Nuestra solución es escalable y se puede adaptar a cualquier escenario.

POSTPROCESAMIENTO AVANZADO

Los datos de contaminación se tratan a través de un algoritmo único de postprocesamiento. Este algoritmo proporciona medidas precisas de varios indicadores de la calidad del aire con una precisión similar a la de los equipos tradicionales, pero por una fracción del precio. Impresionante correlación Pearson (R^2> 0,9) cuando se compara con equipo tradicional de monitoreo de la calidad del aire.

La plataforma está alimentada por sensores innovadores que son fáciles de instalar y son capaces de soportar climas duros.

El diseño de nuestro cartucho de sensores permite cambiar fácilmente todos los sensores cuando se requiera y **no requiere calibración in-situ**.

NUESTROS NODOS

- Resistentes al polvo y al agua (Certificación IP65)
- Electrónica de bajo consumo
- Acceso a redes inalámbricas de baja potencia

QUÉ MIDEN NUESTROS NODOS

- Temperatura
- Humedad Relativa
- Ruido Ambiental
- PM_1 $PM_{2.5}$ PM_{10}
- NO_2 NO SO_2 CO O_3 H_2S CO_2 VOC
- Presión Atmosférica

REQUISITOS AMBIENTALES

- Temperatura de operación: -40 to 85 °C / -40 to 185 °F
- Humedad Relativa: Hasta 95%, sin condensación

d·nota

vCard

Contacto:
bettair@dnota.com

www.dnota.com
www.dnota.us

web

180-COE2606-23269

bettair®
Mapping Air Quality



Tech datasheet

Ganador del Airlab Challenge 2023

AIRLAB WINNER
Most accurate multi-pollutant sensor
Outdoor - Overall
2023

Partenaires du challenge/Challenge's partners

PREMIO AQE 2024

AQE AIR QUALITY & EMISSIONS
WINNER
Award
Most Innovative Instrument Product or Digital Solution
2024

El dispositivo más innovador para la medida de la calidad del aire

Cumple los criterios de rendimiento US EPA para sensores de calidad del aire

EPA

Acreditado como Clase 1 según CEN/TS 17660-1:2021

CEN CENELEC ETSI
EUROPEAN STANDARDIZATION ORGANIZATIONS

Certificación MCERTS UK Environment Agency

MCERTS
THE ENVIRONMENT AGENCY'S MONITORING CERTIFICATION SCHEME

d·nota

vCard

Contacto:
bettair@dnota.com

www.dnota.com/en
www.dnota.us

web

180-COE2606-23269

PRODUCT CONFORMITY CERTIFICATE

This is to certify that the

Bettair® Static Node MK2 Series

Manufactured by:

Bettair Cities S.L.
Travessia Industrial
149 4C, L'Hospitalet de Llobregat
Barcelona, 08907
Spain

has been assessed by CSA Group
and for the conditions stated on this certificate complies with:

MCERTS Performance Standards for Indicative Ambient Particulate Monitors, Environment Agency, August 2017, version 4

Certification ranges:

$PM_{2.5}$ 0 - 1,000 µg/m^3
PM_{10} 0 - 1,000 µg/m^3

Project No.:	80185656
Certificate No:	CSA MC240441/00
Initial Certification:	4 October 2024
This Certificate issued:	4 October 2024
Renewal Date:	3 October 2029

Andrew Young
Environmental Team Manager

MCERTS is operated on behalf of the Environment Agency by

CSA Group Testing UK Ltd
Unit 6, Hawarden Industrial Park
Hawarden, Deeside, CH5 3US
Tel: +44 (0)1244 670 900

The MCERTS certificate consists of this document in its entirety.
For conditions of use, please consider all the information within.
This certificate may only be reproduced in its entirety and without change
To authenticate the validity of this certificate please visit www.csagroupuk.org/mcerts

Form 1335
Issue 11

Certificate Contents

Approved Site Application....2
Basis of Certification....2
Product Certified....3
Certified Performance....4
Description....6
General Notes....6

Approved Site Application

Any potential user should make sure, in consultation with the manufacturer, that the monitoring system is suitable for the intended application. For general guidance on monitoring techniques refer to the Environment Agency guidance available at www.mcerts.net

The indicative dust monitoring analyser(s) can be operated in one of two ways:

For qualitative measurements: Providing qualitative measurement data for the analysis of particulate pollution trends, and source identification studies based for example on pollution roses etc. Such application can rely on instrument factory calibration only.

For quantitative measurements: Providing measurement data with the uncertainty defined for indicative instruments (+/- 50%). This can be achieved on condition that each instrument used for measurement has been calibrated on the specific site where monitoring is taking place against a standard reference method for a period of two weeks and the resulting slope and intercept have been used for instrument calibration. Using non-standard filters and procedures for this purpose is not acceptable. To maintain the validity of data this calibration has to be repeated at least every twelve months or when the instrument is moved to a different site.

They **cannot** be used on national automatic monitoring networks for compliance reporting against the Ambient Air Quality Directives.

The field test was carried out from the 3rd March 2023 to the 30th June 2023 on two candidate 'bettair® Static Node MK2 Series' systems, collocated with a Pallas Fidas 200E. The location of the field test was P5MF+8CX, 59200 Tourcoing, France. The serial numbers of the two 'bettair® Static Node MK2 Series' systems were '8000164 (BET4)' and '8000165 (BET5)'.

Basis of Certification

This certification is based on the following test report(s) and on CSA Group's assessment and ongoing surveillance of the product and the manufacturing process:

SGS, test report ref. Nt 360153, dated 2024.10.02, "Bettair Cities SL - Classification of Bettair Air Quality Sensors System 2 PCS - Nt 360153: Performance Standards for Indicative Ambient Particulate Monitors"

This certificate may only be reproduced in its entirety and without change
To authenticate the validity of this certificate please visit www.csagroupuk.org/mcerts

Product Certified

The 'bettair® Static Node MK2 Series' measuring system consists of the following parts:

- Polycarbonate IP65 main body enclosure with embedded communication, data processing with PM and gas measurement functions
- 'bettair®' sensor cartridges measuring particulate matter (PM) and gas

Sensor type and firmware version
OPC sensor – SPS30
Firmware version 2021 onwards

Sensor System
Bettair® Static Node MK2 Series firmware version - 1.6.9 onwards

Algorithm Version
Bettair® Static Node MK2 Series algorithm version – 1.6.9 onwards

This certificate applies to all instruments fitted with serial number 8000164 onwards.

This certificate may only be reproduced in its entirety and without change
To authenticate the validity of this certificate please visit www.csagroupuk.org/mcerts

Certified Performance

Test (***Laboratory***)	Results expressed as % of the certification range				Other results	MCERTS specification
	<0.5	<1	<2	<5		
Constancy of the sample volumetric flow					Not applicable (Note 1)	To remain constant within ± 3%
Tightness of the sampling system			1.62			Leakage not to exceed 2% of sampled volume

Certificate No: CSA MC240441/00
This Certificate issued: 04 October 2024

This certificate may only be reproduced in its entirety and without change
To authenticate the validity of this certificate please visit www.csagroupuk.org/mcerts

Test (**Field**)	Results expressed as % of the certification range				Other results	MCERTS specification
	<0.5	<1	<2	<5		
Intra-instrument uncertainty for the reference method						
PM_{10}					0.67 µg/m³	≤2.5µg/m³
$PM_{2.5}$					0.67 µg/m³	≤2.5µg/m³
Intra-instrument uncertainty for the candidate method						
PM_{10}						
All data (slope corrected, n=106)					0.82µg/m³ (note 2)	≤5µg/m³ for all data as well as for the subsets: < or ≥ 30 µg/m³
≥ 30 µg/m³ (slope corrected, n=6)					1.45 µg/m³	
< 30 µg/m³ (slope corrected, n=100)					0.76 µg/m³	
$PM_{2.5}$						
All data (slope corrected, n=106)					0.62 µg/m³(note 3)	≤5µg/m³ for all data as well as for the subsets: < or ≥ 18 µg/m³
≥ 18 µg/m³ (slope corrected, n=14)					1.01 µg/m³	
< 18 µg/m³ (slope corrected, n= 92)					0.53 µg/m³	
Highest resulting uncertainty estimate comparison against data quality objective (Measurement Uncertainty)						W_{CM}≤50% $W_{CM} \leq W_{dpo}$ (W_{dpo} Measurement uncertainty defined as 50% for indicative instruments)
PM_{10}						
All data (n= 106)					142.4 % (note 2)	
All data (slope corrected) (n=106)					33.8 %	
≥ 30 µg/m³ (slope corrected) (n=6)					30.5 %	
$PM_{2.5}$						
All data (n=106)					89.6 %	
All data (slope corrected) (n=106)					18.3 % (note3)	
≥ 18 µg/m³ (slope corrected) (n=14)					23.1 %	
Maintenance Interval					>2 weeks (Note 4)	≥2 weeks

Note 1 - This test was deemed not applicable as the flow rate is too low to be accurately determined.
Note 2 - This data was slope corrected by dividing by 1.753. All users must slope correct PM_{10} data by dividing by 1.753. It is recommended that the manufacturer program this value into their algorithm in order to avoid confusion to end users. End users should check with the manufacturer that this has been carried out.
Note 3 - This data was slope corrected by dividing by 1.50. All users must slope correct $PM_{2.5}$ data by dividing by 1.50. It is recommended that the manufacturer program this value into their algorithm in order to avoid confusion to end users. End users should check with the manufacturer that this has been carried out.
Note 4 - Maintenance - the bettair® sensor cartridge has a lifespan of 2 years and must be replaced every 2 years. The humidity and temperature sensor should be replaced every 4 years. The 'bettair® Static Node MK2 Series' has a service indicator, such as a sensor malfunction feature, which would invalidate the measurements until the required maintenance has been carried out. No maintenance was required over the field trial period.
Note 5 - The ' bettair® Static Node MK2 Series' system must be set up using the configuration, as follows; i) SPS30 sensor type with firmware version '2021', and ii) Algorithm version and firmware version '1.6.9'.

Certificate No: CSA MC240441/00
This Certificate issued: 04 October 2024

This certificate may only be reproduced in its entirety and without change
To authenticate the validity of this certificate please visit www.csagroupuk.org/mcerts

Description

The multi-pollutant **bettair® Static Node MK2 Series**, designed for measuring particulate matter (PM) incorporates an optical particle counter (OPC) that provides continuous, simultaneous measurements of PM_1 (starting at 0.3 µm, not covered under this certification), $PM_{2.5}$, and PM_{10}.

bettair® nodes can be mains powered (VAC), using a solar panel or another VDC source. Additionally, the nodes include an internal rechargeable battery, allowing them to connect to streetlights or similar infrastructures.

All the information provided by the nodes is visualized on a platform that includes visualization and analytical tools, and automatically generated periodic reports. Alternatively, the data can also be accessed via an API for integration into third-party platforms.

General Notes

1. This certificate is based upon the equipment tested. The Manufacturer is responsible for ensuring that on-going production complies with the standard(s) and performance criteria defined in this certificate. The manufacturer is required to maintain an approved quality management system controlling the manufacture of the certified product. Both the product and the quality management system shall be subject to regular surveillance according to 'Regulations Applicable to the Holders of CSA Group Testing UK Ltd Certificates'.

2. The design of the product certified is defined in the CSA Group design schedule V00 for certificate no. CSA MC240441/00.

3. If a certified product is found not to comply, CSA Group should be notified immediately at the address shown on this certificate.

4. The certification marks that can be applied to the product or used in publicity material are defined in 'Regulations Applicable to the Holders of CSA Group Testing UK Ltd Certificates'.

5. This document remains the property of CSA Group and shall be returned when requested by CSA Group.

This certificate may only be reproduced in its entirety and without change
To authenticate the validity of this certificate please visit www.csagroupuk.org/mcerts

180-COE2606-23269

Medio Ambiente y Desarrollo Territorial

Jalisco
GOBIERNO DEL ESTADO

Reporte técnico:

Comparativo de desempeño de diversas marcas de sensores comercializadas a nivel local, contra estaciones de monitoreo atmosférico de Jalisco



Colaboradores expertos
Dr. Carlos González Figueredo
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

SEMADET
Alejandro Martínez Cázares
Estefany López Murillo
Cecilia Alejandra Mejía Placencia

1. Introducción

El monitoreo atmosférico que permita la generación de información confiable, de calidad y suficiencia, representa actualmente uno de los principales retos para las ciudades mexicanas. La operación de equipos que faciliten la comprensión de las dinámicas de la contaminación atmosférica, y garanticen el cumplimiento con la regulación nacional, resulta primordial para el establecimiento de sistemas de monitoreo integrales en el país.

En México, con el objetivo de operar satisfactoriamente estos sistemas, cuantificando, recolectando y comunicando la información de la calidad del aire, se cuenta con normas para establecer los límites de máximos permisibles de exposición para la población (normatividad de salud ambiental), y los métodos equivalentes o de referencia para hacer la detección y cuantificación de los llamados "Contaminantes Criterio". Esto nos permite contar con metodologías estandarizadas para todo el país, que permitan calcular la incertidumbre, garantizando que estas mediciones sean lo más exactas y precisas posibles, y la comunicación de las concentraciones de contaminantes sea lo más cercana a la realidad para facilitar la toma de decisiones.

Tabla 1. Normatividad Mexicana en materia de Monitoreo de la Calidad del Aire ambiente.

Tipo	Parámetro	Norma Nacional
Monitoreo	-	NOM-156-SEMARNAT-2012 - Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire
Salud Ambiental	O_3	NOM-020-SSA1-2021, Salud ambiental - Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O3). Valores normados para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
	CO	NOM-021-SSA1-2021, Salud ambiental - Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
	SO_2	NOM-022-SSA1-2019. Salud ambiental - Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO_2). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO_2) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
	NO_2	NOM-023-SSA1-2021, Salud ambiental - Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO2). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO2) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
	PM10 y PM2.5	NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental - Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM10 y PM2.5. Valores normados para la

		concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
Métodos de medición	O3	NOM-036-SEMARNAT-1993 - Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
	CO	NOM-034-SEMARNAT-1993 - Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
	SO_2	NOM-038-SEMARNAT-1993 - Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
	NO_2	NOM-037-SEMARNAT-1993 - Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición
	PM10 y PM2.5	NOM-034-SEMARNAT-1993 - Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

Cabe señalar, que en ocasiones los costos de operación y requerimientos técnicos para el mantenimiento de los Sistemas de monitoreo integrados por equipos de referencia o equivalentes, representan una inversión difícil de alcanzar por algunos Estados o ciudades, lo que implica limitaciones en su infraestructura y operación, por lo que en muchos casos suelen no abarcar la gama de contaminantes regulados a nivel nacional, ni la extensión de la infraestructura a todas las zonas de interés, por lo que en ocasiones se llegan a utilizar herramientas que permitan conocer el comportamiento o distribución de los contaminantes atmosféricos.

Dentro de las herramientas que permiten conocer la distribución o comportamiento de los contaminantes atmosféricos que destacaremos en este informe están los sensores de bajo costo, los cuales consisten en dispositivos electrónicos con la capacidad de identificar diversos contaminantes en el aire y cuantificarlos, sin embargo, su uso tiene diversas limitantes, principalmente relacionadas con la confiabilidad de las mediciones generadas, por lo que actualmente la autoridad Regulatoria para México en la materia, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), no los considera equipos que sustituyan la operación de las redes de monitoreo atmosférico reguladas en la actualidad.

Sin embargo, estos sensores representan una posibilidad y una opción para la realización de estudios específicos donde se desee conocer el comportamiento que puedan llegar a tener los contaminantes atmosféricos, en sitios donde no se cuenta con sistemas de monitoreo o se elaboran análisis de exposición personal o a nivel de calle. (CMM, 2018).

2. Objetivo

Generar un análisis comparativo de desempeño de sensores de diversas marcas y procedencias, e identificar sus diferencias y potenciales usos para la comprensión del comportamiento de los contaminantes atmosféricos y la exposición a ellos.

3. Metodología

La metodología seleccionada para verificar las variaciones y calidad de los datos en este tipo de dispositivos constituye el pilar básico para este análisis, ya que permite generar un antecedente en el análisis de desempeño de este tipo de dispositivos en el Estado.

Lo anterior es relevante, ya que si bien los sensores de bajo costo para calidad del aire, son empleados en diversos usos, tanto por ciudadanos interesados en el tema, como industrias, centros educativos y gobiernos, su desempeño y la calidad de los datos sigue siendo cuestionable, más aún si no existen análisis que permitan conocer el desempeño en comparativo con equipos de referencia o equivalentes, adicionalmente; si esta información es utilizada para tomar algún tipo de decisión o comunicar de forma pública, se corre el riesgo de contar con información alejada de la realidad.

Las estadísticas generadas para los comparativos entre los resultados generados por un equipo de monitoreo atmosférico y los sensores, fueron propuestas por el Dr. Carlos González Figueredo, Investigador del ITESO, con experiencia profesional en la evaluación de desempeño de sensores de bajo costo en el Estado, así como de diversos aspectos de investigación en materia de Calidad del Aire. Dicha metodología, está basada en la evaluación de la variación en el sistema de medición, explicada por González, como aparece a continuación:

> *"Para evaluar el desempeño de los sensores de bajo costo se implementará la metodología de Gage R&R que se utiliza comúnmente en la industria para evaluar cuánta variación en las mediciones se le puede atribuir al sistema de medición (véase sección 1.2.2.). En este caso, se entiende como el sistema de medición los sensores de bajo costo que se pretenden colocar en la ciudad. La ecuación para evaluar la variación es:*

$$\sigma^2 = \sigma^2_{error} + \sigma^2_{sitio} + \sigma^2_{condiciones\ fisicas} + \sigma^2_{condiciones\ fisicas:\ sitio}$$

σ2 : Varianza total
σ^2_{error} : Varianza atribuible al error inherente de la medición, esta es la repetitividad
$\sigma^2_{condiciones\ físicas}$: Varianza que se relaciona con las condiciones físicas y climáticas

σ^2_{sitio} *: Varianza que se relaciona con el cambio de los sitios*
$\sigma^2_{condiciones\ físicas:\ sitio}$ *: Varianza que se genera cuando hay interacción entre los sitios y las condiciones físicas*

Para la ecuación que se pretende utilizar se cambiaron los efectos de las partes y de los operadores, por las condiciones físicas y los sitios en los que se encuentran los sensores de la Semadet. El valor del operador con la determinación de que se necesitan es de 75% de los datos en cada hora para ser considerado como válido y sustituyendo esta fuente de variación por los factores físicos.

Las condiciones físicas incluyen:

- *Humedad relativa: esta es una variable continua; de acuerdo con Zheng, et al. (2018) la humedad relativa tiene un alto impacto en la variación de los registros de la concentración.*
- *Temperatura: esta es una variable continua, de nuevo, de acuerdo con Zheng, et al. (2018) la temperatura no tiene un impacto tan alto en la variación de los registros de la concentración, pero aun así se debe de considerar para tener un mejor ajuste en los datos.*

De acuerdo con Zheng, et al, (2018) los niveles de las concentraciones también tienen un impacto en la variación de las mediciones, esto se incorpora considerando el día de la semana, la hora del día y la temporada del año. Se asume que las variables meteorológicas tienen una distribución normal en cada temporada y que la selección de la muestra se puede considerar aleatoria. Debido a que en sistemas naturales es difícil controlar las variables y garantizar las repeticiones, es posible aumentar la muestra de las mediciones y así reducir el riesgo de confundir efectos (Quinn & Keough, 2002).

Los métodos estadísticos para evaluar el desempeño de los sensores son:

- *Coeficiente de correlación*

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

- *RMSE*

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}$$

- *Desviación estándar de residuales*

$$S_{res} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{df}}$$

- *Index of agreement*

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^k}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^k}\right]$$

De acuerdo con la Comisión Europea (2019b), los primeros tres estadísticos son relevantes para evaluar el desempeño de los sensores de bajo costo ya que dan un panorama más completo. Por último, el index of agreement es utilizado para evaluar el desempeño de un modelo de predicción (Zainuri, Jemain, & Muda, 2015). En este caso, se puede considerar que el resultado de la medición del sensor de bajo costo es la predicción que se compara contra el valor real del registro de la SEMADET."

Además del análisis estadístico, se generaron gráficas de dispersión de los residuales contra temperatura y contra humedad relativa. Lo anterior para identificar las posibles relaciones entre la variación de uno con el resultado generado.

3.1 Sensores considerados para esta evaluación

Se realizó el comparativo de desempeño de tres marcas de sensores diferentes, los cuales fueron colocados en el mismo sitio que una estación de monitoreo atmosférico de Jalisco del SIMAJ, con equipos de referencia para los contaminantes criterio, como se muestra a continuación:

Tabla 2. Sensores de bajo costo evaluados y métodos de medición

Marca	Sensor de bajo costo		Estación de monitoreo atmosférico	
	Parámetro comparado	Método de medición	Parámetro comparado	Método de medición
Ecomesure, sensor ECOMSMART	O_3	Electrónico	O_3	Fotometría UV
	NO_2		NO_2	Quimioluminiscencia
Elos, by Elichens/ S4lot	PM_{10}		PM_{10}	Gravimetría y/o atenuación Beta
	NO_2		NO_2	Quimioluminiscencia
	O_3		O_3	Fotometría UV
Thermo ADR-1500	PM_{10}		PM_{10}	Gravimetría y/o atenuación Beta
BETTAIR 210802002 Modelo MK2.5	O_3			
	NO_2			
	PM_1			
	$PM_{2.5}$			
	PM_{10}			

4. Resultados

Las comparativas de los datos se realizaron de la siguiente manera:

- Sensor EcoMesure y Elos se comparó contra datos registrados por la estación Vallarta
- Sensor ThermoADR se comparó contra los datos registrados por la estación Santa Fe.
- Sensor BETTAIR se comparó contra los datos registrados por la estación Centro.

Los periodos de análisis fueron distintos para el sensor ThermoADR que para los sensores EcoMesure y Elos by Elichens/ S4lot; mientras que el periodo para el sensor BETTAIR fue del 26 de junio al 15 de noviembre del 2022.

Tabla 3. Estadísticas de desempeño de los sensores de bajo costo

SENSOR	CORRELACIÓN DE PEARSON	RMSE	ÍNDICE DE ACEPTACIÓN	PROMEDIO DE MEDICIONES SIMAJ	PROMEDIO DE RESIDUALES	DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE RESIDUALES
ECOMESURE PM10	0.68	81.01	0.39	28.66	-55.43	59.10
ELOS PM10	0.51	20.97	0.64	30.21	7.98	19.40
THERMO ADR 1500 PM10	0.45	44.17	0.42	42.43	38.62	21.45
ECOMESURE O3	0.89	0.02	0.82	0.03	-0.01	0.02
ELOS O3	0.32	0.03	0.56	0.03	-0.003	0.03
ECOMESURE NO2	-0.01	0.04	0.24	0.02	-0.032	0.02
ELOS NO2	-0.04	0.01	0.36	0.02	0.004	0.01
BETTAR PM10	0.69	14.53	-0.0128	56.66	0.748	4.00
BETTAIR O3	0.89	0.02	0.561	0.03	0.004	3.99
BETTAIR CO	0.76	0.75	-0.027	1.005	-0.027	4.00
BETTAIR SO2	0.25	0.002	-0.044	0.0005	-0.044	4.00

Fuente: González Figueredo, 2021

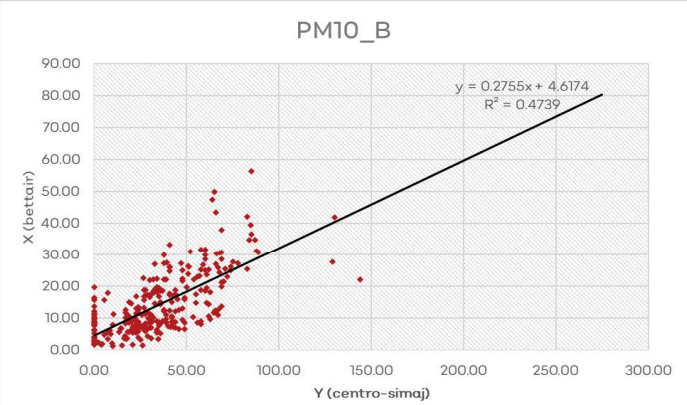
Entre las especificaciones con las que cuentan los sensores, es que cuentan con cartuchos con una vida útil (celdas electroquímicas y partículas), donde dentro de este período, la calidad de los datos está garantizada, siendo necesario su posterior reemplazo.

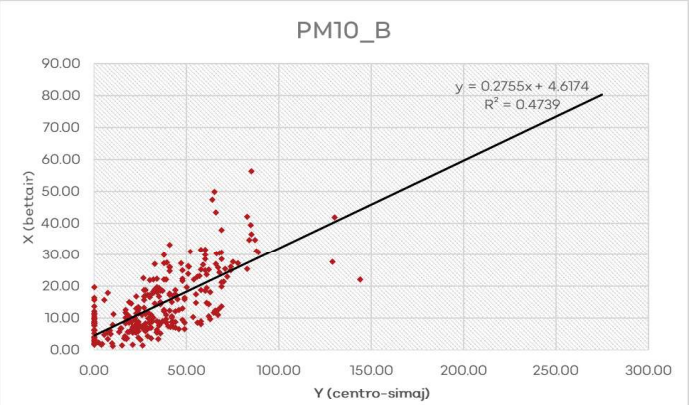
- **Ecomesure:** Sus cartuchos cuentan con un tiempo estimado de vida de 1 año.
- **Thermo ADR:** Cuenta con diversos componentes que requieren de mantenimiento pero no se específica con qué periodicidad debe de realizarse.
- **ELOS:** No específica el tiempo de vida útil de los cartuchos.
- **Bettair:**El cartucho cuenta con una vida útil de 2 años.

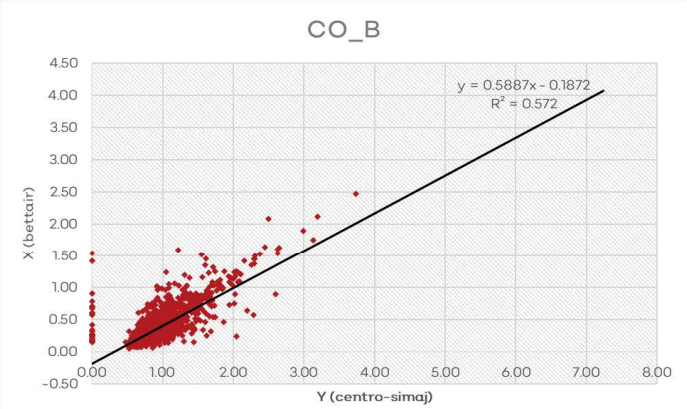
4.1 Análisis estadísticos - Sensor Bettair

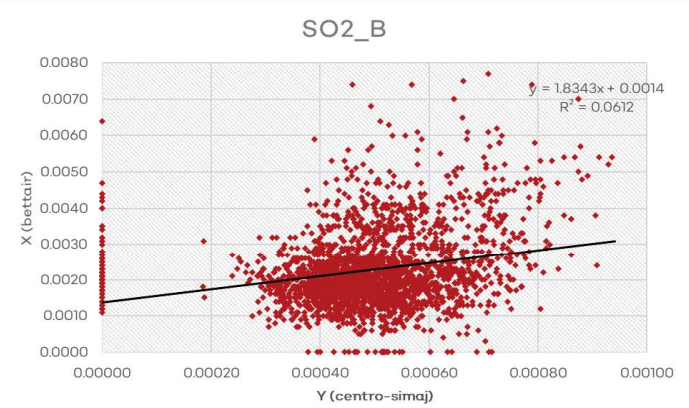
Con los datos se tuvo que hacer un ajuste de horario a UTC de 6 horas, y con ello ver el comportamiento de los contaminantes medidos en una estación de referencia vs los sensores de BETTAIR.

4.1.1 Correlación con estación centro SIMAJ



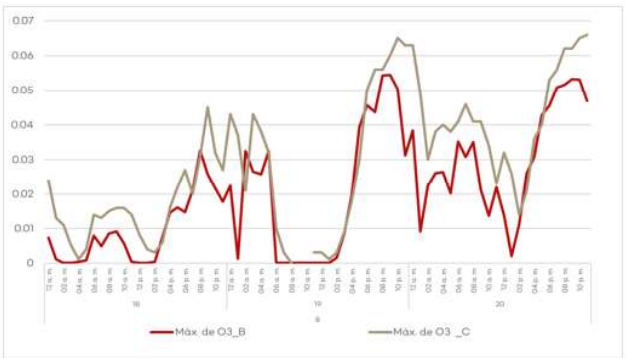


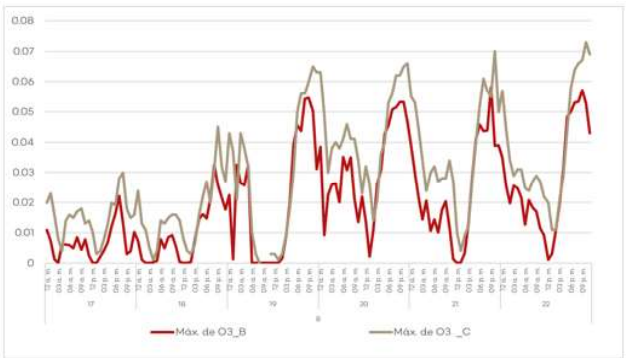




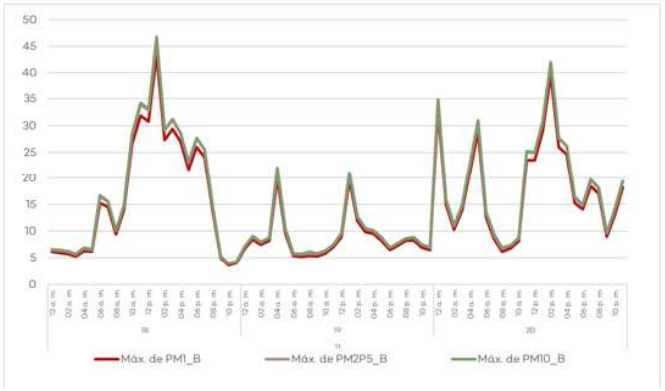
4.1.2 Comparativa de mediciones

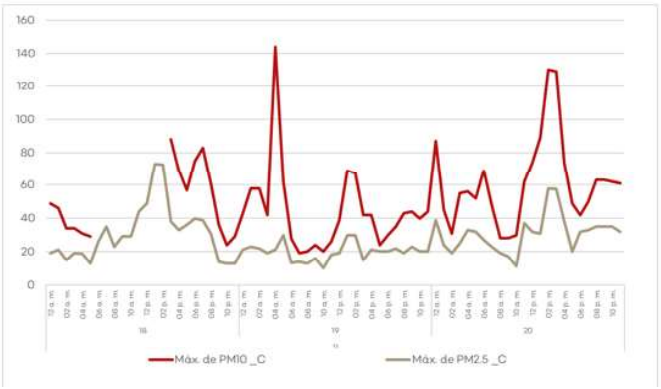
Ozono (O_3)

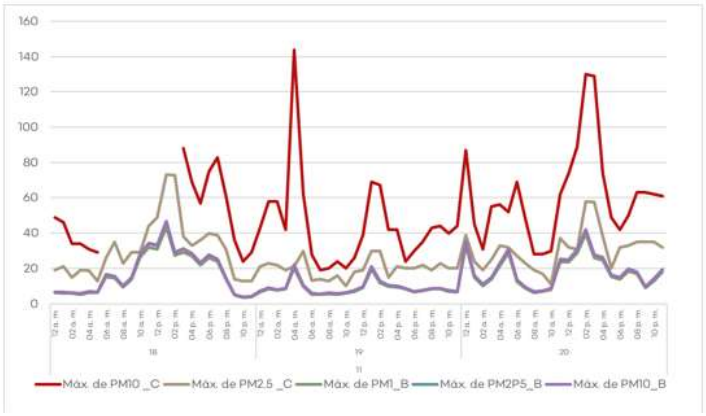




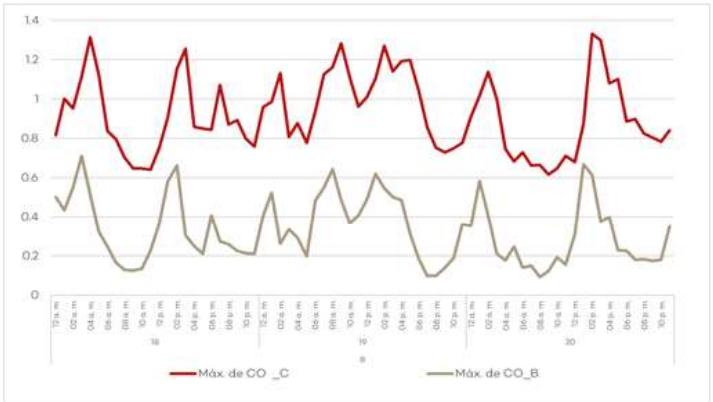
Partículas menores a 10 micrómetros (PM10)



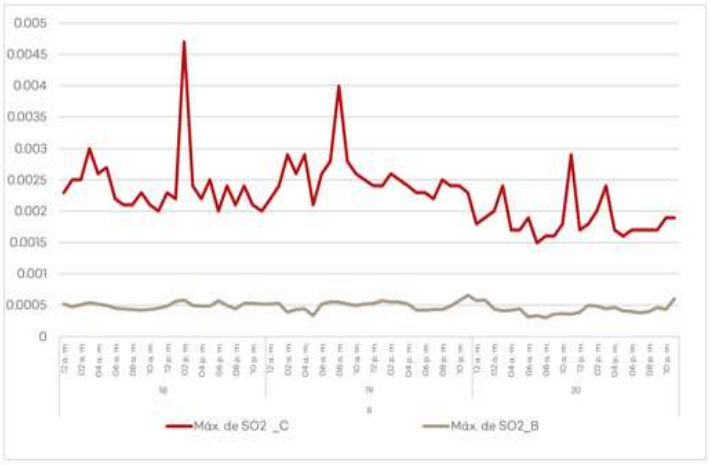


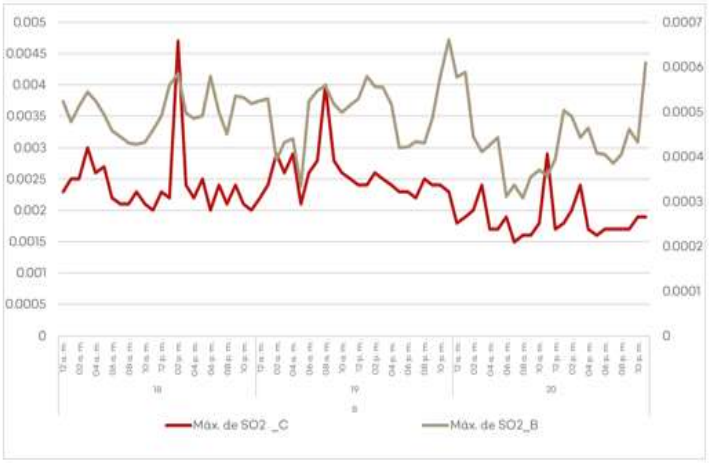


Monóxido de carbono (CO)



Dióxido de azufre (SO_2)





5. Conclusiones sobre el comparativo de mediciones de los equipos

A continuación, se muestran las principales conclusiones generadas por los colaboradores técnicos respecto a las comparaciones de los sensores de bajo costo.

Tabla 4. Conclusiones sensores de bajo costo

Marca	Conclusiones
Ecomesure, sensor ECOMSMART	Las variaciones son muy amplias y se alejan de las concentraciones registradas por los equipos del SIMAJ. En caso contrario a lo que se observó con eLichens, parece que este aparato necesita una recalibración, pero para limitar sus registros de acuerdo con las condiciones actuales. En el caso específico de NO2 se concluye que el sensor no está preparado para trabajar en las condiciones atmosféricas de Guadalajara y que esto se debe integrar al procesamiento de los datos para corregir el error que incrementa con la temperatura y con la baja en la humedad relativa.
Elos, by Elichens/ S4lot	Logran representar las oscilaciones en las concentraciones a lo largo del día, pero su algoritmo penaliza mucho la variación, debiéndose modificar la sintonización de sus algoritmos de ajuste, de tal forma que se ajusten más a los datos reales. Se recomienda volver a evaluar los datos de NO_2 tras la actualización del software para corroborar que estos nuevos registros se acercan más a las concentraciones obtenidas por la estación de SIMAJ.
Thermo ADR 1500	No está registrando concentraciones de forma correcta y se asume que se debe a un problema con este, no un problema de calibración.
BETTAIR	Un valor cercano a 1, nos indica una correlación positiva. En este caso las variables estarían asociadas en sentido directo. Los valores de ozono son los que se encuentran más próximos a un valor de

	uno, y aunque como tal no se alcanza este valor, en el comportamiento de un día con 24 hr, ambas mediciones tiene una similitud de comportamiento en sus fluctuaciones al compararlas con un método de referencia de las estaciones del SIMAJ.

Fuente: Tomado de González Figueredo,2021

5.1 Conclusiones sobre el uso de sensores para monitoreo de calidad del aire

Si bien los análisis estadísticos generados por el ITESO para este primer ejercicio de comparativo entre sensores y equipos de referencia o equivalentes, nos permite identificar las diferencias entre las mediciones de ambos tipos de equipos, en este primer ejercicio se observó un mejor desempeño con el equipo Elos by Elichens/ S4lot, del cual se sugiere hacer nuevos análisis derivados de la actualización de software mencionada.

En el caso del sensor BETFAIR, los análisis estadísticos arrojan una asociación directa de las variables, sugiriendo un buen desempeño por parte de estos equipos.

Sin embargo, este ejercicio permite a usuarios de estas tecnologías conocer más a detalle las diferencias entre equipos, lo que facilita identificar un mejor uso y ajustes metodológicos y técnicos a los estudios.

Si bien, como se mencionó anteriormente estos equipos no sustituyen a los equipos de referencia o equivalentes, si representan una herramienta de interés científico para el desarrollo de análisis de exposición humana, generación de líneas base de emisión en sitios específicos, y para modelar la calidad del aire creando redes de sensores.

6. Bibliografía

Agricultural and Meteorological Software. Consulta de calculadora para el index de agreement. https://agrimetsoft.com/calculators/Index%20of%20Agreement

Centro Mario Molina.2018. Análisis de la contaminación en mega ciudades mexicanas mediante la utilización de redes de sensores de bajo costo de calidad del aire. https://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2019/05/8.resumenEjecutivo_Equipo-de-bajo-costo-19dic18_Tono2018.pdf

Diario oficial de la federación. Normatividad en Materia de Calidad del Aire para México. Disponible en: http://diariooficial.segob.gob.mx/index.php

González Figueredo Carlos , Egurrola Hernández Edgar Alan,2021. Análisis de Desempeño de sensores de Calidad del Aire electrónicos. Informe para SEMADET. Octubre, 2021.

Anexo 1

Características de los sensores probados



a) Sensor ECOMESURE modelo ECOMSMART

Tabla 1. Rango y precisión de los sensores de gases de ECOSMART

	RANGO	PRECISIÓN
O3	0 a 20ppm	15 ppb
NO2	0 a 20 ppm	15 ppb

b) Sensor Elos, by Elichens/ S4Iot



Tabla 2. Rango y precisión de los sensores de gases de eLos

	RANGO	PRECISIÓN
PM10	0 a 500 µg/m^3	10 µg/m^3
NO2	0 a 5 ppm	20 ppb
O3	0 a 5 ppm	20 ppb

c) Sensor Marca Thermo Scientifics Modelo ADR-1500



Tabla 3. Rango y precisión de lo sensores de gases de Thermo ADR-1500

	RANGO	PRECISIÓN
PM10	0.001 a 400 µg/m^3	0.1 µg/m^3

d) Sensor BETTAIR

Especificaciones

Modelo MK2.5 **Número de serie** 210802002

Tabla 4. Especificaciones mediciones de cada parámetro

	RANGO	PRECISIÓN
O3 (ppm)	0-20	±5 ppb
NO (ppm)	0-20	±4 ppb
NO2 (ppm)	0-20	±3 ppb
CO (ppm)	0-500	±30 ppb
SO2 (ppm)	0-50	±15 ppb
PM1 (ug/m3)	0-1000	± 2
PM2.5 (ug/m3)	0-1000	± 2
PM10 (ug/m3)	0-1000	± 2
Temperatura (°C)	de -40 a 85	±0.4
Humedad relativa (%)	0 a 85	± 1.5%
Presión (hPa)	300-1500	±0.6
Ruido (dB)	35-120	±1



Los nodos estáticos BETTAIR miden además CO2, H2S, VOC, todos con una muestra ajustable de los intervalos de muestras

180-COE2606-23269

Ambient Collocation Study of Three Bettair Air Quality Devices in Cambridge UK

Independent Assessment Report

22 September 2021

Prepared by

Professor Roderic Jones, Dr Olalekan Popoola, Dr Shiwei Fan and Ray Freshwater

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

Yusuf Hamied Department of Chemistry

University of Cambridge, UK

Table of Contents

1 Introduction 1
2 Methodology 1
2.1 Site description 1
2.2 Reference measurement techniques 2
2.2.1 Gas species instrumentation 2
2.2.2 Particulate matter and weather station instrumentation 2
2.3 Calibration of reference instruments 3
2.4 Low-Cost Sensor nodes-Bettair devices 3
2.5 Statistical methods 4
3 Results and discussions 4
3.1 Intercomparison of measurement techniques 4
3.1.1 April 2021 intercomparison 4
3.2 Intra-comparison of Bettair units 10
3.2.1 April 2021 intra-comparison 10
4 Conclusions 15

List of Figures

Figure 2.1. Map and picture of study location in Cambridge, UK. 2
Figure 2.2. picture showing the installation for the three Bettair units relative to the reference gas inlet and the PM instrument. 4
Figure 3.1. Time series, scatter plot and probability distribution of residual plots for Bettair MK20114 for all the measured parameters in April 2021. 7
Figure 3.2. Time series, scatter plot and probability distribution of residual plots for Bettair MK20120 for all the measured parameters in April 2021. 8
Figure 3.3. Time series, scatter plot and probability distribution of residual plots for Bettair MK20121 for all the measured parameters in April 2021. 9
Figure 3.4. Scatter and histogram plots of CO, NO, NO_2, and O_3 for Bettair MK20121 against Bettair MK20114 and MK20120 in April 2021. 12
Figure 3.5. Scatter and histogram plots of PM_1, $PM_{2.5}$, and PM_{10} for Bettair MK20121 against Bettair MK20114 and MK20120 in April 2021. 13
Figure 3.6. Scatter and histogram plots of temperature (T) and relative humidity (RH) for Bettair MK20121 against Bettair MK20114 and MK20120 in April 2021. 14

List of Tables

Table 2.1. Reference instrumentations for gas species, particulates, and meteorological measurements 3
Table 3.1. Collocation statistics for Bettair MK20114 for the month of April 2021. 6
Table 3.2. Collocation statistics for Bettair MK20120 for the month of April 2021. 6
Table 3.3. Collocation statistics for Bettair MK20121 for the month of April 2021. 6
Table 3.4. Intra-comparison statistics for Bettair MK20121 against Bettair MK20114 for 1 April to 30 April 2021. 11
Table 3.5. Intra-comparison statistics for Bettair MK20121 against Bettair MK20120 for 1 April to 30 April 2021. 11

1 Introduction

This report presents the collocation assessment of a set of low-cost sensors (LCS) for air quality at a refence monitoring station in Cambridge, UK. The LCS are developed by Bettair Cities, Spain where they were originally characterised. Compared to the UK, Spain experiences Mediterranean climatology and part of the manufacturer's interests include evaluating the performance of the units in a slightly different ambient environment. In addition, it will be informative to see if the out-of-the box performance of the unit under a different urban condition. This exercise is of interest because it will inform the wider applicability of these LCS devices particularly in Europe and beyond.

2 Methodology

2.1 Site description

The outdoor collocation exercise was conducted in Cambridge, UK. The Chemistry Department, University of Cambridge has been operating a reference air quality and greenhouse gas station with meteorological station since the April 2014. All measurements are made on the roof of the building (52.19761 N and 0.12529 E), located in the city centre close to a quiet road (Figure 2.1). Although the sampling inlet is approximately 22 m above mean sea level, long-term measurements will be influenced by both local and regional emissions (Figure 2.1). The Cambridge reference station can be classified as a typical urban background station with measurements. Except for the weather station and particulate instrument which are both located outdoors, all other instruments are housed indoors on the floor below the roof of the building.

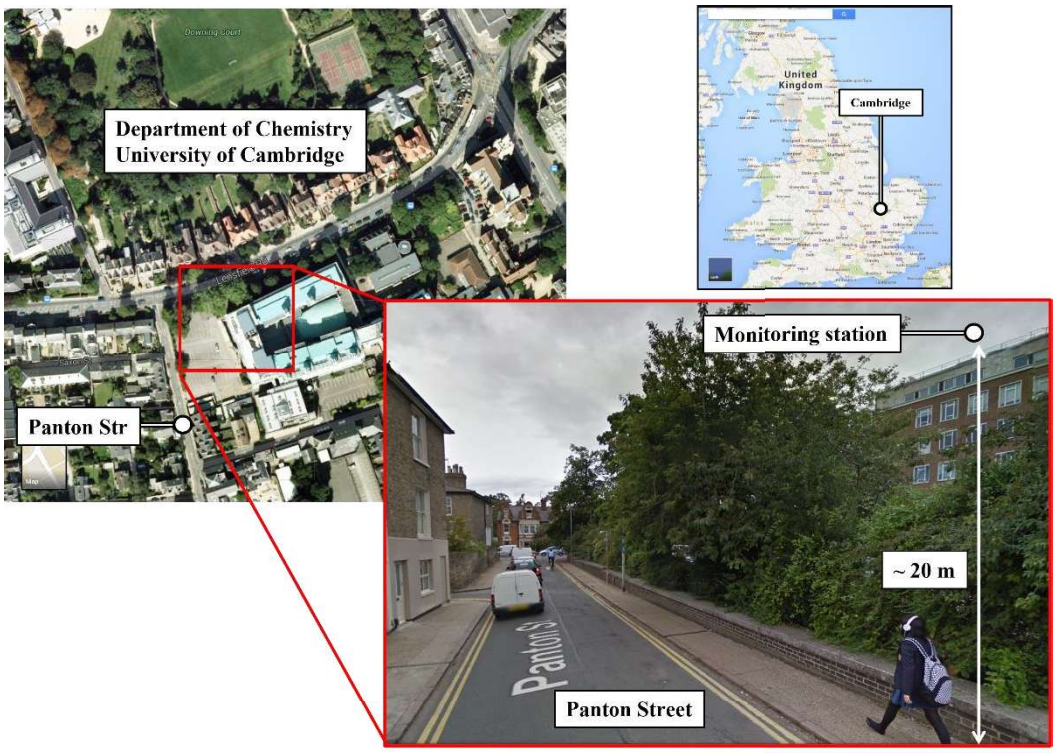


Figure 2.1. Map and picture of study location in Cambridge, UK.

2.2 Reference measurement techniques

2.2.1 Gas species instrumentation

Outdoor air is pumped through polyvinylidene fluoride (PVDF) inlet manifold from which each analyser samples air via fluorinated ethylene propylene (FEP) inlet. Data are reported as 1 minute averages and aggregated to hourly averages for comparison in this report. All the reference instruments are serviced twice annually to ensure the desired precisions and accuracies are achieved. Thermo Scientific model 48i CO analyser, 42i NO-NO_2-NO_X, 43i SO_2 and 49i O_3 are used for measuring carbon monoxide (CO), nitic oxide (NO), nitrogen dioxide (NO_2), sulphur dioxide (SO_2), and ozone (O_3) respectively. A summary of the various instrumentations for the different parameters is presented in Table 2.1.

2.2.2 Particulate matter and weather station instrumentation

Both the particulate matters (as PM_1, $PM_{2.5}$, PM_4 and PM_{10}) and weather instruments are located outdoors close to the inlet manifold that supplies the gas analysers. Data from these two instruments are also reported as 1-minute averages. Palas Fidas 200 S and Lufft WS 600 Met station are used in measuring the particulates and meteorology (Table 2.1).

Table 2.1. Reference instrumentations for gas species, particulates, and meteorological measurements

Instrument type	Instrument	Measurement method	Detection limit
CO analyser	Thermo Scientific ® Model 48*i* CO Analyser	IR absorption, GFC	40 ppb
NO-NO_2-NO_X analyser	Thermo Scientific ® Model 42*i*-NO-NO_2-NO_X	Chemiluminescence	0.40 ppb
O_3 analyser	Thermo Scientific ® Model 49*i* O_3 analyser	UV photometric	0.50 ppb
SO_2 analyser	Thermo Scientific ® Model Model 43*i* SO_3 analyser	Pulsed fluorescence	< 0.5 ppb
Zero Air Supply (For NO, NO_2, O_3, SO_2 and CO)	Thermo Scientific ® Model Model 111 analyser	Filter, scrubber, activated and heated reactor	N.A.
Dynamic calibrator	Thermo Scientific ® Model Model 146*i* analyser	MFC (0 – 1000 sccm) Output (0 – 10,000 sccm)	N.A.
CO_2 and CH_4 analyser	Picarro ® G2201-*i* analyser	CRDS	200 (^{12}C) for CO_2 10 (^{13}C) for CO_2 50 (^{12}C) for CH_4 10 (^{13}C) for CH_4
Particulate instrument (PM_1, $PM_{2.5}$, PM_4 and PM_{10})	Fidas ® 200 S	Optical aerosol spectrometer: light Lorenz-Mie light scatter	
Weather station (wind speed, wind direction, temperature, humidity, pressure, and precipitation)	Lufft ® WS 600 Met station		±0.2°C (-20 to 50°C) ±2% RH ±1.5 hPa (pressure) ±3°(WD) ±0.3 ms^{-1}(WS) 0.01 mm (precipitation)

2.3 Calibration of reference instruments

Zero and span calibration are done daily just after mid-night, these data are subsequently used for ratification of the raw measurements. A standard gas cylinder mix containing 205.6 ppm CO (±2%) and 19.9 (±2%) ppm NO from Air Liquide, UK is used for laboratory calibration. A dynamic gas calibrator (Thermo Scientific Model 141i) is used to dilute the high concentration CO and NO gas using zero gas generated from Thermo Scientific Model 111 Zero Air Supply. Zero gases generated contain < 0.1 ppm (CO and hydrocarbons), < 0.8 ppb (O_3) and < 0.5 ppb (NO, NO_2, SO_2, H_2S and NH_3.

2.4 Low-Cost Sensor nodes-Bettair devices

Three Bettair units (MK20114, MK20120 and MK20121) were collocated with the reference station in Cambridge from 18 March till 10 of July 2021. All three units were installed as close to the reference gas inlet and PM instrument as possible (Figure 2.2). Data from the first couple of weeks of deployment are excluded as the units were stabilising and troubleshooted by the manufacturer. Based on manufacturer's recommendation, only data from 1 April till end of the deployment will be used in the evaluation presented in this report. The units have a default sampling resolution of 5-minutes which were averaged to hourly resolution for the assessment

with the reference measurements. Parameters measured by the Bettair units include CO, NO, NO_2, O_3, PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}, temperature and relative humidity (RH). Unit MK20114 suffered software failure between 19 April and 24 May 2021.

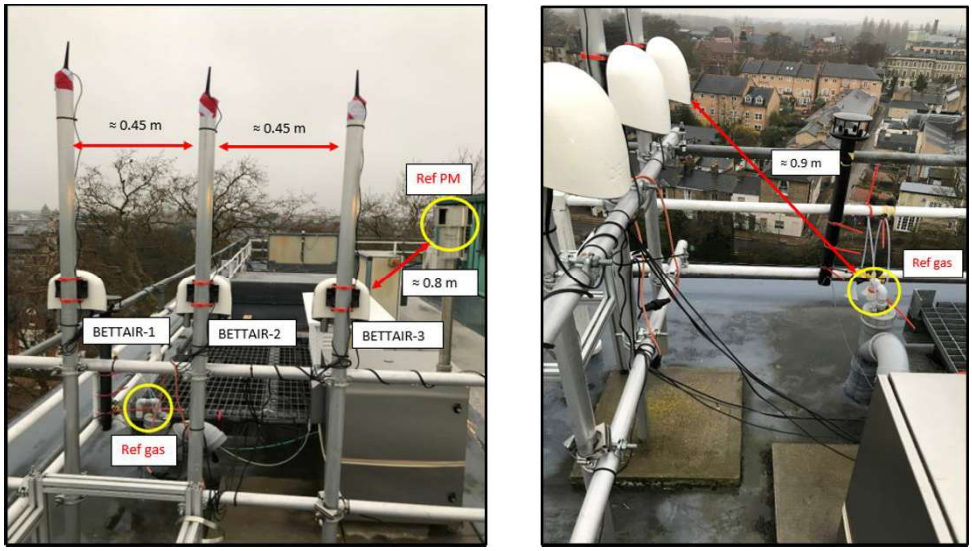


Figure 2.2. picture showing the installation for the three Bettair units relative to the reference gas inlet and the PM instrument.

2.5 Statistical methods

All the evaluations presented in this report use hourly averaged data. Although data for approximately three months were collected during this study, the performance assessment will use measurements from 1-31 April 2021. This is partly due to higher variability in the signals of the reference measurement during this period, compared to the other summer months of May and June 2021 when the measurements at the urban background station were generally low for most parameters except O_3. The performance of the LCS units was assessed against the reference measurements using statistical parameters such as bias (difference between Bettair unit and reference), root mean square (RMSE), Pearson's correlation (r), and linear fit regression parameters: gain; offset; and the coefficient of determination (R^2).

3 Results and discussions

3.1 Intercomparison of measurement techniques

3.1.1 April 2021 intercomparison

Figures 3.1 to 3.3 present the timeseries, scatter and residual distribution plots for the performance of the out-of-box Bettair data relative to the reference unit for the month of April 2021. The reference O_3 analyser failed from 8-11 April 2021 and 15-26 April 2021, while the reference PM also failed between 22-26 April 2021. Annual servicing of the PM and gas

instruments were done between 27 and 30 April 2021, the data corresponding to this period were also excluded from the analysis. In all the figures, the red line represents reference data, while the blue, green and black are the Bettair measurements for units MK20114, MK20120 and MK20121 respectively. All the LCS temperature, RH, PM (except PM_{10} for MK20114, r=0.72) NO_2 and O_3 reading show excellent correlation with reference unit during this comparison period (r > 0.85, see Tables 3.1 to 3.3). A good to moderate correlation (0.6 to 0.77) was observed for CO and NO in this period. CO, RH and PM_{10} showed significant RMSE and negative bias relative to the reference data. This is also reflected in offsets for the linear regression fit for these parameters. Both NO and NO_2 had lower sensitivity (overestimating the true reading) compared to the reference, with gains < 0.6 (except NO for unit MK20121, gain = 0.72). The over estimation of these two species is more significant NO_X ($NO+NO_2$) as observed between 1-5 April 2021.

Table 3.1. Collocation statistics for Bettair MK20114 for the month of April 2021.

Species (units)	offset	gain	R^2	RMSE	bias	Pearson's r	N of data
CO (ppb)	-35.943	1.2379	0.5	29.51	-6.62	0.71	417
NO (ppb)	0.7209	0.3344	0.36	4.79	3.01	0.6	417
NO_2 (ppb)	-0.7807	0.9302	0.8	2.75	1.31	0.89	417
O_3 (ppb)	0.9268	0.8859	0.8	4.69	3.49	0.9	179
PM_1 (µg/m^3)	1.4614	0.7964	0.89	1.72	-0.45	0.94	417
$PM_{2.5}$ (µg/m^3)	3.1345	0.5368	0.8	4.15	0.64	0.9	417
PM_{10} (µg/m^3)	8.3928	0.4952	0.52	7.11	-3.98	0.72	417
RH (%)	2.0743	1.0465	0.99	5.05	-4.67	0.99	417
Temperature (°C)	1.937	0.7766	0.94	1.26	-0.46	0.97	417

Table 3.2. Collocation statistics for Bettair MK20120 for the month of April 2021.

Species (units)	offset	gain	R^2	RMSE	bias	Pearson's r	N of data
CO (ppb)	-45.079	1.3373	0.51	34.21	-13.16	0.71	663
NO (ppb)	-0.3369	0.58	0.49	4.8	2.71	0.7	663
NO_2 (ppb)	0.6697	0.785	0.8	2.9	1	0.89	663
O_3 (ppb)	3.0133	0.7828	0.73	7.22	6.03	0.86	229
PM_1 (µg/m^3)	-0.2738	1.0211	0.89	2.78	0.12	0.95	479
$PM_{2.5}$ (µg/m^3)	1.6617	0.6457	0.9	5.99	2.65	0.95	479
PM_{10} (µg/m^3)	7.371	0.544	0.8	8.49	-0.94	0.89	479
RH (%)	1.8031	1.0255	0.99	3.79	-3.22	0.99	663
Temperature (°C)	2.5134	0.7478	0.96	1.58	-0.59	0.98	663

Table 3.3. Collocation statistics for Bettair MK20121 for the month of April 2021.

Species (units)	offset	gain	R^2	RMSE	bias	Pearson's r	N of data
CO (ppb)	-27.822	1.2826	0.51	36.64	-19.35	0.72	671
NO (ppb)	-0.7189	0.7219	0.59	3.84	2.13	0.77	671
NO_2 (ppb)	0.0633	0.8017	0.77	3.2	1.6	0.88	671
O_3 (ppb)	2.9727	0.8079	0.75	6.1	4.75	0.87	232
PM_1 (µg/m^3)	-0.3139	0.9793	0.89	2.8	0.48	0.95	487
$PM_{2.5}$ (µg/m^3)	1.8733	0.6396	0.91	5.93	2.42	0.95	487
PM_{10} (µg/m^3)	7.6282	0.5692	0.8	8.07	-2.07	0.89	487
RH (%)	2.403	1.034	0.99	4.71	-4.27	0.99	671
Temperature (°C)	2.1072	0.7595	0.96	1.45	-0.19	0.98	671

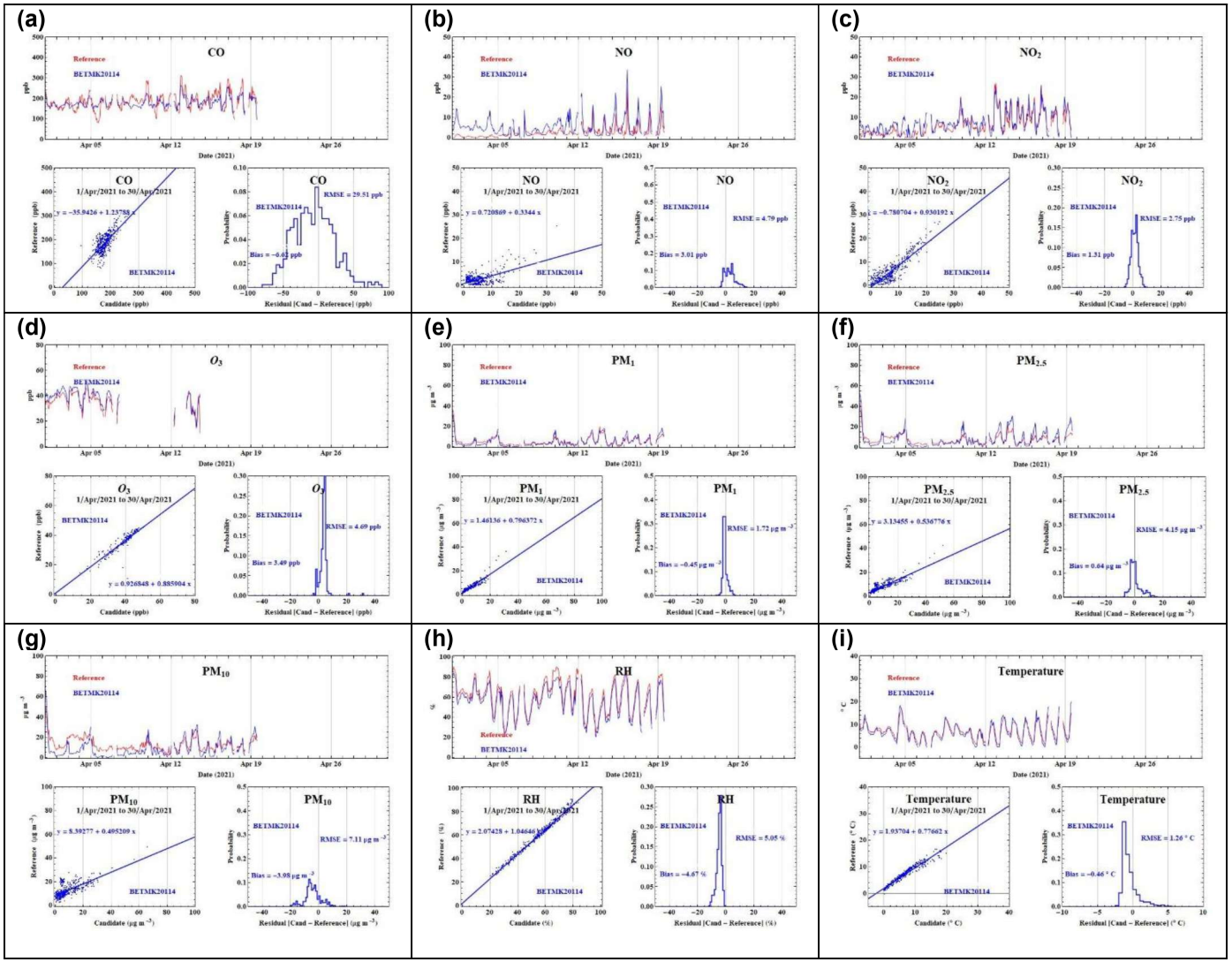


Figure 3.1. Time series, scatter plot and probability distribution of residual plots for Bettair MK20114 for all the measured parameters in April 2021.

180-COE2606-23269

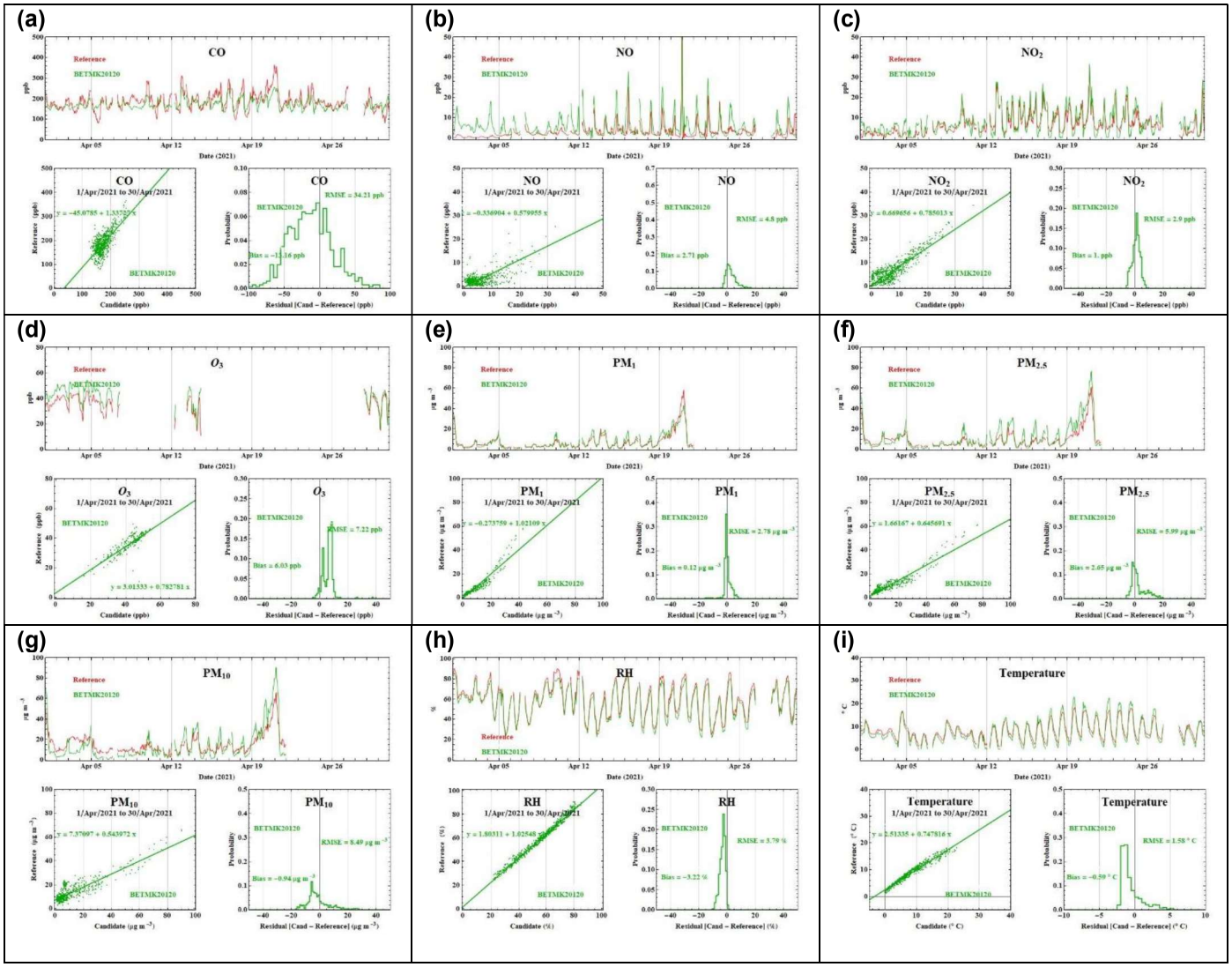


Figure 3.2. Time series, scatter plot and probability distribution of residual plots for Bettair MK20120 for all the measured parameters in April 2021.

180-COE2606-23269

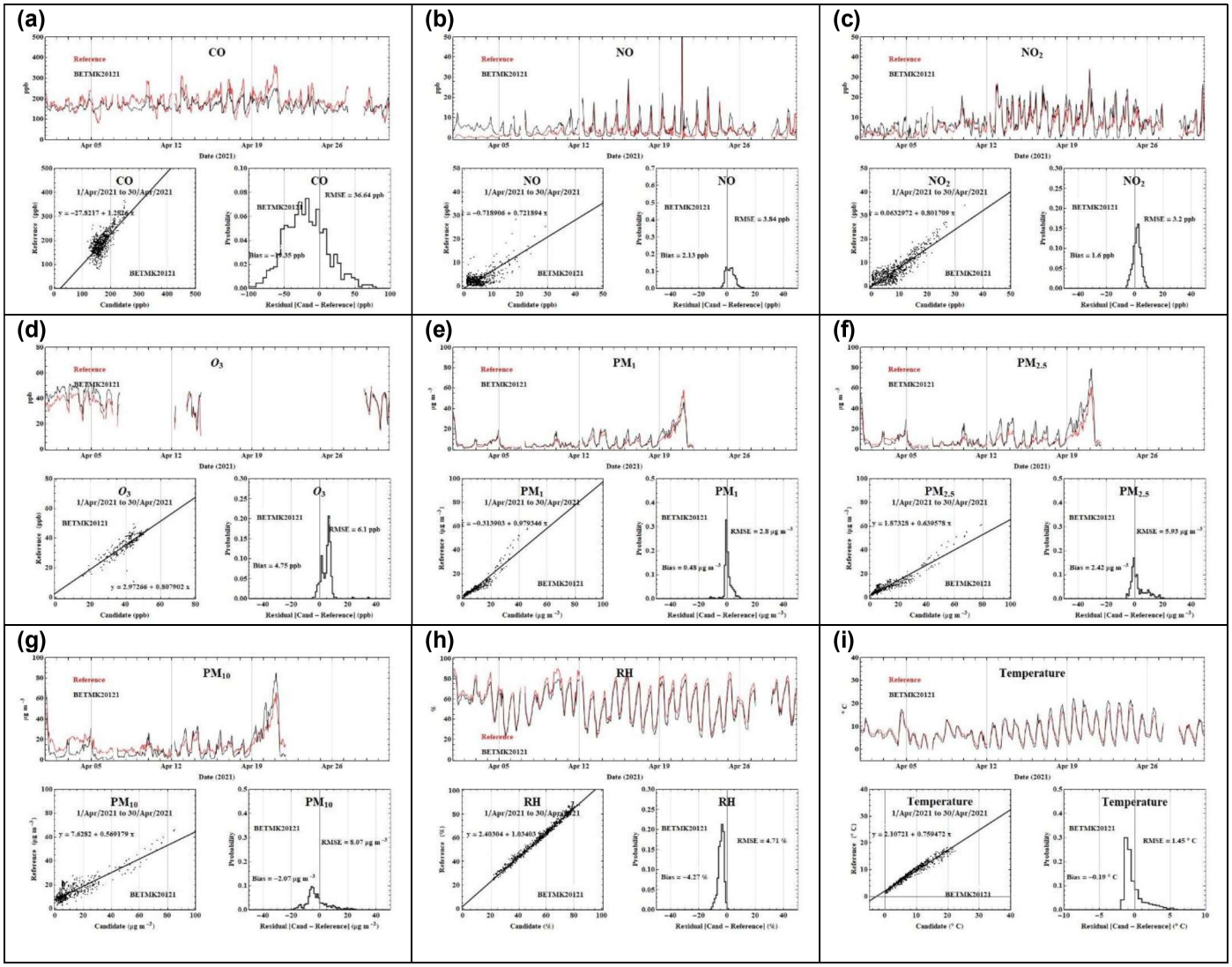


Figure 3.3. Time series, scatter plot and probability distribution of residual plots for Bettair MK20121 for all the measured parameters in April 2021.

180-COE2606-23269

3.2 Intra-comparison of Bettair units

3.2.1 April 2021 intra-comparison

This section presents the intra-comparison between Bettair units. Measurements from Bettair units MK20114 and MK20121 were compared with those from Bettair unit MK20121. The scatter and histograms of measurements are shown in Figure 3.10 for CO, NO_2 and O_3, Figure 3.11 for PM_1, $PM_{2.5}$ and PM_{10}, and Figure 3.12 for temperature and relative humidity. The scatter plots show that the data points fall closely to 1:1 line, which indicates good agreements between sensors from different units. This also reflected in the histogram plots in which units MK20120 and MK20121 have a similar shape while unit MK20144 has smaller counts due to less data were collected. The statistics of the intra-comparison of unit MK20121 against unit MK20114 and unit MK20120 are given in Table 3.10 and Table 3.11 respectively. The gains of the species are between 0.84 to 1.11 for unit MK20121 against unit MK20114 and between 0.82 and 1.04 for unit MK20121 relative to unit MK20120. Among the species, NO has the smallest gains, i.e. 0.84 for unit MK20114 and 0.82 for unit MK20120. The offsets of the species except CO are small between -0.49 to 1.78 for unit MK20114 and -0.55 to 0.91 for unit MK20120. The CO offsets of MK20114 and MK20120 are -6.73 and -12.83 respectively, which is high but expected due to the ambient CO concentration is high. Both R^2 and Pearson's r are close to 1, which confirms the good agreements between sensors as also shown in the figures.

Table 3.4. Intra-comparison statistics for Bettair MK20121 against Bettair MK20114 for 1 April to 30 April 2021.

Species (units)	offset	gain	R^2	RMSE	bias	Pearson's r	N of data
CO (ppb)	-6.73	0.97	0.9678	12.05	11.31	0.9837	419
NO (ppb)	0.40	0.84	0.9148	1.50	0.51	0.9565	419
NO_2 (ppb)	-0.49	1.11	0.9803	1.06	-0.38	0.9901	419
O_3 (ppb)	-0.02	1.07	0.9910	2.60	-2.31	0.9955	419
PM_1 (µg/m^3)	0.64	1.11	0.9876	1.44	-1.18	0.9938	419
$PM_{2.5}$ (µg/m^3)	0.56	1.05	0.9904	1.38	-1.01	0.9952	419
PM_{10} (µg/m^3)	0.54	1.04	0.9913	1.30	-0.89	0.9956	419
RH (%)	1.78	0.98	0.9992	0.81	-0.62	0.9996	419
Temperature (°C)	0.10	0.98	0.9982	0.19	0.03	0.9991	419

Table 3.5. Intra-comparison statistics for Bettair MK20121 against Bettair MK20120 for 1 April to 30 April 2021.

Species (units)	offset	gain	R^2	RMSE	bias	Pearson's r	N of data
CO (ppb)	-12.83	1.04	0.9831	6.80	5.95	0.9915	697
NO (ppb)	0.42	0.82	0.8708	2.06	0.58	0.9332	697
NO_2 (ppb)	0.91	0.96	0.9790	1.05	-0.59	0.9895	697
O_3 (ppb)	0.05	0.96	0.9872	1.71	1.25	0.9936	697
PM_1 (µg/m^3)	0.05	1.04	0.9988	0.50	-0.33	0.9994	697
$PM_{2.5}$ (µg/m^3)	-0.41	1.01	0.9988	0.52	0.30	0.9994	697
PM_{10} (µg/m^3)	-0.55	0.95	0.9983	1.49	1.21	0.9991	697
RH (%)	-0.53	0.99	0.9989	0.81	1.05	0.9994	697
Temperature (°C)	0.50	0.99	0.9954	0.53	-0.40	0.9977	697

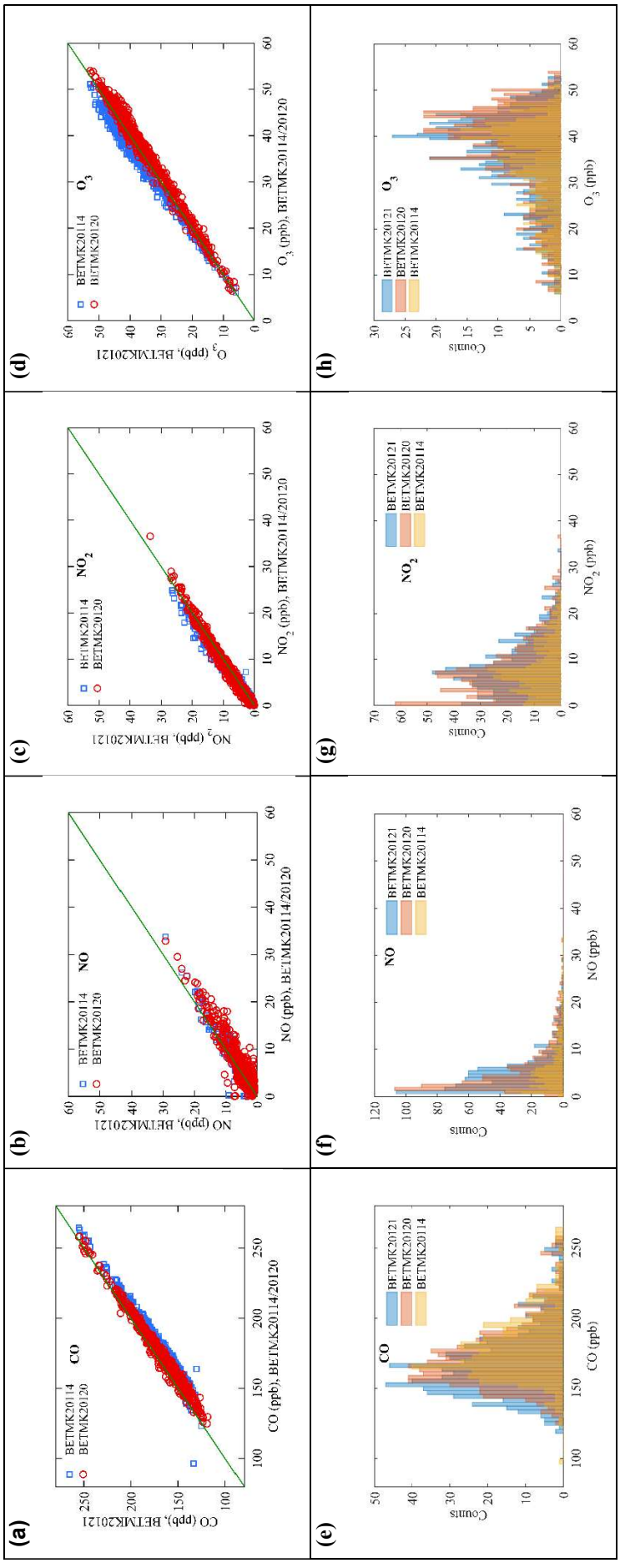


Figure 3.4. Scatter and histogram plots of CO, NO, NO_2, and O_3 for Bettair MK20121 against Bettair MK20114 and MK20120 in April 2021.

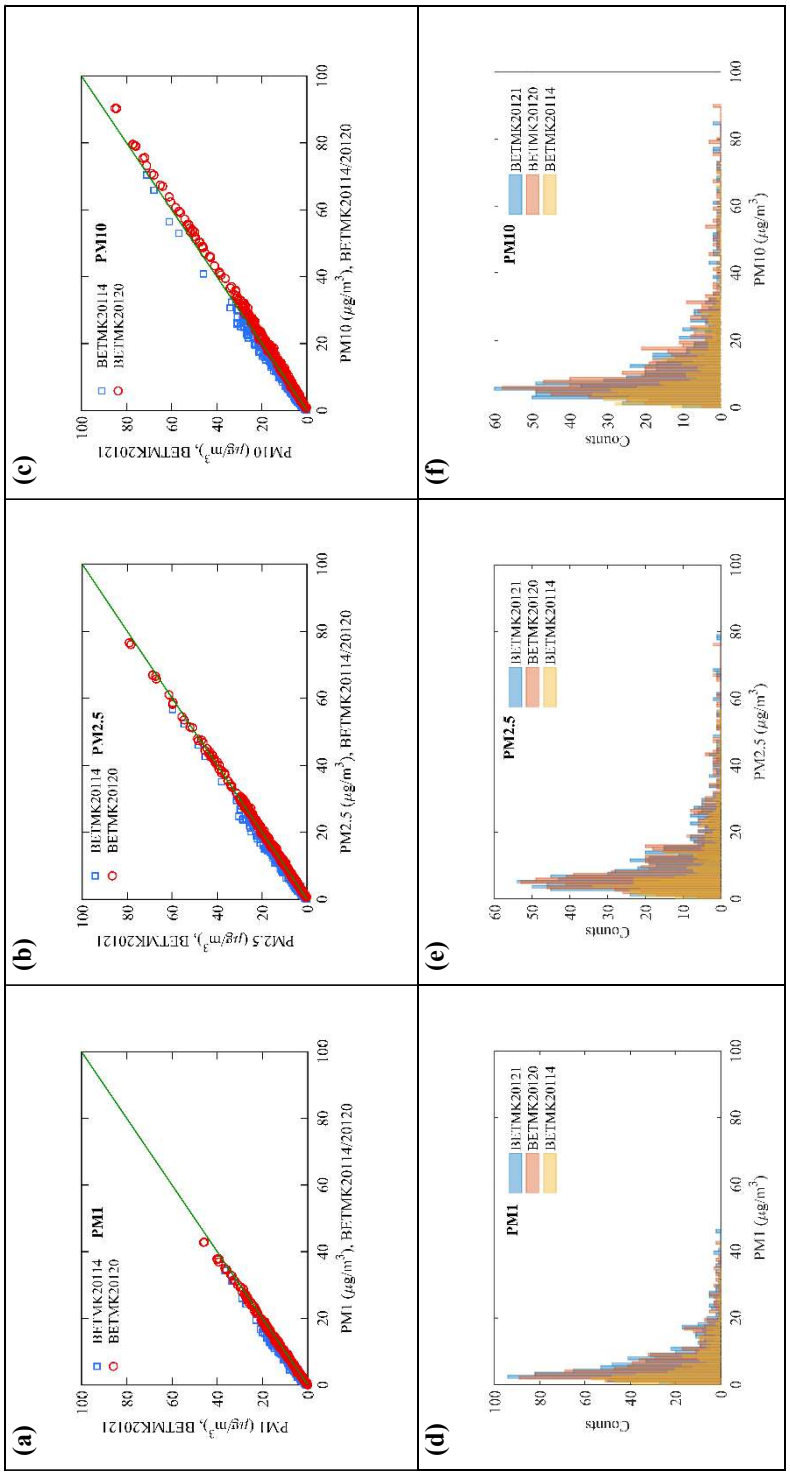


Figure 3.5. Scatter and histogram plots of PM_1, $PM_{2.5}$, and PM_{10} for Bettair MK20121 against Bettair MK20114 and MK20120 in April 2021.

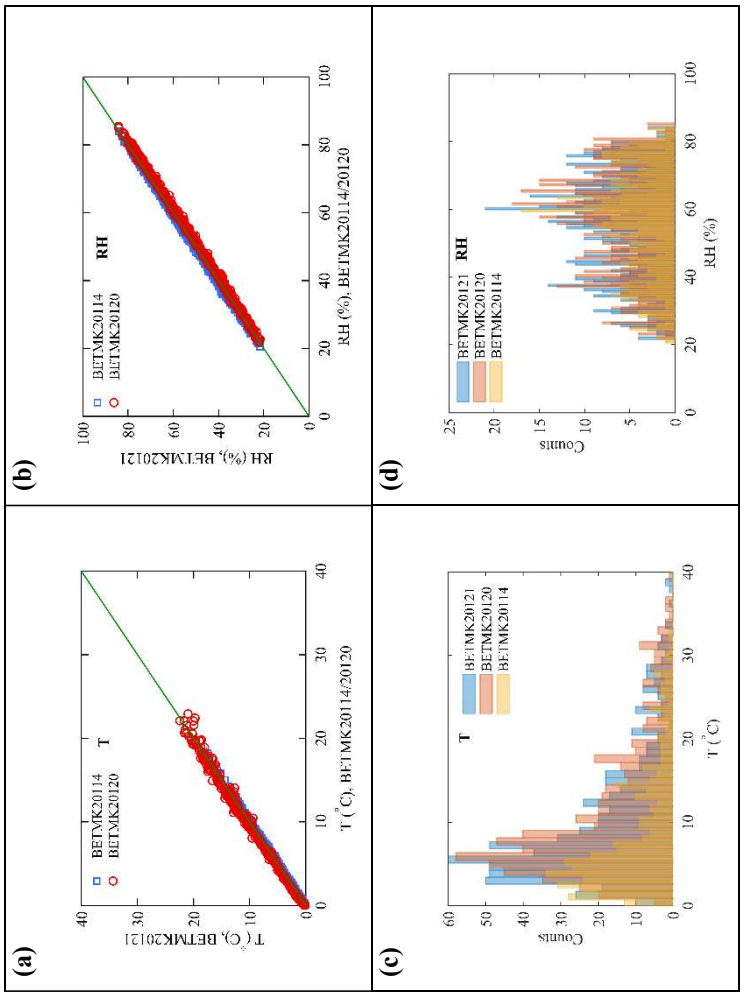


Figure 3.6. Scatter and histogram plots of temperature (T) and relative humidity (RH) for Bettair MK20121 against Bettair MK20114 and MK20120 in April 2021.

4 Conclusions

This report presents the evaluation of three LCS air quality devices developed by Bettair Cities against reference instrumentations under ambient operating conditions. The study was carried out in Cambridge UK between April 2021. Nine parameters including seven pollutants (CO, NO, NO_2, O_3, PM_1, $PM_{2.5}$ and PM_{10}) and two meteorological parameters (temperature and RH) were used in both the intercomparison with reference methods and intra-comparison for the sensor's reproducibility.

Results of the reference comparison based on hourly average data indicated that the out-of-box performance of the O_3, temperature and RH data were generally very good based on the minimal errors and correction required to improve the accuracy. The PM measurements correlated well with the reference but were generally biased high, overestimating the true reading. This is likely because of the effect of high RH on the performance of the optical sensors often used in LCS for PM monitoring. While these errors can potentially be corrected using the statistical parameters from the regression analysis, it is worth noting that there are body of literatures that shows how this can be corrected using the RH readings. CO had the highest error (RMSE) and bias particularly in the first two-third of the deployment period. The moderate correlation suggests this can be corrected for using the information from the intercomparison with the reference. Both NO and NO_2 measurement have the least performance, particularly at very low ambient levels where the sensors are close to their detection limit or manufacturers recommended use. If these nodes are to be used in background monitoring applications, then work must be done to improve the data retrieval at lower concentrations/mixing ratios. If the application is mainly near pollution sources, errors associated with accuracy at low levels (< 10 ppb) becomes insignificant and the units, when adequately calibrated will be sufficient for such application.

This study found generally good sensor-to-senor performance for all the nine parameters monitored, a reflection high replicability of measurements in the Bettair units. The implication of this finding is that similar data correction can be applied to the measurements for all units to improve the accuracy, with minimal errors.

In general, the assessment of the Bettair nodes over the one-month assessment period when they were deployed in Cambridge, UK showed that with minimal data corrections (except for two species which require significant data correction when the true signals are low), the Bettair unit is good enough for ambient air quality applications.



Elaborated

Digitally signed by 24296355Y EDUARDO TRIVIÑO (C:A28345577)
Date: 2022.03.22 16:02:08 +01'00'

Eduardo Triviño Sanchez
Coordinator of Eastern Andalusia
Environment Division

Granada, February 2022

INDEX

1. INTRODUCTION 3

2. SCOPE 3

2.1 BETTAIR MONITORING UNITS 4

2.2 REFERENCE STATION 5

2.3 CONFIDENTIALITY OF REFERENCE DATA 5

3. RESULTS 6

3.1 DATA OUTPUT FEATURES 6

3.2 WEATHER CONDITIONS 6

3.3 VALIDATION AND STATISTICS 7

ANNEX I: RESULT SHEETS

1. INTRODUCTION

The company BETTAIR CITIES SL develops low-cost outdoor air quality monitoring devices, which continuously measure certain indicative parameters of air quality in cities and send them in real time to their platform so that they can be visualized and downloaded.

These devices are bound to cover the increasing demand for air quality analysis at scales much larger than those covered by the air quality control networks that are currently deployed by the Public Administration and that we will call reference stations.

One way of validating and developing low-cost monitoring devices is to intercompare their results with the reference equipment. That is the object of this study.

2. SCOPE

The purpose of this study is to intercompare the output of two monitoring units of the company BETTAIR CITIES SL with the data from a Mobile Air Quality Unit of the Diputació de Barcelona.

Parameters:

- PM 10
- PM 2.5
- Ozone (O_3)
- Nitrogen Monoxide (NO)
- Nitrogen Dioxide (NO_2)



Location:

- UMT31 coordinates (E,N)

  437270 / 4589281

- Address: Plaça de l'Assemblea de Catalunya
  08911, Badalona
  Barcelona

Intercomparison period:

- Start: 00:00 h on 01/12/2021
- End: 00:00 h on 15/12/2021

2.1 BETTAIR MONITORING UNITS

The two monitoring units used for the intercomparison are:

- BET02048
- BET02049

The data declared by the manufacturer are:

GAS MEASUREMENTS PERFORMANCE

Gases	Range*	LDL	Resol.	Accur.
NO_2	0 -20 ppm	2 ppb	0.1 ppb	±3 ppb
O_3	0 – 20 ppm	2 ppb	0.1 ppb	±5 ppb
NO	0 – 20 ppm	2 ppb	0.1 ppb	±4 ppb
CO	0 – 500 ppm	100 ppb	0.1 ppb	±30 ppb
SO_2	0 – 50 ppm	10 ppb	0.1 ppb	±15 ppb
CO_2	400 – 10,000 ppm	400 ppm	1 ppm	±30 ppm
H_2S	0 – 50 ppm	2 ppb	0.1 ppb	±10 ppb
VOC**	0 – 500 IAQ	n/a	1	3

*Units of ppb and ppm can be represented in µg/m³ or mg/m³ respectively.
**Unit is IAQ (Index for Air Quality)

PARTICLE MEASUREMENTS PERFORMANCE

PM	Range	LDL	Resol.	Accur.
PM1 (µg/m³)	0 – 1,000	1	1	± 2 µg/m³
PM2.5 (µg/m³)	0 – 1,000	1	1	± 2 µg/m³
PM10 (µg/m³)	0 – 1,000	1	1	± 2 µg/m³
Sampling interval				Adjustable

ENVIRONMENTAL MEASUREMENTS PERFORMANCE

Environmental	Range	Resolution	Accuracy
Temperature (°C)	-40 ... 85	0.01	±0.4
Humidity (%RH)	0 ... 85 85 ... 100	0.1	± 0.5% ± 1.5%
Pressure (hPa)	300 ... 1500	0.18 Pa	±0.6
Noise (db)	35 ... 120	0.1	±1

The measurement accuracy can be affected by the environmental conditions according to the following ranges:

OPERATING CONDITIONS

Environmental	Full accuracy	Reduced accuracy
Temperature (ºC)	-10...+50	-40... +85
Humidity (%RH)	15...85*	0...100
Pressure (hPa)	300-1500*	300-1100

*At a temperature range of 0ºC..65ºC

2.2 REFERENCE STATION

The Reference Station used for intercomparison is the Mobile Air Pollution Monitoring Unit No. 1 of the Diputació de Barcelona, (DIBA). It has the following equipment:

- Teledyne model API T200 automatic nitrogen oxide analyzer
- Automatic ozone analyzer brand Horiba, model APOA-370
- Grimm automatic particle monitor, model EDM-180C
- Meteorological station brand MCV, model EM-100.
- Meteorological sensors for temperature, humidity, atmospheric pressure and anemometer, weather vane, pyranometer and rain gauge
- Sequential mass collector of PM10 particles, MCV brand, model CAV-A/MSb.
- Sequential multiple collector of PM2.5 particles, MCV brand, model CAV-A/MSb.

Biweekly maintenance and verifications are carried out by the company DNOTA.

Calibrations of the measuring equipment are carried out annually.

2.3 CONFIDENTIALITY OF REFERENCE DATA

Prior to the start of the intercomparison, SGS Tecnos signed an agreement with the Provincial Council of BCN in which they pledge to provide the data of the Mobile Unit exclusively to SGS Tecnos during the intercomparison period, so that BETTAIR CITIES does not have access to them until the data downloads from the BETTAIR units are concluded. Therefore, and throughout the intercomparison, there is no possibility of adjusting the data of the BETTAIR units based on the results of the Mobile Unit of the DIBA.

3. RESULTS

3.1 DATA OUTPUT FEATURES

The characteristics of the data output of the BETTAIR units and the DIBA Mobile Unit are as follows:

BETTAIR (BET02048 and BET02049)

Unit of measurement: µg/m3

Averaging time: 5 minutes

Sampling range: Timestamp of each data point corresponds to the beginning of the averaging time.

MOBILE UNIT Nº1 DIBA

Unit of measurement: µg/m3

Averaging time: 30 minutes

Sampling range: Timestamp of each data point corresponds to the end of the averaging time.

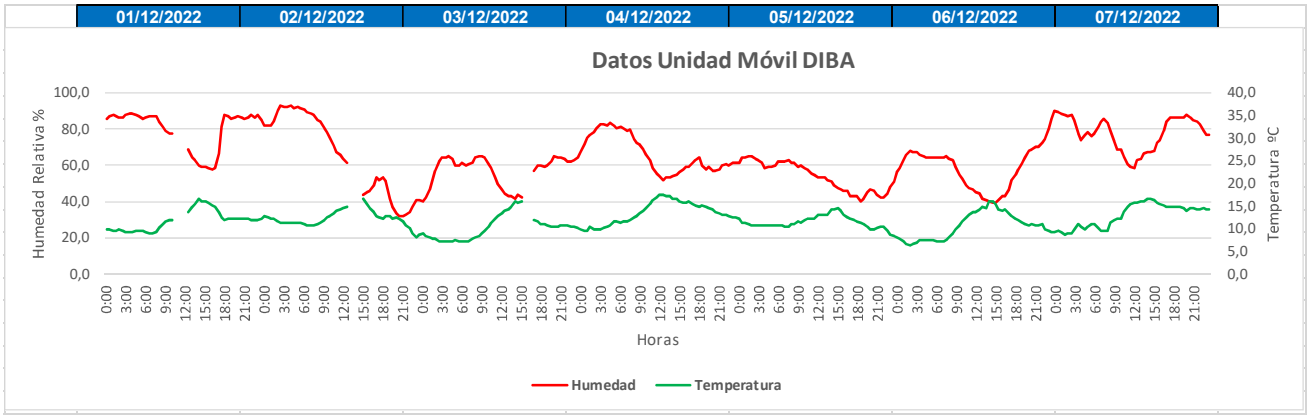
To carry out the intercomparison, the 30-minute averages of the BETTAIR equipment data are calculated so that there is a correspondence of data with the DIBA Mobile Unit.

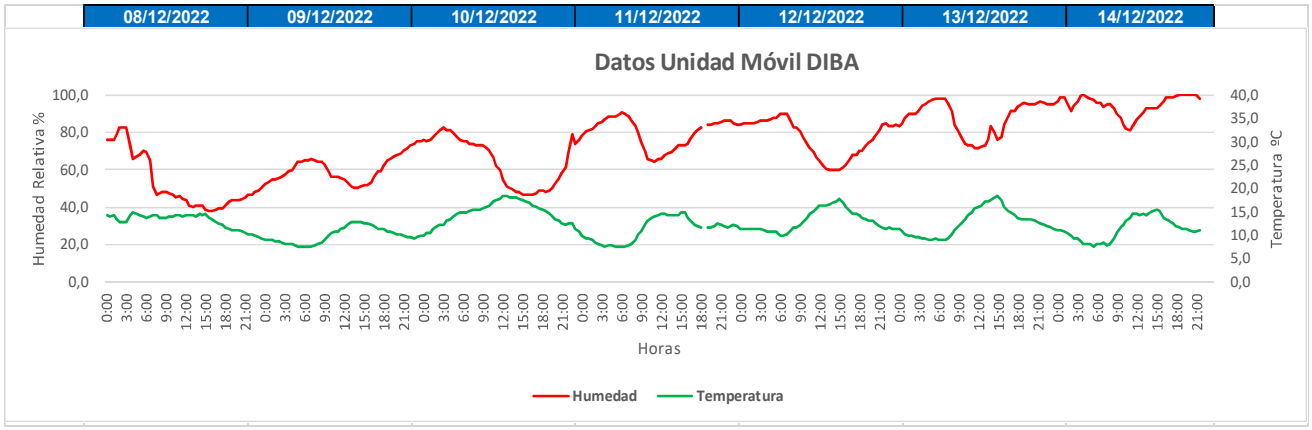
3.2 WEATHER CONDITIONS

Since the weather conditions can affect the measurement accuracy, as stated by the manufacturer, we show the values obtained by the DIBA Mobile Unit:

	Temperature ºC	Relative Humidity %
Mean	12,0	69,7
Maximum	18,5	100,0
Minimum	6,4	32,0

The 30-minute averaged of temperature and relative humidity values are plotted in the following graphs:





3.3 VALIDATION AND STATISTICS

Both the BET02048 / BET02049 units and the Mobile Unit of the Diputació de Barcelona have a small set of data that are not valid, for various reasons, but no data has been discarded at any time that the bettair® units were outside the environmental working ranges specified before.

The calculations of the PEARSON and R2 coefficients evaluate only pairs of data points where both measurements are valid. The closer to the value 1 these coefficients are, the better correlation there will be between the data pairs.

1.- PEARSON CORRELATION COEFFICIENT (r)

The Formula of the Pearson Correlation Coefficient is as follows:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Where:

- x represents time series number one
- x_i represents the i-th measurement of the time series x
- $\bar{x}$ represents the arithmetic mean of the time series x
- y represents time series number two
- y_i represents the i-th measurement of the time series y
- $\bar{y}$ represents the arithmetic mean of the time series y

2.- COEFFICIENT OF DETERMINATION, R^2

For regression purposes it is enough to square the Pearson correlation coefficient.

3.- ROOT OF THE MEAN SQUARE ERROR (RMSE)

One way to assess whether certain values obtained (BETTAIR equipment) conform to the reference values (DIBA Mobile Unit) is to calculate the root of the mean square error.

The formula for finding the root of the mean square error, more commonly known as RMSE, is as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n}(y_i - x_i)^2}{n}}$$

Below are the metrics obtained with 30-minute averaged data.

Metrics obtained between the BET02048 unit and the DIBA Mobile Unit

BET02048 / DIBA	PM10	PM2.5	NO2	NO	O3
PEARSON COEF. (r)	0,85	0,98	0,97	0,99	0,99
DETERMINATION COEF. (R2)	0,72	0,96	0,94	0,99	0,98
RMSE (µg/m^3)	9,47	7,50	10,86	5,75	6,67
RMSE (ppb) ±0.5%			5,50	4,47	3,23

Metrics obtained between the BET02049 unit and the DIBA Mobile Unit

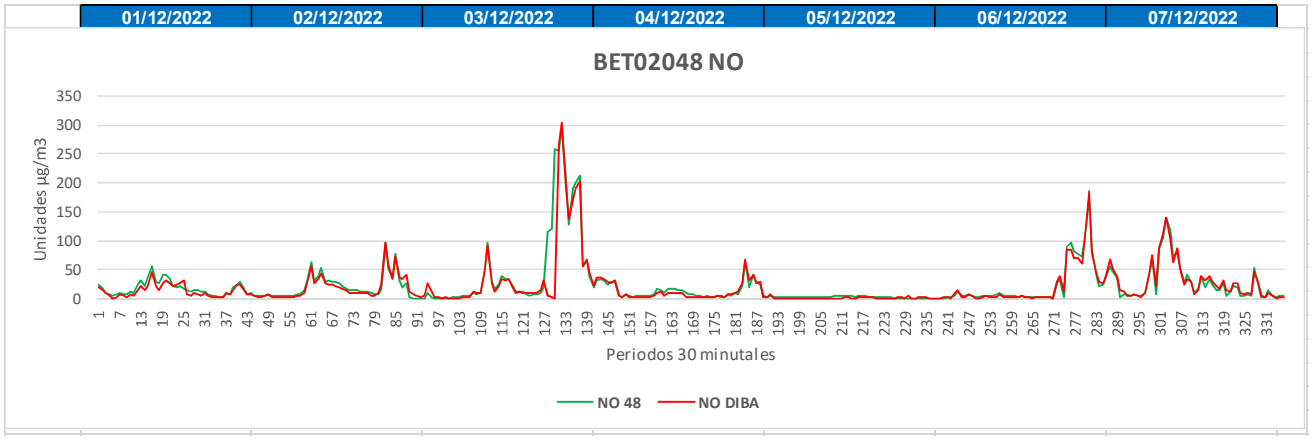
BET02049 / DIBA	PM10	PM2.5	NO2	NO	O3
PEARSON COEF. (r)	0,85	0,99	0,97	0,99	0,99
DETERMINATION COEF. (R2)	0,73	0,97	0,94	0,97	0,98
RMSE (µg/m^3)	9,85	7,79	12,47	7,57	3,20
RMSE (ppb) ±0.5%			6,32	5,88	1,55

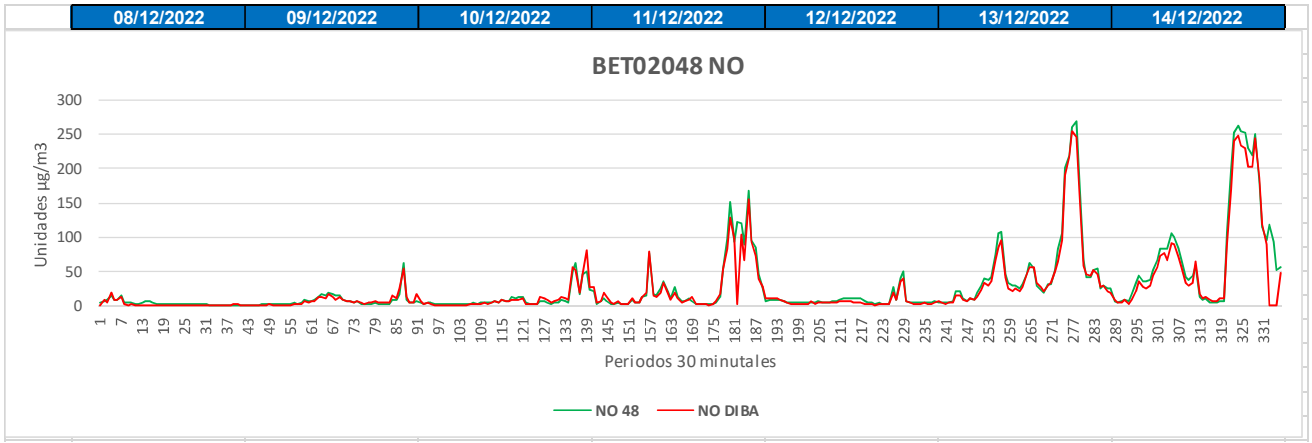
Metrics obtained between the BET02048 and BET02049 units

BET02048/BET02049	PM10	PM2.5	NO2	NO	O3
PEARSON COEF. (r)	0,999	0,998	0,996	0,996	0,997
DETERMINATION COEF. (R2)	0,997	0,997	0,991	0,992	0,994
RMSE (µg/m^3)	1,16	0,94	2,81	4,37	4,99
RMSE (ppb) ±0.5%			1,42	3,39	2,42

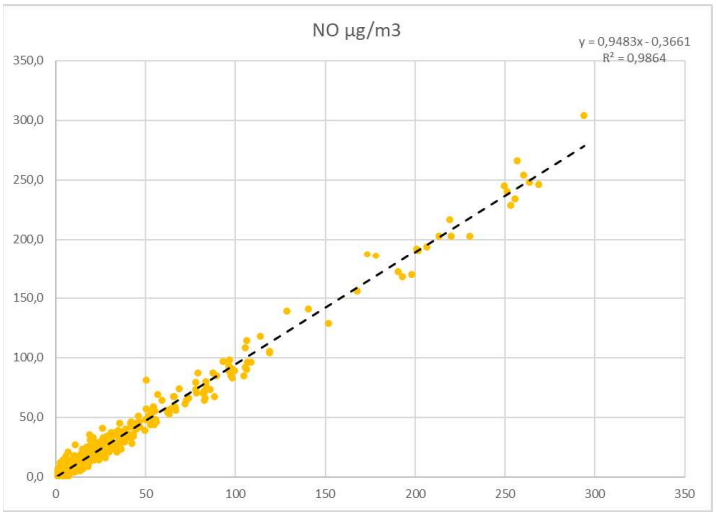
ANNEX 1: Results sheets

BET02048 / NO / BADALONA



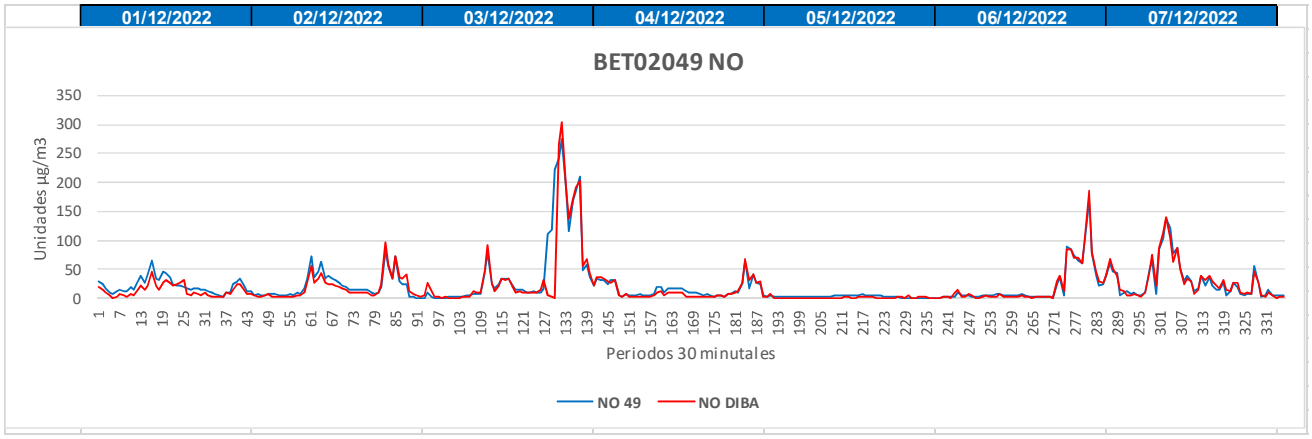


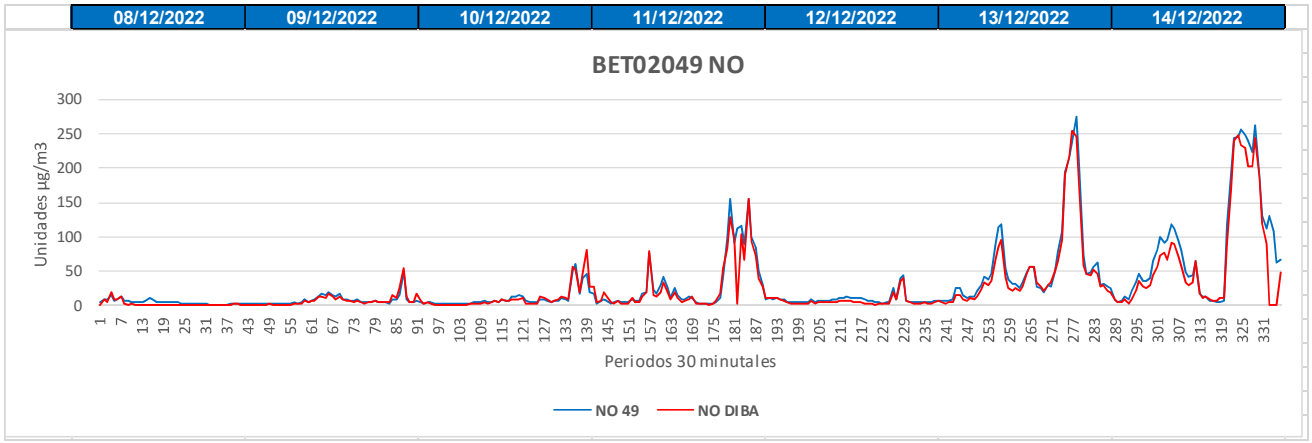




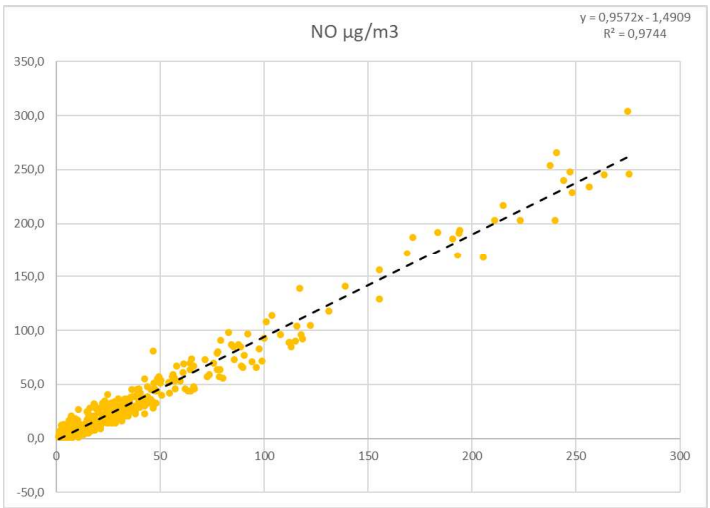
Parámetro: NO
Muestreo: 30 minutal
Unidades: BETT02048 / Unidad Móvil DIBA
Ubicación: Badalona
Inicio: 01/12/2021 / **Fin:** 14/12/2021
COEFICIENTE PEARSON: 0,99
COEFICIENTE R^2: 0,99

BET02049 / NO / BADALONA



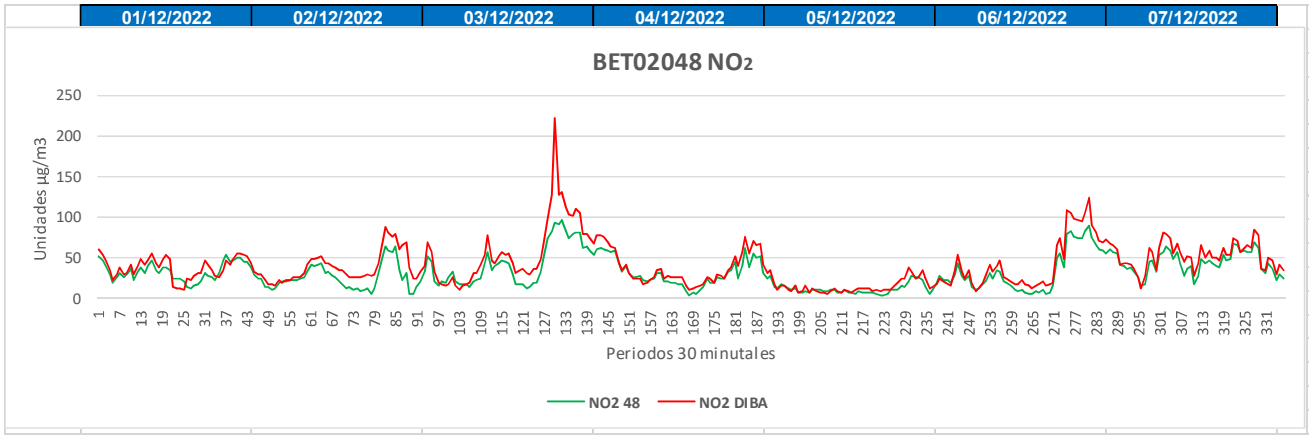


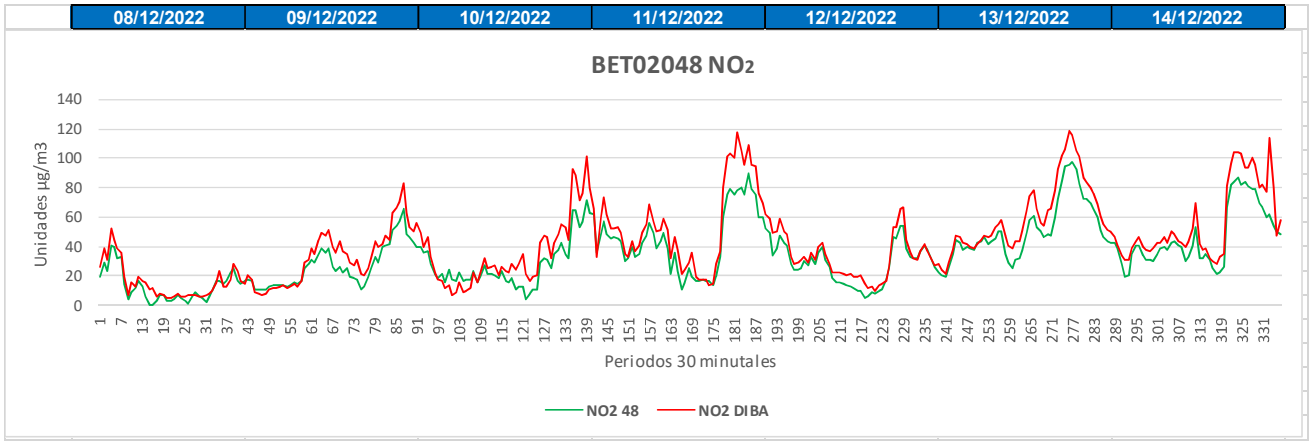




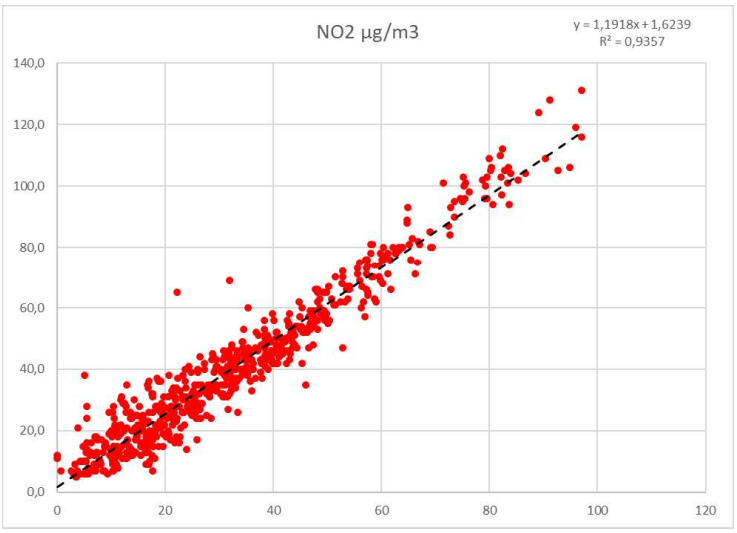
Parámetro: NO
Muestreo: 30 minutal
Unidades: BETT02049 / Unidad Móvil DIBA
Ubicación: Badalona
Inicio: 01/12/2021 / **Fin:** 14/12/2021
COEFICIENTE PEARSON: 0,99
COEFICIENTE R^2: 0,97

BET02048 / NO_2 / BADALONA



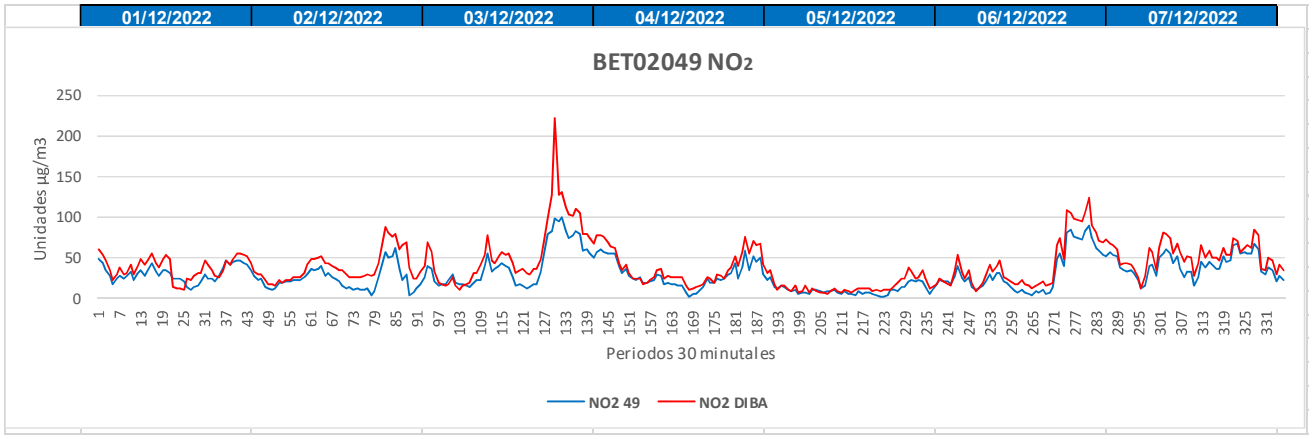


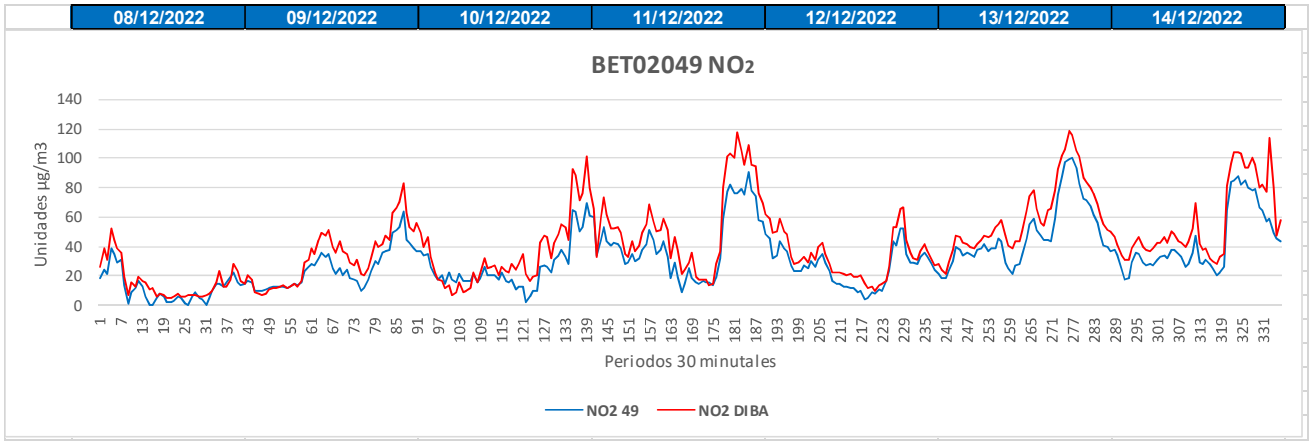




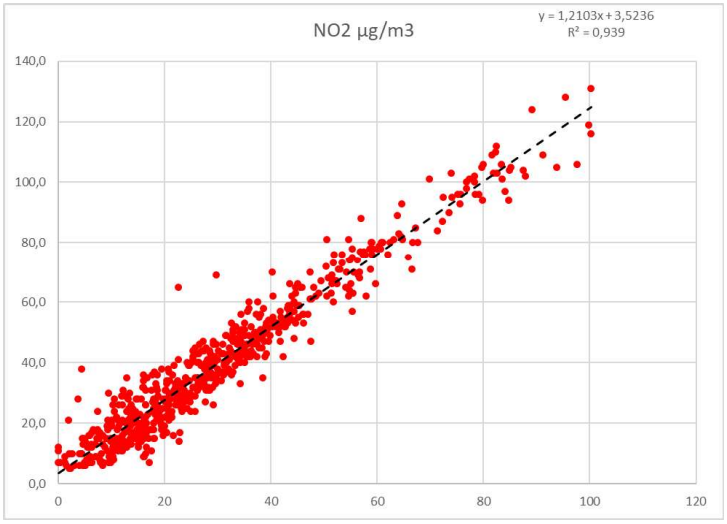
Parámetro: NO_2
Muestreo: 30 minutal
Unidades: BETT02048 / Unidad Móvil DIBA
Ubicación: Badalona
Inicio: 01/12/2021 / **Fin:** 14/12/2021
COEFICIENTE PEARSON: 0,97
COEFICIENTE R^2: 0,94

BET02049 / NO_2 / BADALONA



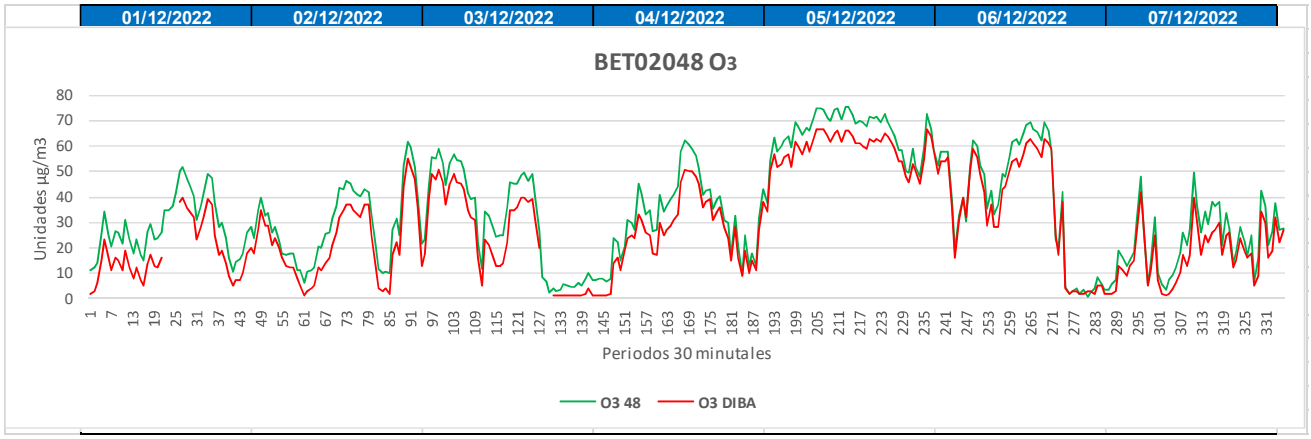


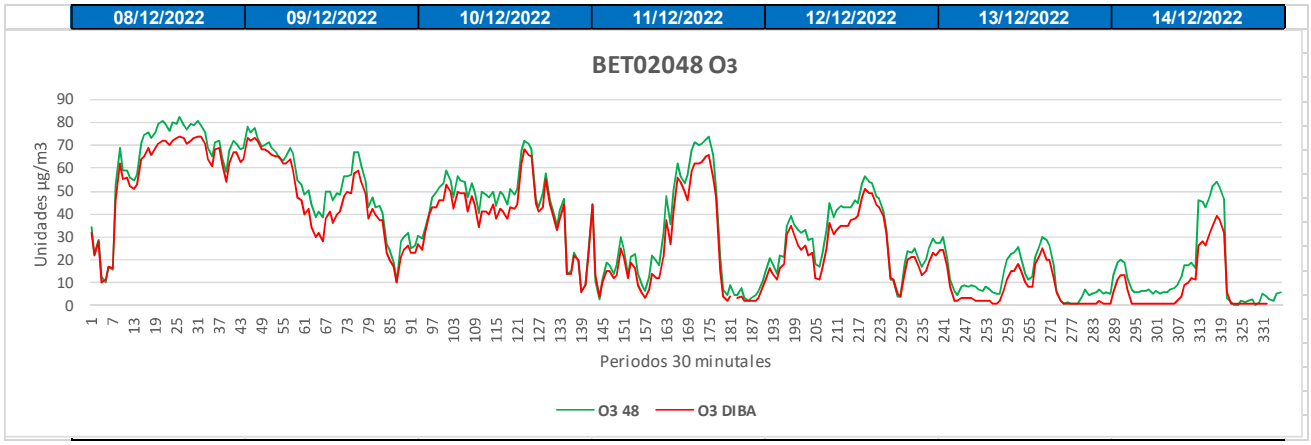




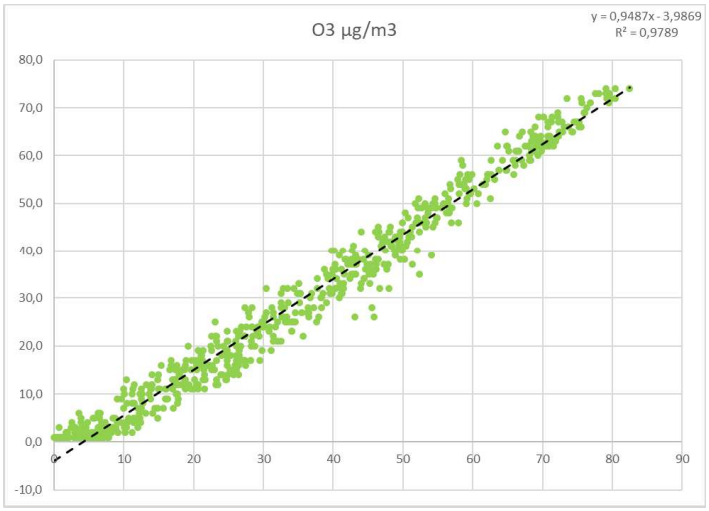
Parámetro: NO_2
Muestreo: 30 minutal
Unidades: BETT02049 / Unidad Móvil DIBA
Ubicación: Badalona
Inicio: 01/12/2021 / **Fin:** 14/12/2021
COEFICIENTE PEARSON: 0,97
COEFICIENTE R^2: 0,94

BET02048 / O3 / BADALONA



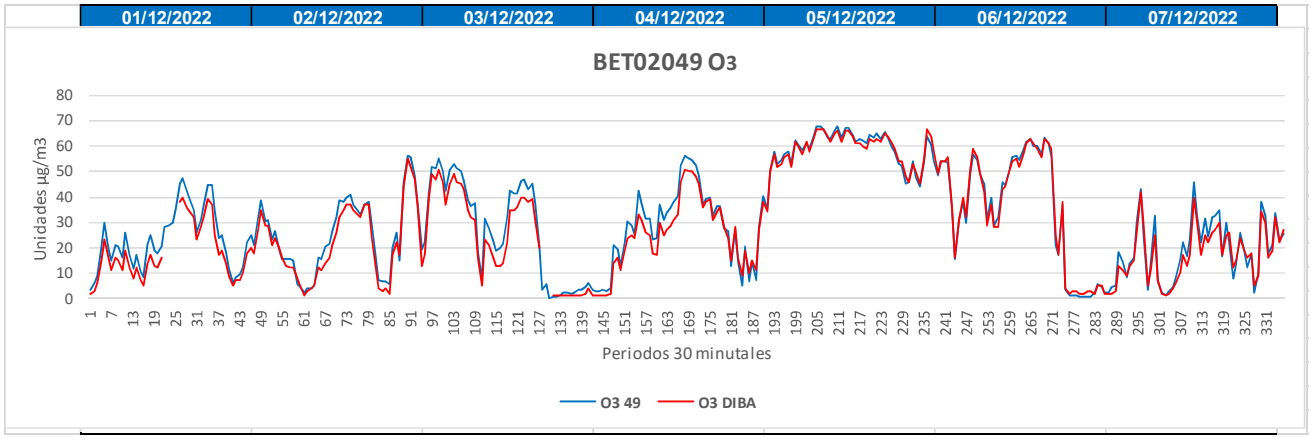


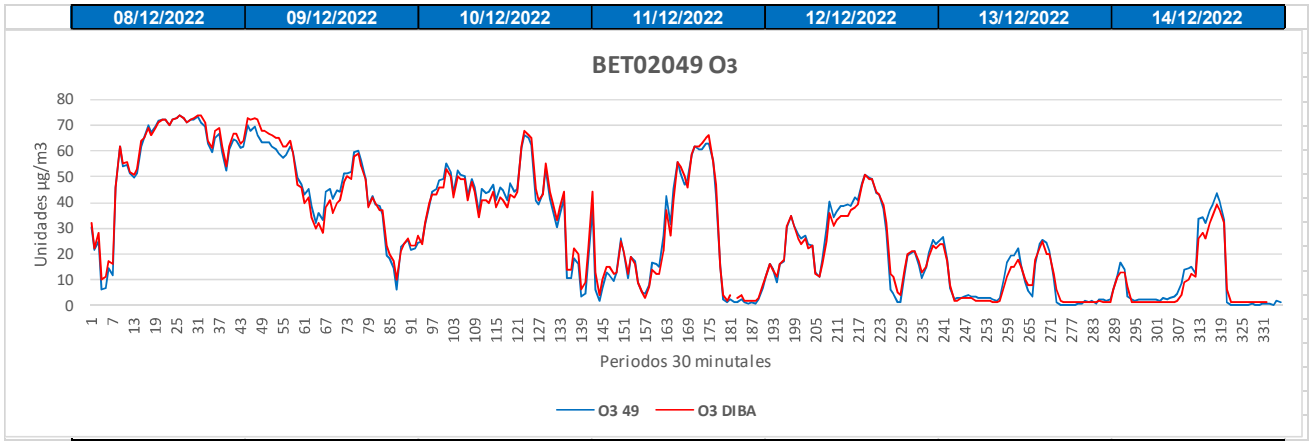




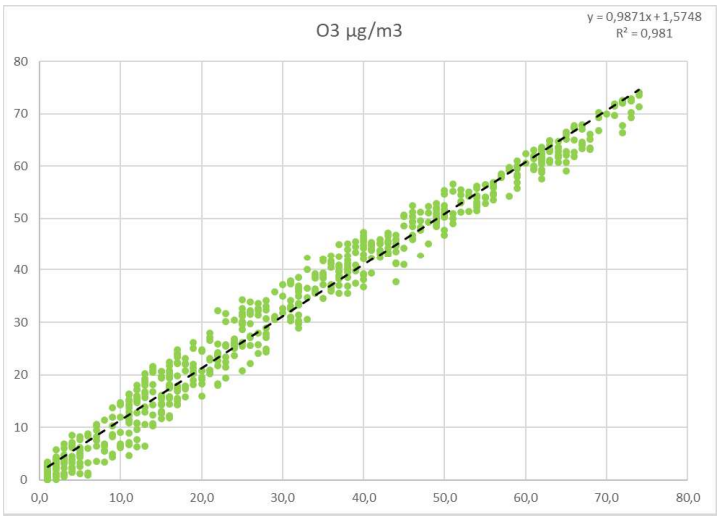
Parámetro: O3
Muetreo: 30 minutal
Unidades: BETT02048 / Unidad Móvil DIBA
Ubicación: Badalona
Inicio: 01/12/2021 / **Fin:** 14/12/2021
COEFICIENTE PEARSON: 0,99
COEFICIENTE R^2: 0,98

BET02049 / O3 / BADALONA



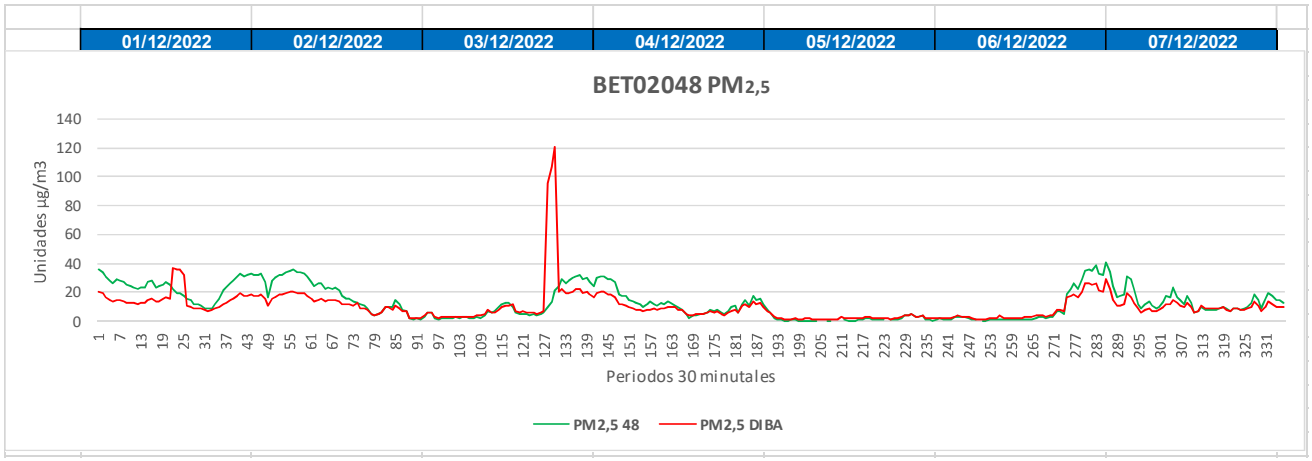


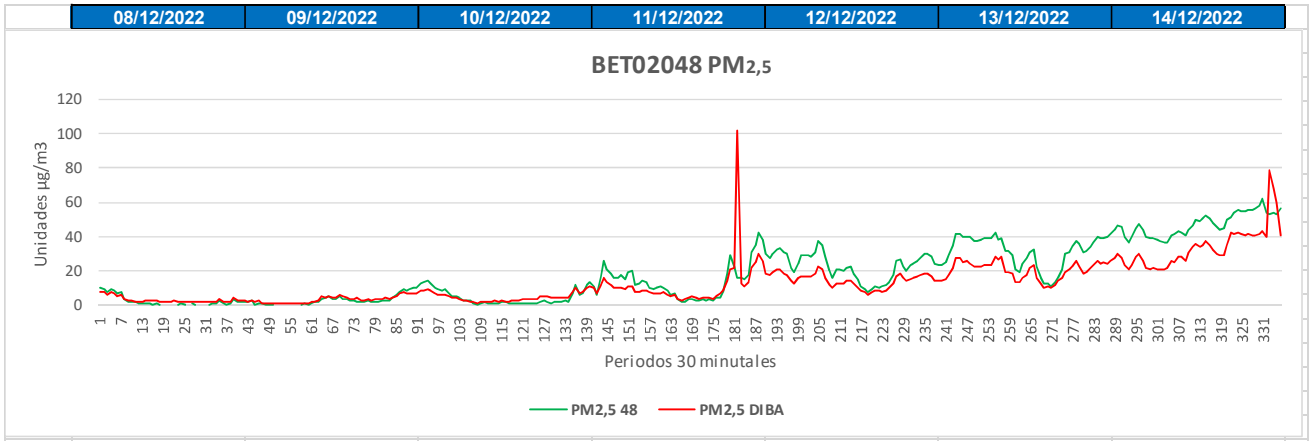


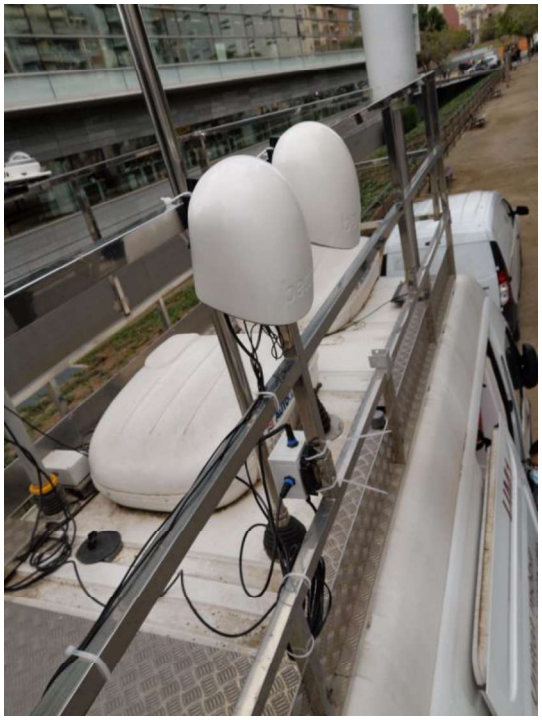


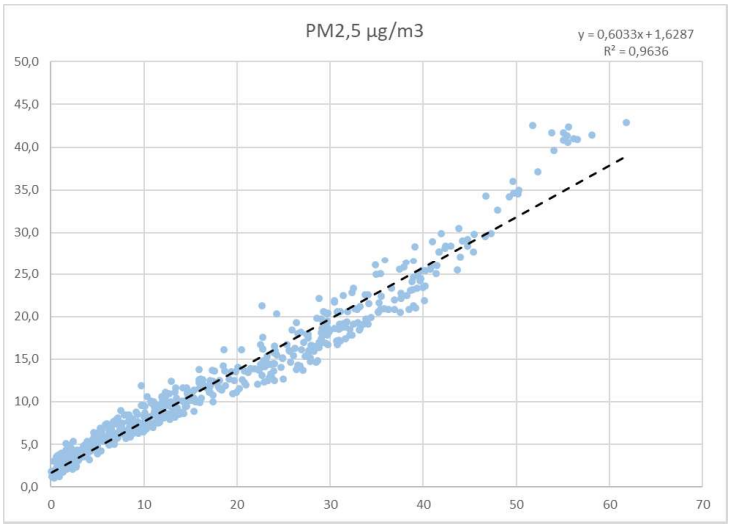
Parámetro: O3
Muestreo: 30 minutal
Unidades: BETT02049 / Unidad Móvil DIBA
Ubicación: Badalona
Inicio: 01/12/2021 / **Fin:** 14/12/2021
COEFICIENTE PEARSON: 0,99
COEFICIENTE R^2: 0,98

BET02048 / PM2,5 / BADALONA



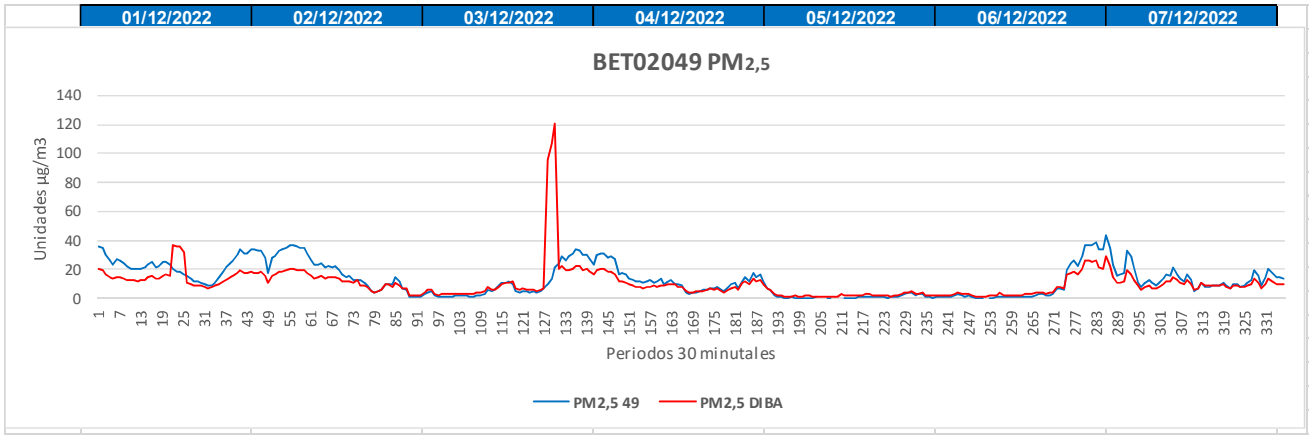


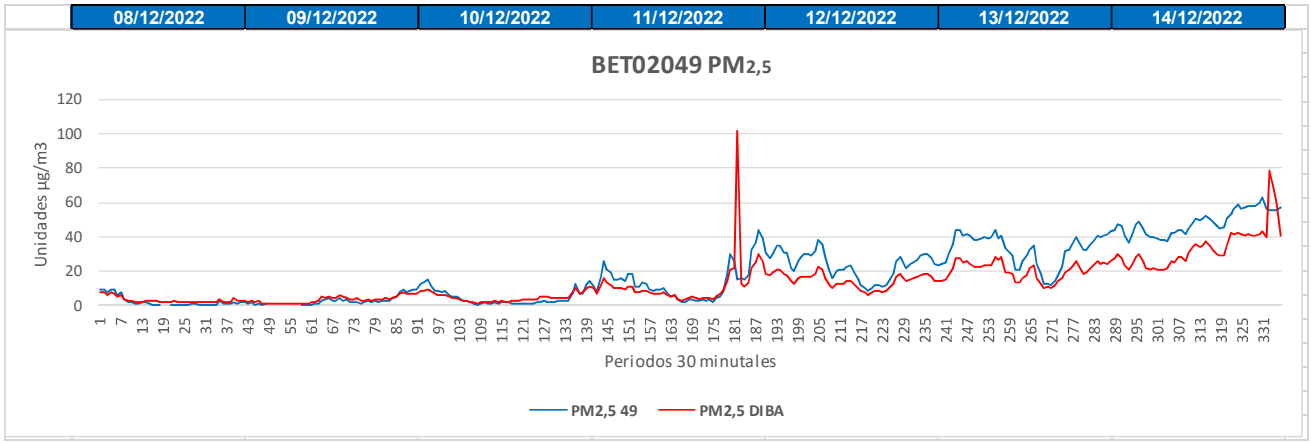




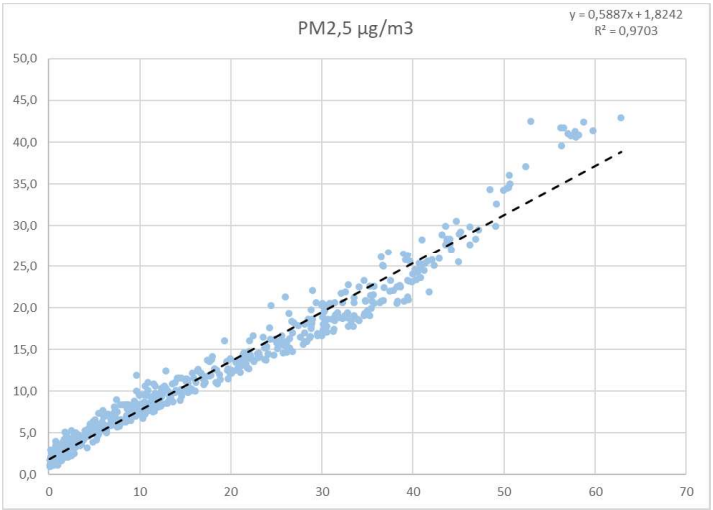
Parámetro: PM2,5
Muestreo: 30 minutal
Unidades: BETT02048 / Unidad Móvil DIBA
Ubicación: Badalona
Inicio: 01/12/2021 / **Fin:** 14/12/2021
COEFICIENTE PEARSON: 0,98
COEFICIENTE R^2: 0,96

BET02049 / PM2,5 / BADALONA



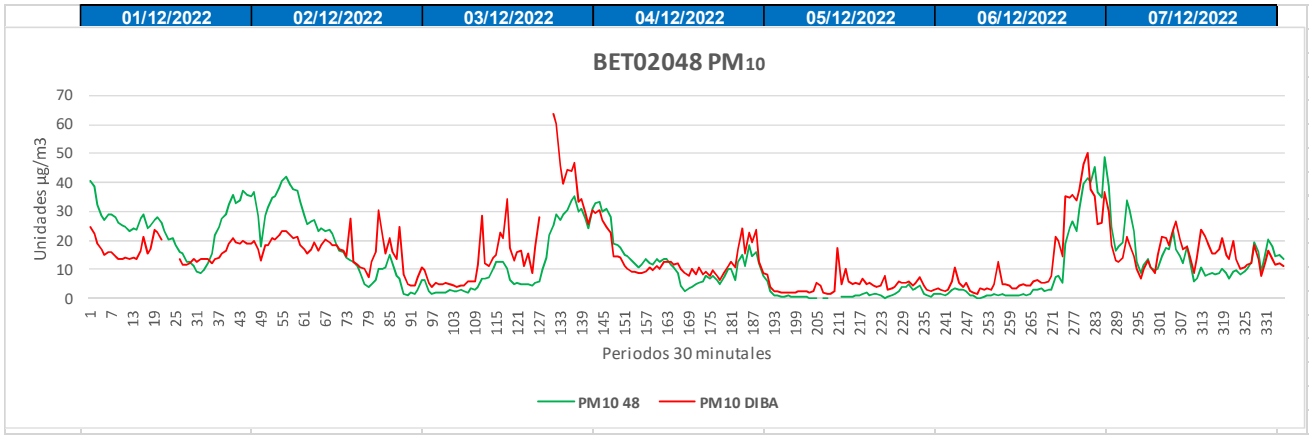


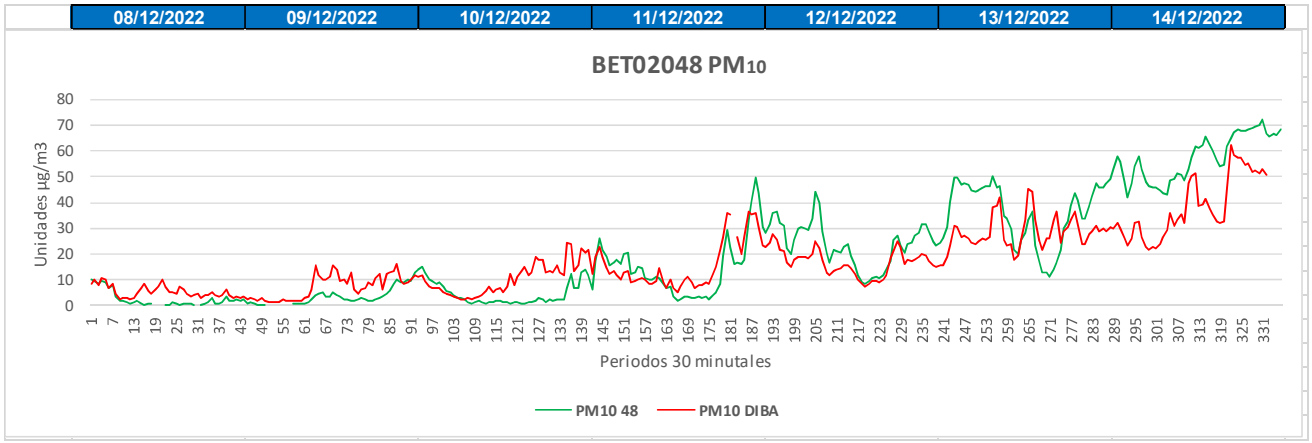




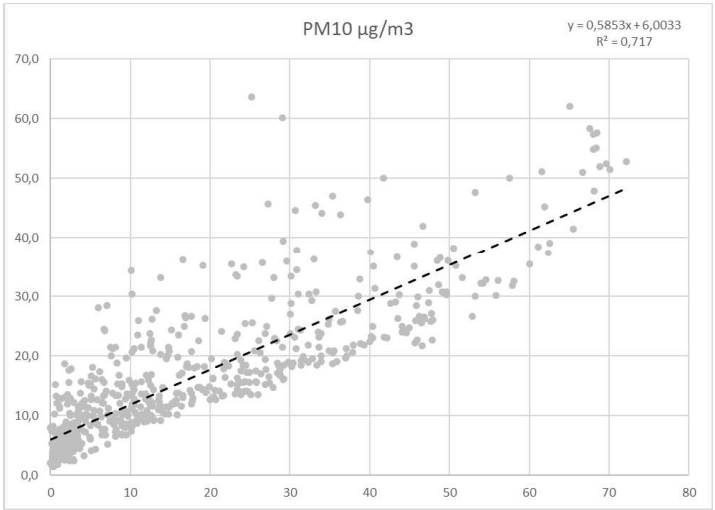
Parámetro: PM2,5
Muestreo: 30 minutal
Unidades: BETT02049 / Unidad Móvil DIBA
Ubicación: Badalona
Inicio: 01/12/2021 / **Fin:** 14/12/2021
COEFICIENTE PEARSON: 0,99
COEFICIENTE R^2: 0,97

BET02048 / PM10 / BADALONA



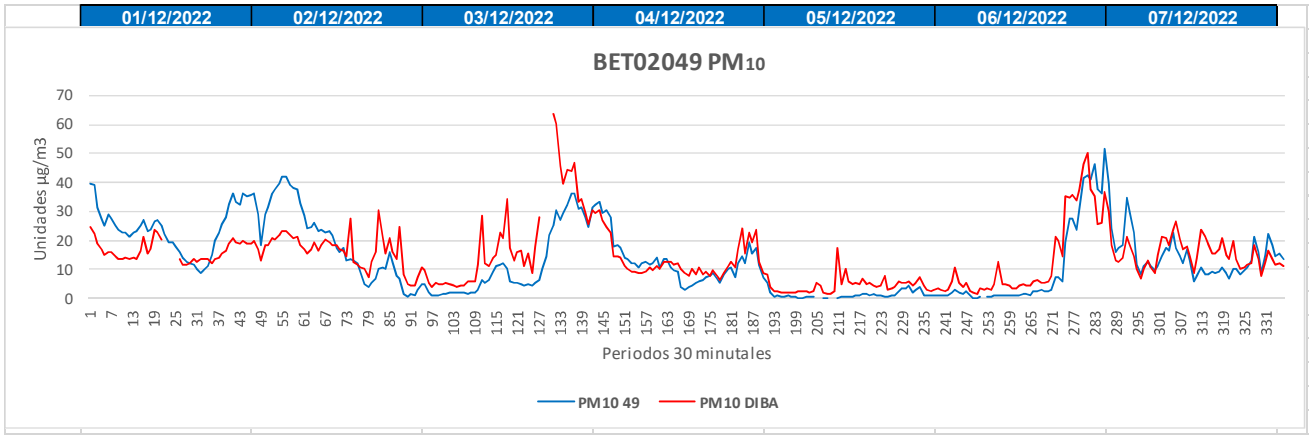


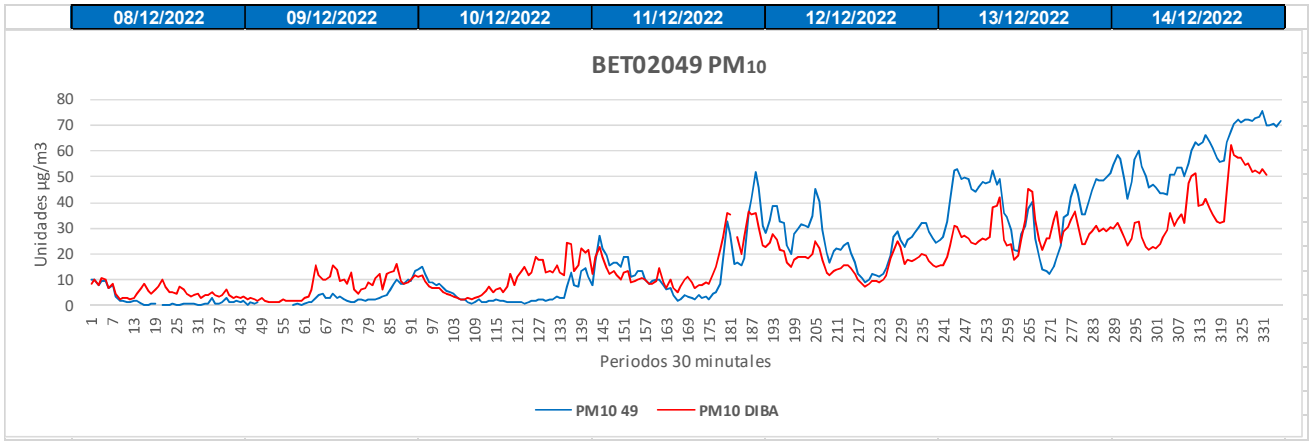




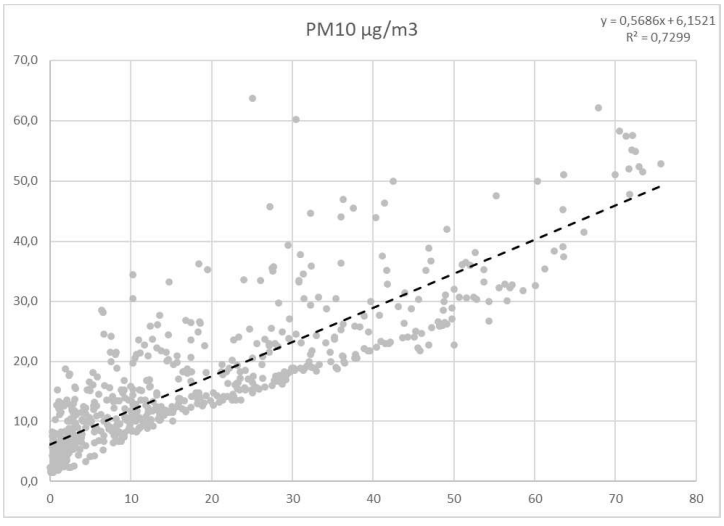
Parámetro: PM10
Muestreo: 30 minutal
Unidades: BETT02048 / Unidad Móvil DIBA
Ubicación: Badalona
Inicio: 01/12/2021 / **Fin:** 14/12/2021
COEFICIENTE PEARSON: 0,85
COEFICIENTE R^2: 0,72

BET02049 / PM10 / BADALONA









Parámetro: PM10
Unidades: BETT02049 / Unidad Móvil DIBA
Ubicación: Badalona
Inicio: 01/12/2021 / **Fin:** 14/12/2021
COEFICIENTE PEARSON: 0,85
COEFICIENTE R^2: 0,73

180-COE2606-23269

dnota medio ambiente, s.l.
Ronda de Poniente, 15
28760 Tres Cantos (Madrid)
T + 34 91 803 66 02
F + 34 91 803 64 33
equiposysistemas@dnota.com
www.dnota.com

A quien corresponda,

Por la presente se certifica que **HIGH TEC ENVIRONMENTAL LTDA**, con sede en **Bogotá**, es el representante exclusivo de los productos bettair en **Colombia**.

HIGH TEC ENVIRONMENTAL LTDA está autorizado para vender, apoyar y mantener los instrumentos bettair, incluyendo todas las operaciones de garantía y mantenimiento tales como resolución de problemas, reparación y piezas de repuesto.

Esta certificación es emitida por **dnota medio ambiente, s.l.**, en virtud de sus poderes legales como accionista y representante internacional del fabricante **bettair cities, s.l.**

Tres Cantos, a 16 de Septiembre de 2024

Sygned by TORRE ARIAS NESTOR - ***6777** on date 16/09/2024 with a certificate issued by AC FNMT Usuarios

B-78218526 d·nota

dnota medio ambiente s.l.
Firmada por: Néstor Torre Arias
Representante Legal

HIGH TEC Environmental
Hacia un mundo mejor

NOTA TECNICA NT-01

ARQUITECTURA DE ALMACENAMIENTO CLOUD-NATIVE VS. ALMACENAMIENTO LOCAL TRADICIONAL

El equipo Bettair MK2 emplea una arquitectura IoT tipo cloud-native, en la cual el almacenamiento histórico, procesamiento y gestión masiva de datos se realizan en una plataforma centralizada (Bettair Platform), y no en el dispositivo instalado en campo.

La memoria interna del equipo, de 4 MB, opera como un buffer inteligente de seguridad (backfill), capaz de almacenar aproximadamente una semana de datos locales bajo la configuración estándar de transmisión. Esta funcionalidad garantiza la continuidad del registro de información y la sincronización automática de los datos una vez se restablece la conectividad, en caso de interrupciones temporales de red.

En este sentido, la solución propuesta cumple plenamente el propósito funcional del numeral 3.3 del TDR, en cuanto asegura que:

- No se interrumpe el registro de datos ante fallas de conectividad.
- No existe pérdida de información por eventos de red, reinicio del equipo o interrupciones eléctricas.
- Se realiza la recuperación automática de la información almacenada temporalmente.

Es importante precisar que el requisito no establece que la continuidad del registro deba depender exclusivamente de almacenamiento local de alta capacidad, sino del cumplimiento de la funcionalidad descrita, la cual es garantizada mediante la arquitectura propuesta.

Adicionalmente, el modelo de almacenamiento centralizado en la nube ofrece ventajas operativas relevantes para la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMIBC), tales como:

- Disponibilidad permanente de la información desde cualquier ubicación autorizada.
- Respaldo automático con redundancia, minimizando riesgos de pérdida de datos.
- Gestión centralizada de múltiples estaciones de monitoreo.

- Acceso a datos en tiempo real para los actores del sistema, incluyendo CIS, CORANTIOQUIA y equipos técnicos y jurídicos asociados (Acción Popular 2025-00248).

El proponente declara expresamente esta condición en cumplimiento del numeral 6 del TDR y del principio de transparencia establecido en la Ley 80 de 1993, garantizando que la información técnica presentada corresponde a las especificaciones reales del equipo ofertado.