

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL

# TRABAJO FIN DE GRADO

***EVALUACIÓN DE LA ADECUACIÓN DE LOS  
EQUIPOS FIDAS DE LA RED DE CONTROL DE LA  
CALIDAD DEL AIRE DE LA CAPV A LAS  
CONDICIONES ESPECÍFICAS DE LA NORMA  
UNE EN 16450-2017***

Curso: <2021-2022

Alumno: <OLAETA TXINTXURRETA, JON>

Directora: <ROJO AZACETA, NAIARA>

Vitoria-Gasteiz, 23 de junio de 2022

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. RESUMEN .....   | 5  |
| 2. INTRODUCCIÓN .....  | 6  |
| 3. ANTECEDENTES .....  | 7  |
| 3.1. EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CAPV. EVOLUCIÓN HISTÓRICA.....  | 7  |
| 3.2. RED DE CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CAPV .....   | 9  |
| 3.3. CALIDAD DEL AIRE EN LA CAPV: ESTADO ACTUAL .....  | 12 |
| 3.4. LAS PARTÍCULAS PM10 Y PM2,5 Y LA CALIDAD DEL AIRE .....   | 14 |
| 3.5. LEGISLACIÓN AMBIENTAL RELATIVA A LA CALIDAD DEL AIRE .....  | 16 |
| 3.5.1. ANTECEDENTES LEGALES .....  | 16 |
| 3.5.2. NORMATIVA EUROPEA EN VIGOR .....  | 17 |
| 3.5.3. NORMATIVA ESTATAL EN VIGOR .....  | 18 |
| 3.5.4. PLANES DE CALIDAD DEL AIRE.....   | 21 |
| 3.5.5. EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE .....   | 23 |
| 3.6. MEDICIÓN DE PM10 Y PM2,5 EN LA RED DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CAPV.....  | 23 |
| 3.6.1. METODO DE MEDICIÓN GRAVIMÉTRICO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MÁSCICA PM10 y PM2,5 DE LA MATERIA PARTICULADA EN SUSPENSIÓN (NORMA UNE EN 12341) ..... | 24 |
| 3.6.2. METODOS DE AUTOMÁTICOS MEDIDA DISPONIBLES (NORMA UNE EN 16450 SIST AUTOM. MEDIDA PM 10 Y PM 2,5) .....  | 26 |
| 4. OBJETIVOS.....  | 36 |
| 5. DESARROLLO .....  | 38 |
| 5.1. PLANIFICACIÓN DE LAS CAMPAÑAS DE INTERCOMPARACIÓN .....   | 38 |
| 5.2. ALCANCE DE LAS CAMPAÑAS DE INTERCOMPARACIÓN .....   | 38 |
| 5.3. CRONOGRAMA .....  | 39 |
| 5.4. DESCRIPCIÓN DE LAS UBICACIONES DE LAS CAMPAÑAS.....   | 40 |
| 5.4.1. EASO .....  | 40 |
| 5.4.2. HERNANI .....   | 42 |
| 5.4.3. MAZARREDO .....   | 44 |
| 5.4.4. BASAURI.....  | 46 |
| 5.4.5. DURANGO .....   | 48 |
| 5.5. EJECUCIÓN DE LAS CAMPAÑAS DE INTERCOMPARACIÓN.....  | 50 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>5.6. ANÁLISIS Y ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS REGISTRADOS EN LAS CAMPAÑAS DE INTERCOMPARACIÓN .....</b> | <b>50</b>  |
| 5.6.1. ANÁLISIS DE LOS VALORES ATÍPICOS TEST DE GRUBBS .....  | 50         |
| 5.6.2. CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN.....   | 52         |
| 5.6.3. CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE ( $uCR$ ) DEL ANALIZADOR FIDAS 200 .....                                   | 54         |
| 5.6.4. CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA $wsam$ .....   | 56         |
| 5.6.5. CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA $Wsam$ .....   | 57         |
| 5.6.6. CONTRASTE CON EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE .....                                      | 57         |
| <b>5.7. PRESUPUESTO .....</b>   | <b>58</b>  |
| <b>6. RESULTADOS .....</b>  | <b>61</b>  |
| 6.1. CAMPAÑA EASO PM10 .....  | 61         |
| 6.2. CAMPAÑA EASO PM2,5 .....   | 67         |
| 6.3. CAMPAÑA HERNANI PM10 .....   | 73         |
| 6.4. CAMPAÑA HERNANI PM2,5 .....  | 79         |
| 6.5. CAMPAÑA MAZARREDO PM10 .....   | 85         |
| 6.6. CAMPAÑA MAZARREDO PM2,5 .....  | 91         |
| 6.7. CAMPAÑA BASAURI PM10 .....   | 97         |
| 6.8. CAMPAÑA BASAURI PM2,5 .....  | 103        |
| 6.9. CAMPAÑA DURANGO PM10 .....   | 109        |
| 6.10. CAMPAÑA DURANGO PM2,5 .....   | 115        |
| 6.11. CAMPAÑA GLOBAL PM10 .....   | 122        |
| 6.12. CAMPAÑA GLOBAL PM2,5 .....  | 125        |
| <b>7. CONCLUSIONES.....</b>   | <b>127</b> |
| <b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>  | <b>129</b> |
| <b>9. ANEXOS .....</b>  | <b>134</b> |
| ANEXO I: CAMPAÑA EASO PM10 .....  | 134        |
| ANEXO II: CAMPAÑA EASO PM2,5 .....  | 139        |
| ANEXO III: CAMPAÑA HERNANI PM10 .....   | 144        |
| ANEXO IV: CAMPAÑA HERNANI PM2,5 .....   | 151        |
| ANEXO V: CAMPAÑA MAZARREDO PM10 .....   | 155        |
| ANEXO VI: CAMPAÑA MAZARREDO PM2,5 .....   | 159        |
| ANEXO VII: CAMPAÑA BASAURI PM10 .....   | 164        |
| ANEXO VIII: CAMPAÑA BASAURI PM2,5 .....   | 170        |

---

|  |            |
|--|------------|
| <b>ANEXO IX: CAMPAÑA DURANGO PM10 .....</b>  | <b>176</b> |
| <b>ANEXO X: CAMPAÑA DURANGO PM2,5 .....</b>  | <b>182</b> |
| <b>ANEXO XI: CAMPAÑA GLOBAL PM10 .....</b>   | <b>189</b> |
| <b>ANEXO XII: CAMPAÑA GLOBAL PM2,5 .....</b> | <b>211</b> |

## 1. RESUMEN

El presente trabajo fin de grado se ha llevado a cabo sobre cinco equipos FIDAS de medición de partículas en aire ambiente que han sido recientemente adquiridos por la Red de Control de la Calidad del Aire de la CAPV, órgano dependiente del Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente del Gobierno Vasco y ubicados en las estaciones de control de la calidad del aire de: Easo, Hernani, Mazarredo, Basauri y Durango.

Los equipos FIDAS objeto del trabajo fin de grado son analizadores automáticos que tienen la ventaja de medir simultáneamente la concentración de las diferentes fracciones de material particulado en aire ambiente (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>4</sub> y PM<sub>10</sub>, Partículas totales) mediante la técnica analítica “dispersión de luz”.

Con objeto de garantizar la calidad de los datos obtenidos por los analizadores automáticos, la legislación establece la obligación de realizar una intercomparación inicial de estos equipos en paralelo con analizadores que empleen el método de referencia. Estos analizadores de referencia son captadores de alto volumen que recogen diariamente en filtros de cuarzo el material particulado de las fracciones PM<sub>10</sub> o PM<sub>2,5</sub> (según el cabezal de corte empleado en el equipo) cuya concentración es obtenida mediante el pesaje previo y posterior de los filtros en laboratorio y conociendo el caudal muestreado cada día.

El estudio de intercomparación requiere de la realización de dos campañas, para garantizar su representatividad, una en invierno y otra en verano, y de la obtención de un número mínimo de 30 pares de datos en cada campaña. Debido a las limitaciones temporales de este trabajo fin de grado se ha realizado únicamente la campaña de invierno, durante los meses de enero a marzo de 2022.

Asimismo, para la realización de las campañas de intercomparación se ha contado con la colaboración de los técnicos del Laboratorio Normativo de Salud Pública del Gobierno Vasco que han realizado todas las tareas relativas a la calibración y verificación de los analizadores de referencia, así como a la preparación, pesaje, transporte y colocación de los filtros.

Una vez obtenidos los pares de datos diarios de los cinco analizadores FIDAS y de los captadores de referencia, se ha llevado a cabo el estudio estadístico aplicando los criterios establecidos en la Norma UNE-EN16450 (2017).

Como resultado del estudio estadístico se han obtenido para cada uno de los cinco analizadores FIDAS la ecuación de corrección tanto para PM<sub>10</sub> como para PM<sub>2,5</sub>, y la incertidumbre que en todos los casos ha sido menor que la incertidumbre máxima establecida en el Anexo V del RD 102/2011 de 28 de enero.

Finalmente se ha obtenido una ecuación de corrección y una incertidumbre genérica del analizador FIDAS tanto para PM<sub>10</sub>, como para PM<sub>2,5</sub> realizando el tratamiento estadístico del conjunto de datos de los cinco analizadores.

## 2. INTRODUCCIÓN

El cuidado del Medio Ambiente y en concreto el de la calidad del aire, debe ser una prioridad colectiva e individual en nuestra sociedad.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) determina que la contaminación del aire representa un importante riesgo para la salud de la población. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo. [1]

En la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) se dispone de la Estrategia Ambiental Vasca de Desarrollo Sostenible 2002-2020 y del Pacto Verde de Euskadi (Basque Green Deal) alineado con el Pacto Verde Europeo y que se ha elaborado en 2021. La Estrategia Ambiental Vasca establece entre sus metas el garantizar un aire limpio. Para alcanzar esta meta es necesario vigilar, controlar y reducir las emisiones de sustancias contaminantes al aire ambiente. De esa forma, el instrumento principal que tiene la CAPV para el control de la calidad del aire es la Red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire. [2]

Uno de los principales contaminantes que define la calidad del aire son las partículas. Estas están definidas en función de su diámetro medido en micras. Concretamente, las partículas de diámetro menor de 10 micras se definen como PM10 y las partículas de diámetro menor de 2,5 micras se definen como PM2,5. Tradicionalmente se han realizado mediciones de PM10, pero los recientes cambios normativos también obligan a la medición de PM2,5, ya que por su menor tamaño penetran directamente en el torrente sanguíneo desde los alveolos pulmonares y por ello son mucho más nocivas. [1]

La medición y precisión de los analizadores en calidad del aire ha evolucionado en gran medida en los últimos años. En lo que respecta a la medición de partículas, los últimos equipos automáticos adquiridos por la Red de Control de la Calidad del Aire (FIDAS 200) son capaces de medir simultáneamente las concentraciones de partículas de 1, 2.5, 4 y 10 micras (entre otras) [3].

Los requerimientos normativos para el uso de este tipo de analizadores para la evaluación de la Calidad del Aire por la Administraciones competentes establecen que los analizadores automáticos de medida de partículas tienen que someterse a una validación mediante una intercomparación de sus resultados con los obtenidos en paralelo por los medidores de referencia establecidos por la normativa. [4]

Este Trabajo Fin de Grado tiene como objeto realizar la intercomparación entre cinco equipos FIDAS®200 de partículas recientemente adquiridos e instalados en cinco diferentes ubicaciones de la CAPV y el método de referencia, para evaluar si cumplen con los requisitos mínimos de incertidumbre de medida y determinar las funciones de ajuste que corresponden a cada equipo.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CAPV. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

El entorno de la Ría de Bilbao es el escenario principal del gran desarrollo industrial (astilleros, altos hornos, actividades mineras, empresas químicas, refinerías, coquerías) y del gran aumento de la población que desde finales del siglo XIX hasta finales de los años 60 del siglo XX ha tenido lugar en Euskadi. Este desarrollo industrial y demográfico ha tenido graves consecuencias en el medio ambiente, ya que ha dejado un aire, un agua y unos suelos contaminados.

Ya en el año 1968 la mala calidad del aire de la zona del Bajo Nervión fue el detonante para que se produjeran en Erandio varias protestas populares que acabaron desgraciadamente con dos personas fallecidas. [5]

Hasta ese momento no se realizaba ninguna medición de la calidad del aire. Es en el año 1970 cuando se iniciaron las primeras mediciones de SO<sub>2</sub> con captadores manuales en el entorno de la ría de Bilbao. [5]

En el año 1972 se entró en vigor la Ley 38/1972 de Protección del Medio Ambiente Atmosférico, que es la primera ley relativa a la Calidad del Aire en el Estado Español, y en el año 1975 el Decreto 833/1975 que la desarrolla. [5]

En el año 1976, al amparo de esta Ley, se creó en el entorno de la ría de Bilbao la primera red automática de control de la calidad del aire a nivel nacional con la puesta en marcha de las primeras 11 estaciones remotas. Formaron parte en la creación de esta red la Corporación Administrativa del Gran Bilbao, el Instituto Nacional de Meteorología y la Universidad Autónoma de Madrid. Antes de su creación se realizaron estudios previos de meteorología y de identificación de los focos del área comprendida entre Barakaldo y Basauri. [5]

En el año 1977 el Gran Bilbao se declaró zona de atmósfera contaminada por los datos registrados por las estaciones recién instaladas el año anterior. [5]



Figura 1. Vista la Ría del Nervión en los años 70



Figura 2. Barakaldo año 1977

(Fuente: Albizu Etxebarria, Marivi. *El antes y el después del aire que respiramos en la Ría de Bilbao*. AEMET Agencia Estatal de Meteorología. 2010).

En el año 1978 se definió el Plan de Saneamiento Atmosférico del Gran Bilbao que establecerá las actuaciones a llevar a cabo en los próximos años, y en el año 1979 se realizó el primer inventario de emisiones que identifica las principales fuentes de contaminación de toda la cuenca del Bajo Nervión. [5]

A partir del Estatuto de Autonomía del País Vasco de 1979 la Administración Autónoma del País Vasco asumió las competencias medioambientales y el liderazgo en la gestión de la calidad del aire. De esa forma, en 1981 la Red de Control y Vigilancia del Gran Bilbao fue transferida al Gobierno Vasco. [5]

A partir del año 1984 se inició la progresiva ampliación de la Red Automática de Vigilancia de la Calidad del Aire en principio en el entorno de la Ría de Bilbao y, posteriormente, en los años 90 se fueron desarrollando los planes de las siguientes zonas y comarcas de la CAPV [5]:

- 1990 Plan de Gestión de la Calidad del Aire en el Bajo-Nervión Ibaizábal
- 1991 Plan de Saneamiento atmosférico para la Cuenca del Deba.
- 1992 Plan de Saneamiento atmosférico del Alto Nervión.
- 1993 Plan de Saneamiento Atmosférico de Donostialdea y Llanada Alavesa.
- 1994 Nueva ampliación de la Red de Control de la Calidad del Aire (31 estaciones) incorporando las estaciones automáticas del Ayuntamiento de Bilbao (1994).
- 1995 Instalación de las subredes del Alto Nervión, Deba, Donostialdea y Llanada Alavesa (9 Estaciones).
- 1996 Planes de saneamiento de Ibaizábal y Oria. Instalación de las subredes de Ibaizábal y Oria.
- 1997 Incorporación de las estaciones automáticas de la Diputación Foral de Gipuzkoa, instalación de las subredes de Urola y Bidasoa y ampliación de las estaciones de la Llanada Alavesa (8 estaciones).
- 1998 Instalación de estaciones de Fondo (3 estaciones).

En el año 2000 se cesó la Declaración de Atmósfera contaminada en el Gran Bilbao y se implantaron los primeros analizadores para medir Compuestos Orgánicos Volátiles. [5]

Entre 2003 y 2005 se implantaron las primeras estaciones de control de la calidad del aire exigidas a empresas para monitorizar el impacto en el entorno de sus emisiones.

A partir de 2007 se adquirieron nuevas unidades móviles de dotadas de nuevos medidores.

En los últimos años se han ido desarrollando los equipos de medición y la capacidad de comunicaciones de la Red de Control de la Calidad del Aire.

### 3.2. RED DE CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CAPV

Actualmente la Red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire de la CAPV dispone de analizadores y sensores que miden en tiempo real los contaminantes que marca la normativa de calidad del aire: **dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**, **óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub>)**, **ozono troposférico**, **monóxido de carbono (CO)**, **NH<sub>3</sub> (Amoníaco)**, **SH<sub>2</sub> (ácido sulfhídrico)**, **partículas en suspensión PM10 (partículas cuyo diámetro es inferior a 10 micras)**, **partículas en suspensión PM2,5 (partículas cuyo diámetro es inferior a 2,5 micras)**, **PS (partículas totales)** y **compuestos orgánicos volátiles (Benceno, Tolueno, Xileno)**. [6]

Además, se miden parámetros meteorológicos como velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión relativa, radiación total, radiación ultravioleta y precipitación. [6]

También se dispone de **captadores manuales de partículas PM10** que recogen muestras diarias en filtros que posteriormente se analizan en el Laboratorio Normativo del Departamento de Salud en los que se obtienen datos diarios de los siguientes contaminantes: **As (arsénico)**, **Cd (cadmio)**, **Ni (níquel)**, **Hg (mercurio)**, **Pb (plomo)**, **benzo(a)pireno**. [6]

Todos estos contaminantes son de obligada medición y registro, tal y como se establece en el Real Decreto 102/2011 del 28 de enero, modificado posteriormente por el RD 39/2017 de 27 de enero.

El número mínimo de Estaciones de Calidad del aire y su distribución queda definido por el número de habitantes de las zonas en las que se divide el Territorio y la superación o no de los límites en la concentración de los contaminantes. Se establece en Anexo IV del RD 102/2011. En el caso de la Red de Control y Vigilancia de la CAPV, en la actualidad dispone de 54 estaciones (**figura 1**), de las cuales 14 son privadas y están asociadas a actividades industriales a las que se les ha exigido la monitorización de la calidad del aire en su entorno, y el resto son de titularidad pública.



**Figura 1.** Plano de la ubicación de las Estaciones de Control de la Calidad del Aire de la CAPV.(fuente <https://www.geo.euskadi.eus/>)

Estas estaciones permiten medir la contaminación de fondo en condiciones naturales, la calidad del aire en zonas urbanas y también entornos industriales. De forma general se clasifican según el área donde estén: rurales, urbanas o suburbanas, y según el origen de la contaminación que este recogiendo: tráfico, industria o fondo (cuando es una mezcla de varias fuentes).

Dos de estas estaciones –Valderejo y Pagoeta– están integradas a nivel nacional para el estudio de las “Intrusiones Saharianas”. Valderejo, además, se está utilizando para estudios de Cambio Climático. [7]

Los datos de las Estaciones están disponibles para su consulta en la web del Gobierno Vasco con una demora de dos horas. Los datos son provisionales hasta su validación por técnicos del Departamento de Medio Ambiente. [8]

La red cuenta también con **8 estaciones móviles, 5 de ellas están dotadas con similar equipamiento a las estaciones fijas, y 3 son laboratorios móviles que están dotados de cromatógrafos gases masas que tienen la capacidad de analizar más de 150 compuestos orgánicos volátiles.** Con estas unidades móviles se realizan campañas indicativas en diferentes puntos del territorio.

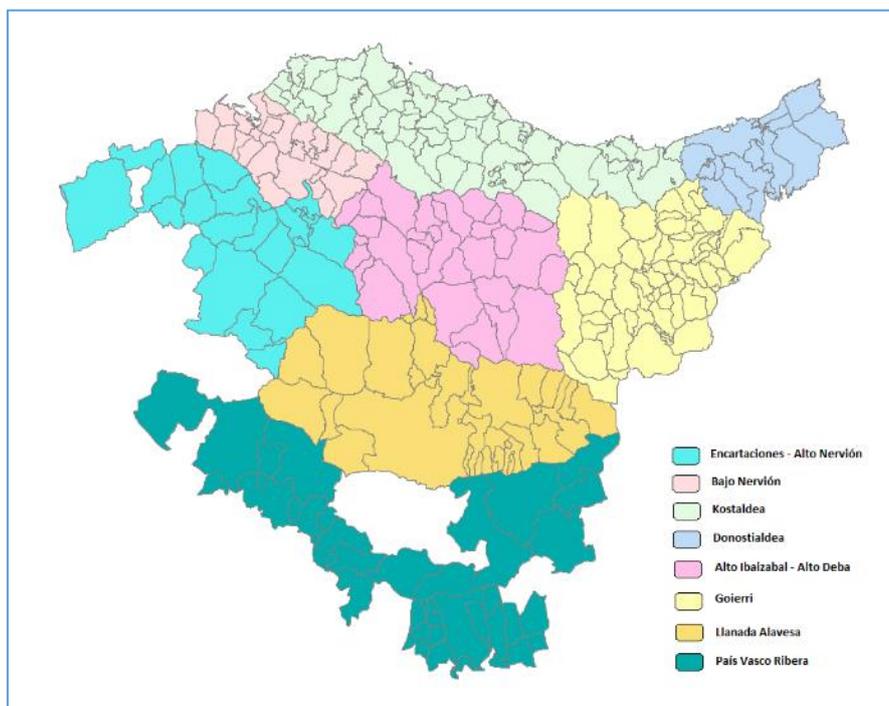
Para gestionar y evaluar oficialmente la calidad del aire la Comunidad Autónoma del País Vasco, el territorio se ha dividido en 8 zonas, tal y como se establece en el Anexo IV del RD 102/2011. Esta definición se hace por cuencas o aéreas de orografía similar en las que los niveles de contaminantes están influidos fundamentalmente por las mismas fuentes, y por los mismos procesos de transporte de la masa aérea desde dichas fuentes. [6]

La zonificación del territorio depende también del contaminante. Para los contaminantes SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y CO, las zonas de la CAPV son las que se muestran en la **Tabla 1.**

**Tabla 1.** Zonificación del territorio para los contaminantes SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y CO.

| Código | Nombre de la zona            | Contaminante   | Tipo         | Área (km <sup>2</sup> ) | Población (habitantes) |
|--------|------------------------------|--|--------------|-------------------------|------------------------|
| ES1601 | Encartaciones – Alto Nervión | SO <sub>2</sub> ;NO <sub>2</sub> ;PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> ;CO | Zona         | 969,2                   | 91.634                 |
| ES1602 | Bajo Nervión                 | SO <sub>2</sub> ;NO <sub>2</sub> ;PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> ;CO | Aglomeración | 378                     | 845.015                |
| ES1603 | Kostaldea                    | SO <sub>2</sub> ;NO <sub>2</sub> ;PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> ;CO | Zona         | 992,2                   | 200.175                |
| ES1604 | Donostialdea                 | SO <sub>2</sub> ;NO <sub>2</sub> ;PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> ;CO | Aglomeración | 348,4                   | 401.276                |
| ES1605 | Alto Ibaizabal – Alto Deba   | SO <sub>2</sub> ;NO <sub>2</sub> ;PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> ;CO | Zona         | 942,9                   | 202.642                |
| ES1606 | Goierri                      | SO <sub>2</sub> ;NO <sub>2</sub> ;PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> ;CO | Zona         | 917,9                   | 143.388                |
| ES1607 | Llanada Alavesa              | SO <sub>2</sub> ;NO <sub>2</sub> ;PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> ;CO | Zona         | 1.305,6                 | 267.717                |
| ES1608 | País Vasco Ribera            | SO <sub>2</sub> ;NO <sub>2</sub> ;PM <sub>10</sub> y PM <sub>2,5</sub> ;CO | Zona         | 1.376,9                 | 20.039                 |

La situación y amplitud geográfica de las 8 zonas mencionadas se puede observar en el siguiente plano de la CAPV (**figura 2**)



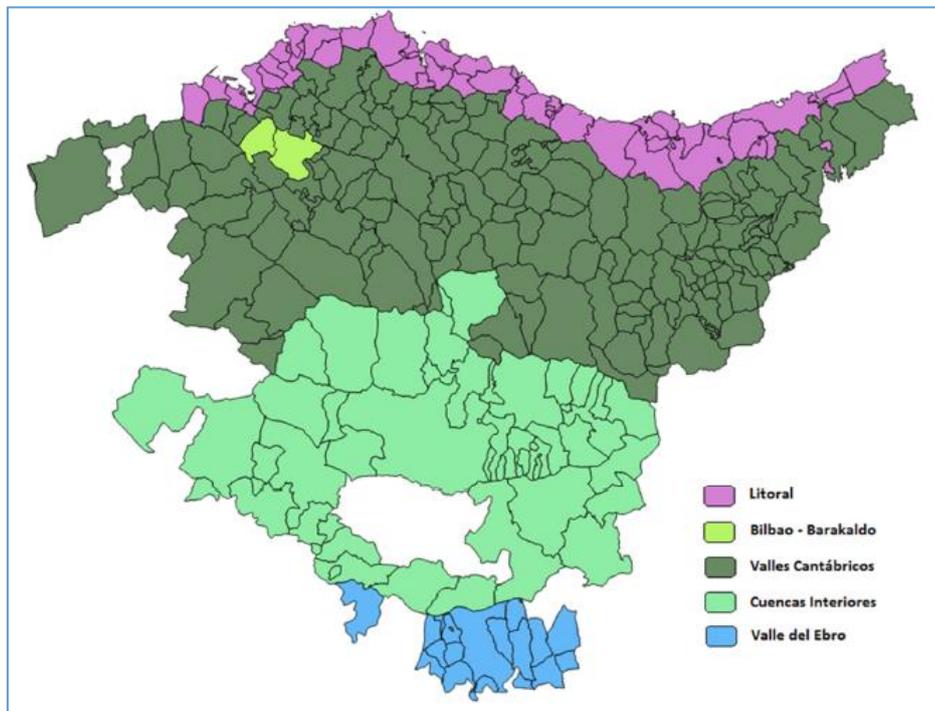
**Figura 2.** Zonas de medición de la calidad del aire de la CAPV (excepto para el ozono) (fuente <https://www.euskadi.eus/informacion/evaluacion-de-la-calidad-del-aire-en-euskadi/web01-a2ingair/es/>)

En el caso del ozono la zonificación es diferente, ya que el comportamiento de este contaminante en la atmósfera también lo es. El análisis estadístico de los niveles de ozono del 2004 al 2013 puso de manifiesto una clara diferencia en el ciclo estacional de los niveles medios registrados en las diferentes estaciones, dependiendo de su proximidad al mar, es decir un comportamiento en la evolución anual ligada a la climatología de la zona. Es por ello que las zonas establecidas para el control del ozono son las recogidas en la **tabla 2**.

**Tabla 2.** Zonificación del territorio para el O<sub>3</sub>.

| Código | Nombre de la zona  | Contaminante   | Tipo         | Área (km <sup>2</sup> ) | Población (habitantes) |
|--------|--------------------|----------------|--------------|-------------------------|------------------------|
| ES1610 | Litoral            | O <sub>3</sub> | Zona         | 810                     | 564.971                |
| ES1611 | Bilbao – Barakaldo | O <sub>3</sub> | Aglomeración | 70,70                   | 440.884                |
| ES1612 | Valles Cantábricos | O <sub>3</sub> | Zona         | 3.721,44                | 878.218                |
| ES1613 | Cuencas interiores | O <sub>3</sub> | Zona         | 2.313                   | 276.329                |
| ES1614 | Valle del Ebro     | O <sub>3</sub> | Zona         | 315,85                  | 11.484                 |

La situación y amplitud geográfica de las 4 zonas mencionadas se puede observar en el siguiente plano de la CAPV (**figura 3**).



**Figura 3.** Zonas de medición de la calidad del aire de la CAPV para el caso del ozono (fuente <https://www.euskadi.eus/informacion/ozono-troposferico/web01-a2ingair/es/>)

Cuatro de las estaciones de medición de ozono están ubicadas en áreas de fondo rurales (Pagoeta, Valderejo, Mundaka y Jaizkibel), como parques naturales, y tienen el objetivo de medir la contaminación transfronteriza que nos llega al país, bien del continente europeo o del Sahara, así como conocer la calidad del aire en condiciones naturales.

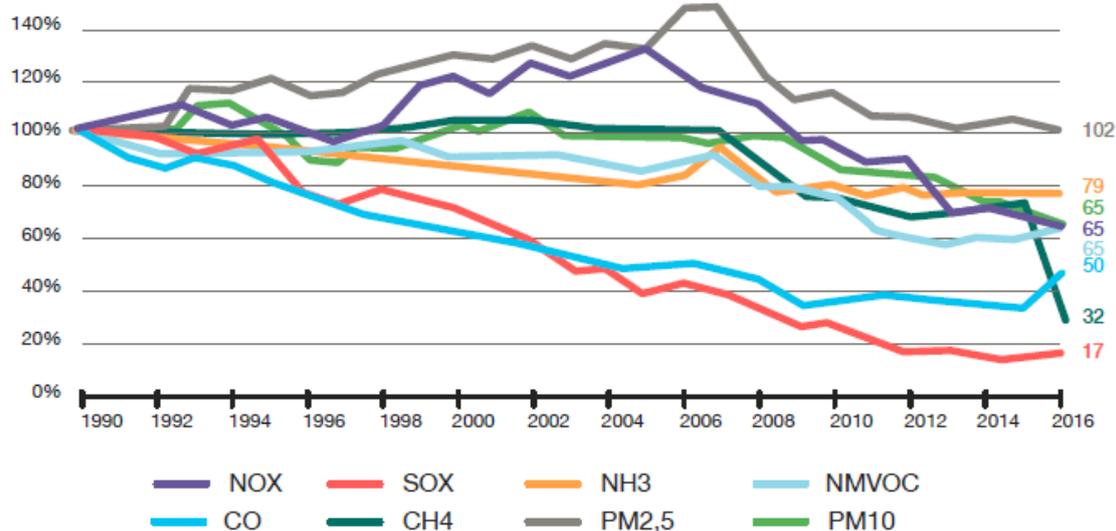
La situación del resto de los puntos de control responde al objetivo de medir la contaminación de un entorno urbano o industrial, provocada por el tráfico, calefacciones o industrias.

### 3.3. CALIDAD DEL AIRE EN LA CAPV: ESTADO ACTUAL

En cuanto al estado actual de la calidad del aire, Euskadi muestra en el año 2020 un descenso generalizado de las emisiones contaminantes y un aumento de la calidad del aire.

En la **figura 4** se representa una gráfica de la evolución de las emisiones por contaminantes entre los años 1990 y 2016. Es una representación que toma como referencia las emisiones del año 1990 que se representa globalmente con un índice de

100%, lo que permite comparar la reducción porcentual generalizada en todos los contaminantes. [9]



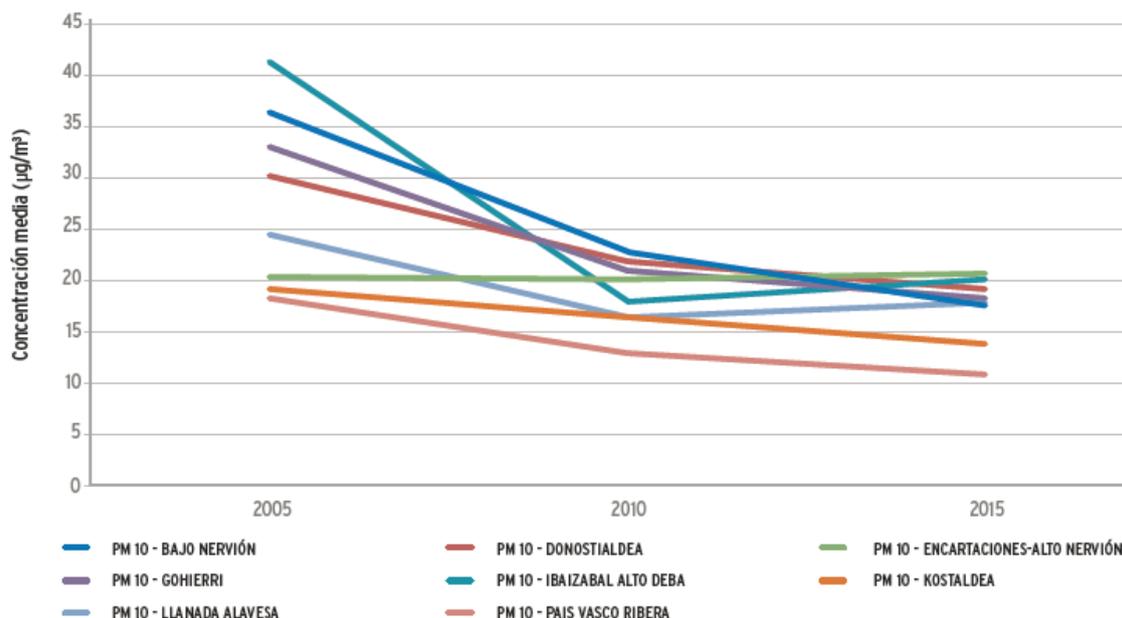
**Figura 4.** Gráfica de la Evolución porcentual periodo 1990-2016 de las emisiones de contaminantes atmosféricos. Fuente (Gobierno Vasco Perfil Ambiental Euskadi 2016. Año 2017)

En lo que se refiere a las Partículas se constata lo siguiente:

Las partículas inferiores de 10 micras que se mantenían estables de 1990 hasta 2007 experimentan un descenso desde 2007 más acusado en los años 2009-2010 y que, posteriormente, sigue una ligera tendencia a la baja. De esa forma la concentración media anual de partículas PM10 en Euskadi muestra un descenso del 35% en comparación con la referencia de 1990. [9]

Las partículas inferiores de 2,5 micras después de un aumento del 50% en el periodo 1990-2006 experimentan un descenso continuado desde el máximo de 2006, lo que hace que se sitúen en niveles equiparables a 1990. La concentración media anual de partículas PM10 en Euskadi muestra un descenso del 59% durante el periodo 2003-2019 y se sitúa por debajo del objetivo fijado por la Directiva Europea sobre calidad del aire. [9]

Si el estudio de la evolución histórica de la concentración de partículas PM10 se realiza por zonas de calidad del aire de la CAPV, se observa en la **figura 5** una reducción generalizada en los valores medios. [9]



**Figura 5.** Evolución de la concentración media anual de PM10 por zonas. Fuente (Gobierno Vasco Perfil Ambiental Euskadi 2016. Año 2017)

La reducción de la concentración de partículas, que es más acusada desde los años 2009-2010, coincide con la entrada en vigor de la ley 16/2002 de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC) que establece la actualización de las medidas para la prevención de la contaminación de las grandes actividades industriales a través de las Autorizaciones Ambientales Integradas. Se reducen los valores límite de emisión de contaminantes para las actividades, lo que obliga a la implantación de nuevos sistemas de filtración de partículas (por ejemplo, en fundiciones, acerías, cementeras, refinerías). [10]

Entre los retos para 2030, se marca conseguir un transporte menos contaminante y mejorar el grado de conocimiento del impacto de las sustancias químicas en la salud.

### 3.4. LAS PARTÍCULAS PM10 Y PM2,5 Y LA CALIDAD DEL AIRE

Uno de los contaminantes más problemáticos para la salud es el material particulado o partículas en suspensión. Estas partículas suelen ser de diferente tamaño, y en la legislación de calidad del aire aparecen contempladas las dos siguientes fracciones de material particulado por su efecto en la salud y en el medio ambiente: PM10 y PM2,5 [1]

Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín). Se caracterizan por poseer un pH básico debido a la combustión no controlada de materiales. [11]

Según su **origen**, el material particulado se puede clasificar de la siguiente manera:

- **Primario:** Cuando las PM se emiten directamente a la atmósfera, ya sea de manera natural (polvo y partículas del suelo, partículas salinas marinas, esporas y pólenes) o como consecuencia de la actividad humana, que en ambientes urbanos se asocia sobre todo al tráfico rodado y a la circulación de vehículos (lo que incluye tanto las emisiones de combustión del motor como el desgaste de frenos y neumáticos), a otros procesos de combustión (en especial industriales, pero también relacionados con la calefacción de edificios y viviendas), a otras fuentes de emisión industriales y a la construcción. [12]
- **Secundario:** Cuando se producen en la atmósfera como resultado de reacciones químicas a partir de gases precursores ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  y compuestos orgánicos volátiles, principalmente). Dichos precursores permiten resumir el origen de las partículas secundarias en dos grandes bloques [12]:

Los componentes inorgánicos secundarios, como el sulfato y nitrato amónico ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  y  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), que generalmente constituyen el 30-40% de las partículas  $\text{PM}_{2,5}$ . Se originan por la oxidación en la atmósfera de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  y su interacción con amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Esta reacción es más rápida en condiciones de alta temperatura y humedad y elevada insolación, y el origen de los gases precursores es antropogénico en su gran mayoría. [12]

Los compuestos secundarios orgánicos se originan a partir de COVs, tanto naturales como antrópicos. Entre los gases orgánicos antrópicos destacan los hidrocarburos emitidos por evaporación de combustibles o por emisiones de combustión, así como un gran número de focos industriales (pinturas, barnices, entre otros). Entre los naturales destacan los COVs biogénicos procedentes de las emisiones vegetales, como los isoprenos, típicos de los bosques caducifolios y los terpenos de los de coníferas. Estos COVs reaccionan en la atmósfera con  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_x$  y otros componentes y generan compuestos carbonosos sólidos y/o líquidos que constituyen alrededor del 25-30% del  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2,5}$ . La velocidad de formación de este  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2,5}$  carbonoso es mayor en las ciudades por presentar altos niveles de  $\text{NO}_x$ , a su vez, la reacción entre  $\text{NO}_2$  y COVs genera  $\text{O}_3$ . [12]

En general, la fracción antropogénica domina sobre la natural, tanto en zonas rurales como en puntos de tráfico rodado o industriales. Además, la fracción secundaria representa entre el 40 y el 70 % de la masa de PM. Según el Inventario Nacional de Emisiones Contaminantes a la Atmósfera, el foco más influyente es la combustión en sectores no industriales, tanto para las  $\text{PM}_{10}$  como para las  $\text{PM}_{2,5}$ , seguida por el tráfico rodado (en el caso de las  $\text{PM}_{10}$ ) o por la agricultura (en el de las  $\text{PM}_{2,5}$ ). [12]

### 3.5. LEGISLACIÓN AMBIENTAL RELATIVA A LA CALIDAD DEL AIRE

#### 3.5.1. ANTECEDENTES LEGALES

Los antecedentes relativos al **marco normativo estatal** son:

**La Ley 38/1972, de 22 de diciembre**, de Protección del Ambiente Atmosférico y el Decreto 833/1975, de 6 de febrero que desarrolló y modificó la ley anterior, constituyeron la primera normativa estatal. Estableció los principios generales para el control de la calidad del aire y la regulación de las fuentes emisoras. [12]

**Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre**, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono. [13]

**Real Decreto 1796/2003, de 26 de diciembre**, relativo al ozono en el aire ambiente. [14]

**Real Decreto 812/2007, de 22 de junio**, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos. [15]

Los antecedentes relativos al **marco normativo europeo** se materializan en la **Directiva 96/62/CE** del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del Aire Ambiente, o Directiva Marco. Esta directiva fue la primera norma en adoptar un planteamiento general y en fijar unos criterios, objetivos y técnicas de evaluación definidos. Dicho planteamiento inicial fue posteriormente desarrollado para diferentes grupos de contaminantes a través de una serie de normas, conocidas como Directivas Hijas, la mayor parte de las cuales ya han sido sustituidas por normas posteriores [16]:

**Directiva 1999/30/CE** del Consejo, de 22 de abril de 1999, relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente (**1ª Directiva Hija**). [17]

**Directiva 2000/69/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de noviembre de 2000, sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente (**2ª Directiva Hija**). [18]

**Directiva 2002/3/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente (**3ª Directiva Hija**). [19]

**Directiva 2004/107/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente (**4ª Directiva Hija**). [20]

### 3.5.2. NORMATIVA EUROPEA EN VIGOR

La normativa europea sobre calidad del aire actualmente en vigor viene representada por las siguientes Directivas:

- **Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.** [21]

Tiene como objetivos establecer medidas destinadas a:

Definir y establecer objetivos de calidad del aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto.

Evaluar la calidad del aire ambiente en los Estados miembros basándose en métodos y criterios comunes.

Obtener información sobre la calidad del aire ambiente con el fin de ayudar a combatir la contaminación atmosférica y otros perjuicios y controlar la evolución a largo plazo y las mejoras resultantes de las medidas nacionales y comunitarias.

Asegurar que esa información sobre calidad del aire ambiente se halla a disposición de los ciudadanos.

Mantener la calidad del aire, cuando sea buena, y mejorarla en los demás casos.

Fomentar el incremento de la cooperación entre los Estados miembros para reducir la contaminación atmosférica.

Regular nuevos contaminantes, como las partículas de tamaño inferior a 2,5  $\mu\text{m}$  así como nuevos requisitos en cuanto a la evaluación y los objetivos de calidad del aire, teniendo en cuenta las normas, directrices y los programas correspondientes a la OMS.

- **Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004.** Es la única norma derivada de la Directiva Marco original que sigue en vigor. [20]

Establece valores objetivo para el arsénico, el cadmio, el níquel y el benzo(a)pireno, en representación de los HAPs (se exceptúa el mercurio), entendidos como la concentración en el aire ambiente fijada para evitar, prevenir o reducir los efectos perjudiciales de dichos contaminantes en la salud humana y el medio ambiente en su conjunto, que debe alcanzarse en lo posible durante un determinado período de tiempo.

**Directiva 2015/1480/CE, de la Comisión, de 28 de agosto de 2015** [21]

Modifica varios anexos de las Directivas 2004/107/CE y 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en los que se establecen las normas relativas a los métodos de referencia, la validación de datos y la ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de la calidad del aire ambiente.

### 3.5.3. NORMATIVA ESTATAL EN VIGOR

#### **Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera. [23]**

Esta Ley actualiza la base legal para los desarrollos relacionados con la evaluación y la gestión de la calidad del aire en España, y tiene como fin último el de alcanzar unos niveles óptimos de calidad del aire para evitar, prevenir o reducir riesgos o efectos negativos sobre la salud humana, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. Mediante la misma se habilita al gobierno a definir y establecer los objetivos de calidad del aire y los requisitos mínimos de los sistemas de evaluación de la calidad del aire, y sirve de marco regulador para la elaboración de los planes nacionales, autonómicos y locales para la mejora de la calidad del aire.

#### **RD CALIDAD DEL AIRE 102/2011 28 ENERO DE 2011. [24]**

Esta norma transpone al ordenamiento jurídico español el contenido de la Directiva 2008/50/CE, de 21 de mayo de 2008 y la Directiva 2004/107/CE, de 15 de diciembre de 2004.

Se aprueba con la finalidad de evitar, prevenir y reducir los efectos nocivos de las sustancias mencionadas sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.

Los principales aspectos que regula contempla este Real Decreto son:

- **Define y establece los Objetivos de Calidad del Aire** para cada uno de los contaminantes regulados (esto es, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> Y NO<sub>x</sub>, **PM10**, **PM2,5**, Pb, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, CO, O<sub>3</sub>, As, Cd, Ni y B(a)P), así como los criterios de agregación y cálculo correspondientes.
- Regula la evaluación, el mantenimiento y la mejora de la calidad del aire en relación con las sustancias enumeradas en el apartado anterior y los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) distintos al benzo(a)pireno.
- Establece métodos y criterios comunes de evaluación de las concentraciones de las sustancias mencionadas en el primer apartado, el mercurio y los HAP y de los depósitos de arsénico, cadmio, mercurio, níquel y HAP.
- Determina la información a la población y a la Comisión Europea sobre las concentraciones y los depósitos de las sustancias mencionadas, el cumplimiento de sus objetivos de calidad del aire, los planes de mejora y demás aspectos regulados en la norma.
- Establece para el amoníaco (NH<sub>3</sub>), de acuerdo con la Ley 34/2007, métodos y criterios de evaluación, así como la información a facilitar a la población y a intercambiar entre las administraciones.
- Define las actuaciones a llevar a cabo, en el ámbito de sus respectivas competencias, por las Administraciones públicas.

## Antecedentes

Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta

- La Disposición Transitoria Segunda contempla objetivos de calidad del aire para otros contaminantes, como el cloro molecular, el cloruro de hidrógeno, compuestos de flúor, el fluoruro de hidrógeno o los sulfuros de hidrógeno y de carbono.
- Establece la obligación de dividir el territorio de las diferentes Comunidades Autónomas en zonas y aglomeraciones, en las que se llevarán a cabo las actividades de evaluación y gestión de la calidad del aire.
- Sienta las bases de la evaluación de la calidad del aire, enfocada a tres tipos de contaminantes o grupos de contaminantes:
  - Evaluación de la calidad del aire en relación al dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y los óxidos de nitrógeno, las partículas, el plomo, el benceno y el monóxido de carbono, el arsénico, el cadmio, el níquel, el mercurio, el benzo(a)pireno y los demás HAP. Para todos estos contaminantes (excepto para el mercurio y HAP), se obliga a la clasificación de cada zona o aglomeración en función de los umbrales de evaluación establecidos en el Anexo II teniendo en cuenta los principios de implantación de las estaciones de muestreo recogidos en el Anexo III, y determina el método de evaluación (mediciones fijas, técnicas de modelización, campañas de mediciones representativas indicativas o una combinación de los mismos). También concreta diversos aspectos relacionados con las mediciones, tales como: los criterios de ubicación de los puntos de muestreo o la determinación del número mínimo de éstos en medición fija, los objetivos de calidad de los datos o los métodos de referencia para la evaluación; y proporciona criterios adicionales para las partículas PM<sub>2,5</sub> y para los metales As, Cd, Hg y Ni, y HAPs.
  - Evaluación de la calidad del aire en relación al ozono: Obliga igualmente a la clasificación de cada zona o aglomeración en función de los valores objetivo. Establece los criterios para clasificar y ubicar los puntos de medición y el número mínimo de éstos, así como los objetivos de calidad de los datos.
  - Evaluación de la calidad del aire en relación con el amoníaco: establece el número mínimo de puntos de muestreo y su ubicación, los objetivos de calidad de los datos y las técnicas de análisis.
- Se ocupa de la gestión de la calidad del aire en estos términos:
  - Fija diversas obligaciones en lo que respecta a los plazos de cumplimiento y a la necesidad de elaborar listados diferenciados por contaminante donde se indique los umbrales y límites legislados superados, por zonas y aglomeraciones, así como al estipular una serie de medidas aplicables según la superación o no superación de los límites, objetivos y /o umbrales establecidos, según el caso.
  - Define un Indicador Medio de Exposición (IME) como “el nivel medio, determinado a partir de las mediciones efectuadas en ubicaciones de fondo urbano de todo el territorio nacional, que refleja la exposición de la población”, que se emplea para calcular el objetivo nacional de reducción de la exposición

(el porcentaje de reducción del indicador medio de exposición de la población nacional establecido para el año de referencia con el fin de reducir los efectos nocivos para la salud humana, que debe alcanzarse, en la medida de lo posible, en un período determinado) y la obligación en materia de concentración de la exposición (el nivel fijado sobre la base del indicador medio de exposición, con el fin de reducir los efectos nocivos para la salud humana que debe alcanzarse en un período determinado).

- Contempla las aportaciones procedentes de fuentes naturales, en relación con las superaciones de los valores límite imputables a dichas causas, que por ello no se consideran como tales. La demostración y sustracción de los niveles atribuibles a fuentes naturales será conforme a las directrices publicadas por la Comisión Europea y, en su ausencia, a los procedimientos elaborados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en colaboración con las Comunidades Autónomas.
- Considera la posibilidad de solicitar prórrogas de los plazos de cumplimiento, y exenciones en la obligación de aplicar ciertos valores límite, y define y regula las condiciones aplicables a dicha solicitud. Como consecuencia de todo lo anterior, El Real Decreto estipula que cuando en determinadas zonas o aglomeraciones los niveles de contaminantes en el aire ambiente superen cualquier valor límite o valor objetivo, así como el margen de tolerancia correspondiente a cada caso, las comunidades autónomas aprobarán planes de calidad del aire para esas zonas y aglomeraciones con el fin de conseguir respetar el valor límite o el valor objetivo correspondiente.

**En cuanto a los objetivos de calidad del aire que establece el RD Calidad del Aire 102/2011 para el material particulado para el año 2022, se han recogido en la Tabla 3.**

**Tabla 3.** Objetivos de calidad del aire que establece el RD Calidad del Aire 102/2011 para el material particulado para el año 2022.

| Partículas PM10     | Periodo de promedio | Valor límite   |
|---------------------|---------------------|--|
| Valor límite diario | 24 horas            | 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año |
| Valor límite anual  | 1 año civil         | 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  |
| Partículas PM2,5    | Periodo de promedio | Valor límite   |
| Valor límite anual  | 1 año civil         | 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  |

### 3.5.4. PLANES DE CALIDAD DEL AIRE

Un plan de calidad del aire es una herramienta normativa con el que las Administraciones buscan luchar contra la contaminación atmosférica estableciendo medidas concretas y específicas para mejorar la calidad del aire y asegurar que los niveles de los contaminantes no representan un riesgo para la ciudadanía y el entorno natural.

La competencia de la elaboración, aprobación y ejecución de un Plan de Calidad es una tarea conjunta que se distribuye entre diferentes Administraciones Públicas de la siguiente forma [24]:

- La Administración General del Estado tiene como misión, en colaboración con las Comunidades Autónomas, elaborar y aprobar los planes y programas de ámbito estatal necesarios para cumplir con la normativa europea y los compromisos internacionales adoptados.
- Las Comunidades Autónomas, que pueden decretar valores límite más estrictos que los establecidos por la Administración General del Estado y las Entidades Locales, cuando corresponda, son las encargadas de:
  - o Designar los órganos competentes encargados de aplicar las normas.
  - o Evaluar la calidad del aire a través de la recogida de datos, delimitando diferentes zonas y aglomeraciones.
  - o Aprobar planes de mejora de calidad del aire cuando se detectan zonas en las que se superan los valores límite u objetivo.
  - o Informar a la población de los valores de contaminantes registrados.
  - o Implantar las medidas de control, aprobando sistemas de medición o equipos.
  - o Establecer las sanciones en caso de incumplimiento.
- La Administración Local es responsable de adaptar las ordenanzas municipales y el planeamiento urbanístico para posibilitar el cumplimiento de los correspondientes planes de calidad del aire. [24]

Existen dos tipos principales de Planes que se diferencian en su alcance y objetivos:

- **Plan de mejora de la calidad del aire**, destinado a corregir desviaciones en los niveles de contaminación que superan los límites legales
- **Plan de acción (a corto plazo)**, de aplicación en aquellas zonas en las que se estima que hay riesgo de superar los niveles de alerta. Estos planes pueden recoger medidas tales como restricciones de tráfico o medidas de protección de los grupos más sensibles (personas mayores, población infantil, personas enfermas, mujeres embarazadas, etc.)

En cuanto al **contenido mínimo de un Plan de Calidad del aire** con carácter general debe incluir los siguientes contenidos [24]:

- Localización y caracterización de la zona en la que se superan los niveles de calidad del aire.
- Autoridades responsables de elaborar y ejecutar los planes de mejora.
- Evaluación de la contaminación, detallando las mediciones registradas antes y después de la aplicación de las medidas correctoras, así como las técnicas de evaluación utilizadas.
- Origen de la contaminación, con un listado de las principales fuentes.

- Análisis de la situación, donde se analizan los factores que han podido conducir a la superación de los límites (las inversiones térmicas, por ejemplo).
- Medidas o proyectos de mejora que ya existían.
- Información de las medidas adoptadas para reducir la contaminación.
- Relación de las iniciativas a largo plazo previstas o consideradas.
- Publicaciones o documentos destinadas a completar la información solicitada
- Procedimiento que aseguren el cumplimiento y revisión.
- Evaluación, la piedra angular de un plan de calidad del aire
- La evaluación es uno de los apartados más relevantes de un plan destinado a mejorar la calidad del aire, ya que permite detectar dónde se están produciendo desviaciones y si las medidas adoptadas resultan efectivas.

Los Planes se definen en un ámbito geográfico definido que también se establece en el RD101/2011 [24]:

- **Zonas:** áreas delimitadas por la administración competente en función de la homogeneidad de las emisiones y la concentración de sustancias contaminantes.
- **Aglomeraciones:** áreas con más de 250 000 habitantes o con una elevada densidad de población que justifique una evaluación específica.

En lo relativo a la CAPV, en los últimos años se han elaborado varios planes de acción por municipio o por zona geográfica. La mayoría de estos planes han estado orientados a disminuir los niveles de PM10 en puntos donde se había superado el valor límite diario de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  más de 35 ocasiones por año civil que establece el Real Decreto 101/2011.

Estos planes se implantaron en los municipios a través de acciones correctoras que cada municipio fue implantando en sus agendas locales 21 o que se aprobaron en los plenos municipales. Estas actuaciones, junto las mejoras que se han ido realizando en la industria con la introducción de nuevas tecnologías, implantadas también por las exigencias derivadas de las nuevas normativas comunitarias sobre calidad del aire, han contribuido a que los niveles de PM10 en los últimos años haya mejorado.

El listado cronológico de los Planes en la CAPV es el siguiente:

- Plan de Acción de Calidad del Aire de la Comarca de Pasaialdea (2005-2007) [25]
- Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca del Bajo Nervión (2005-2007) [26]
- Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca del Goierri (2005-2007) [27]
- Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca del Alto Deba (2005-2007) [28]
- Plan de Acción de Calidad del Aire para el Duranguesado (2005-2007) [29]
- Plan de Acción de Calidad del Aire en el Municipio de Lemoa (2006-2007) [30]
- Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca del Urola Medio (2006-2007) [31]
- Plan de Acción de Calidad del Aire para Betoño (2006-2007) [32]
- Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca de Tolosaldea (2008) [33]

- Plan de Acción de la Comarca del alto Urola (2009-2011) [34]
- Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca del Bajo Nervión (2015) [35]
- Plan para la mejora de la calidad del aire de Bilbao (año 2019) [36]

### 3.5.5. EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AIRE

En cuanto a las formas de evaluar la calidad del aire, en el RD101/2011 reconoce diferentes formas para los principales contaminantes. Estas metodologías se pueden agrupar en [24]:

- **Mediciones fijas** (Estaciones de Control de la Calidad del Aire). Su número y distribución queda definido por el número de habitantes y la superación o no de los límites en la concentración de los contaminantes (Anexo IV RD 102/2011).
- **Mediciones indicativas** que se pueden ser definidas como la supervisión de la calidad del aire a través de equipos para los que no se exige una calidad del dato tan estricta como en el caso anterior.
- **Técnicas de modelización**, que pueden usarse como complemento de los sistemas anteriores y que, en base a las mediciones fijas e indicativas, establece, por ejemplo, cómo puede evolucionar la calidad del aire en un plazo de 24-48 horas. Estas tecnologías permiten tener en cuenta el efecto de la meteorología u otros factores que pueden incidir en los niveles de calidad del aire estimados.

### 3.6. MEDICIÓN DE PM10 Y PM2,5 EN LA RED DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CAPV.

La medición de material particulado en la Red de Control de la Calidad del Aire de la CAPV se realiza mediante equipos de referencia (captadores) y automáticos en función de las necesidades:

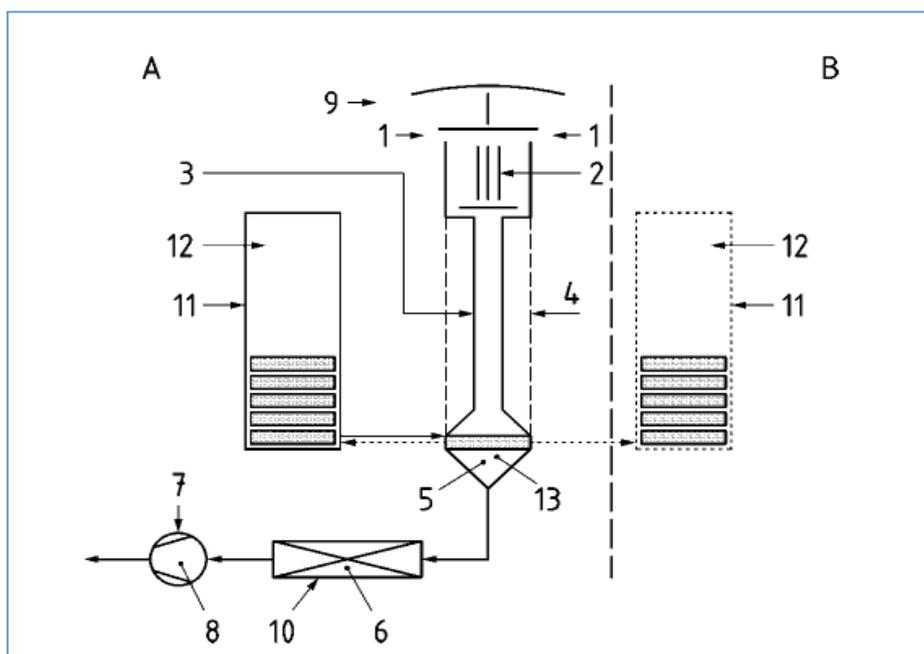
- Los equipos de referencia se emplean en la Red de Control de la Calidad del Aire de la CAPV en las campañas de intercomparación con los equipos automáticos y en las campañas en las que se requiere la recogida de las muestras diarias para su posterior análisis en Laboratorio para determinar su contenido en metales y HAPs. Son equipos de las marcas Derenda y Digital. [24]
- Los equipos automáticos empleados en la Red de Control de la Calidad del Aire emplean las tres técnicas establecidas en la normativa (balanza, atenuación radiación  $\beta$  y dispersión de luz). Son equipos de las marcas THERMO (modelos 5014i, TEOM 1400a, TEOM 1405a y TEOM 1405f), SHARP (modelo 5030), ESM ANDERSEN (modelo FH 62 IR) GRIMM (modelo 180) y Palas (modelo 200). [24]

### 3.6.1. METODO DE MEDICIÓN GRAVIMÉTRICO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MÁSCICA PM10 y PM2,5 DE LA MATERIA PARTICULADA EN SUSPENSIÓN (NORMA UNE EN 12341)

Para las mediciones de PM10 y PM2,5 no existen patrones de referencia trazables. Por tanto, el método normalizado define el método gravimétrico como método de referencia para la determinación de PM10 y PM2,5. Según la Norma de referencia europea UNE EN 12341:2015. [38]

El método gravimétrico consiste en hacer pasar una muestra de aire a caudal fijo por un filtro de masa conocida donde se queda retenida la materia particulada. Posteriormente, la concentración (PM10 o PM2,5 en este caso) se obtiene según el siguiente procedimiento: se pesan los filtros con la materia particulada en el laboratorio, al valor obtenido se le resta la masa del filtro (obtenido previamente al inicio del muestreo) y, finalmente, el resultado se divide por el volumen de aire muestreado durante 24 horas. [38]

El esquema de componentes de los captadores se recoge en la **figura 6**.



**Figura 6.** Esquema de un captador. Componentes: 1. Muestra de aire, 2. Cabezal de impactación, 3. Tubo de conexión, 4. Funda de aire del cabezal (opcional), 5. Portafiltros, 6. Dispositivo de medición del flujo, 7. Bomba, 8. Sistema de control del flujo, 9. Sistema de medición de temperatura y presión en el cabezal, 10. Sistema de medición de temperatura y presión en el medidor de caudal, 11. Sistema de cambiador de muestra y almacenamiento del filtro, 12. Medición de temperatura en el almacenamiento, 13. Sistema de medición de temperatura del aire cerca del filtro. [38]

El diseño del cabezal de corte se recoge en la **figura 7** es el que determina el tamaño máximo de partícula que será determinado. Los cabezales deben estar fabricados de un material inerte, no corrosivo y conductor de la electricidad.

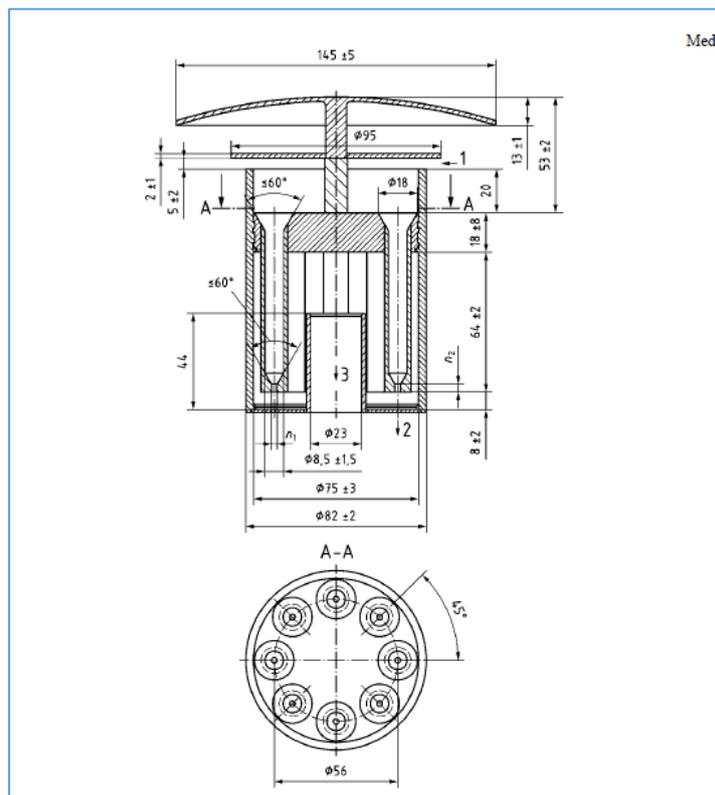


Figura 7: diseño del cabezal Normalizado [38]

El caudal normalizado para el muestreo de PM10 y PM2,5 es de 2,3 m<sup>3</sup>/h y debe mantenerse en un rango de ±5%. También es importante la medición de la temperatura y presión en el cabezal y el medidor de caudal.

Los requisitos de control de calidad establecen que se deben realizar verificaciones de:

- Estanqueidad del sistema de muestreo
- El sistema de medición de temperatura y presión
- El caudal de la bomba de muestreo
- Las balanzas de pesada de los filtros

En las **figuras 8 y 9** se aprecian imágenes de detalle de dos captadores de referencia (marca Digitel y Derenda).



Figura 8. Captador Digitel de la Red de la CAPV



Figura 9. Captador Derenda de la Red de la CAPV

### 3.6.2. METODOS DE AUTOMÁTICOS MEDIDA DISPONIBLES (NORMA UNE EN 16450 SIST AUTOM. MEDIDA PM 10 Y PM 2,5)

En este apartado se describen los principales métodos automáticos de medida que establece la norma UNE EN 16450 Sistemas Automáticos de medida PM 10 y PM<sub>2,5</sub>: **microbalanza oscilante**, **atenuación de la radiación  $\beta$**  y **dispersión de luz**. [39]

#### 3.6.2.1. EQUIPOS DE BALANZA (MICROBALANZA OSCILANTE)

Estos equipos miden continuamente la masa captada en un filtro midiendo la reducción de la frecuencia de oscilación de un elemento oscilante posicionado debajo del filtro. [39]

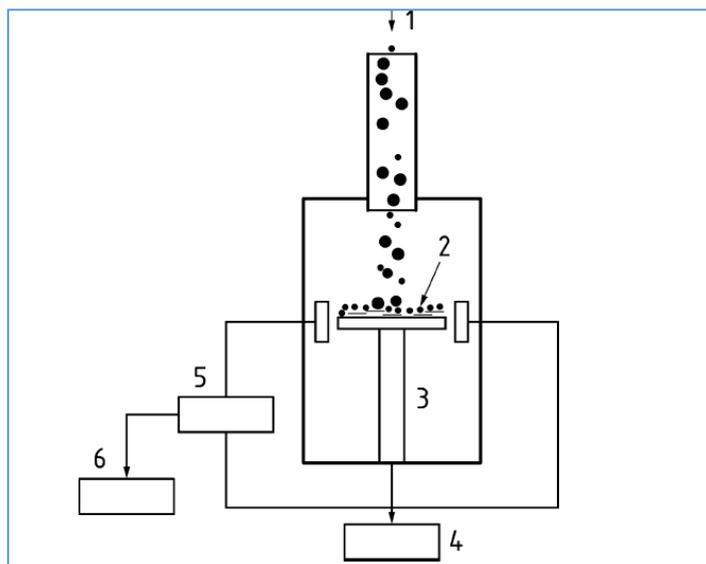
La concentración de material particulada se obtiene a partir del cambio de masa por unidad de tiempo y el flujo de muestra.

El corte de medición PM<sub>10</sub> o PM<sub>2,5</sub> se consigue empleando cabezales específicos para ese tamaño de partícula.

La calibración se realiza empleando filtros especiales prepesados (galgas) de masa conocida.

Las mediciones de cero se realizan generalmente por muestreo de aire ambiente a través de un filtro (HEPA).

El esquema de componentes de los equipos de balanza se recoge en la **figura 10**.

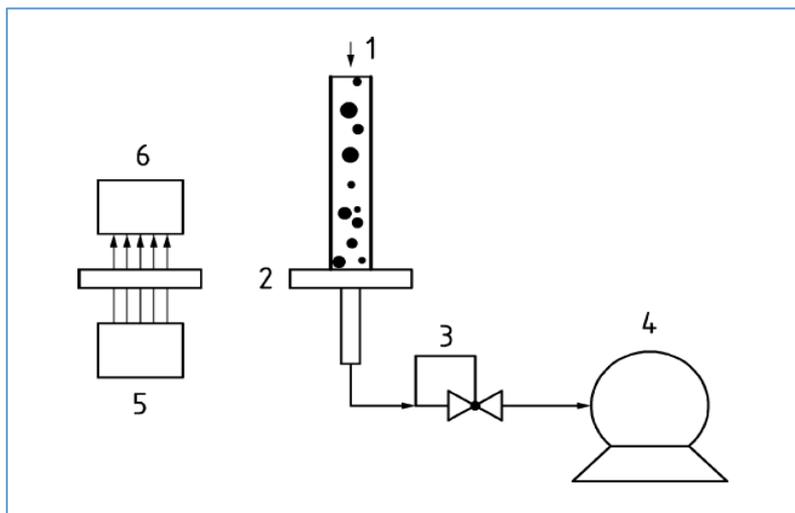


**Figura 10.** Esquema del método de microbalanza. Componentes: 1. Aire muestreado, 2. Filtro de la muestra, 3. Elemento Oscilante, 4. Bomba, 5. Amplificador de señal, 6. Contador de frecuencia [38]

### 3.6.2.2. EQUIPOS DE ATENUACIÓN DE LA RADIACIÓN $\beta$

El aire muestreado pasa a través de un cabezal de un tamaño de partícula selectivo a un caudal controlado. Las partículas de corte (PM10 o PM2,5) se captan en un soporte de muestra (filtro o cinta). A través del filtro se hace pasar una emisión de radiación  $\beta$ . El aumento en la carga de material particulado origina una disminución del nivel de radiación medido por el detector. Esta disminución es aproximadamente proporcional al incremento de la masa del material particulado. [39]

El esquema de componentes de los equipos de atenuación de la radiación  $\beta$  se recoge en la **figura 11**.



**Figura 11.** Esquema del método de atenuación de la radiación  $\beta$ . Componentes: 1. Aire muestreado, 2. Soporte de muestra, 3. Regulador de flujo, 4. Bomba de vacío, 5. Fuente de radiación  $\beta$ , 6. Detector [38]

La concentración de materia particulada se obtiene a partir del cambio de masa por unidad de tiempo y el flujo de muestra.

Al igual que en el caso de los equipos de balanza, el corte de medición PM10 o PM2,5 se consigue empleando cabezales específicos para ese tamaño de partícula, la calibración se realiza empleando filtros especiales prepesados (galgas) de masa conocida y las mediciones de cero se realizan generalmente por muestreo de aire ambiente a través de un filtro (HEPA).

En la **figura 12** se aprecia el equipo Thermo 5014i que emplea la técnica de medida de atenuación de la radiación  $\beta$ .



Figura 12. Equipo Thermo 5014 i ubicado en la Estación de Zumarraga

### 3.6.2.3. DISPERSIÓN DE LUZ

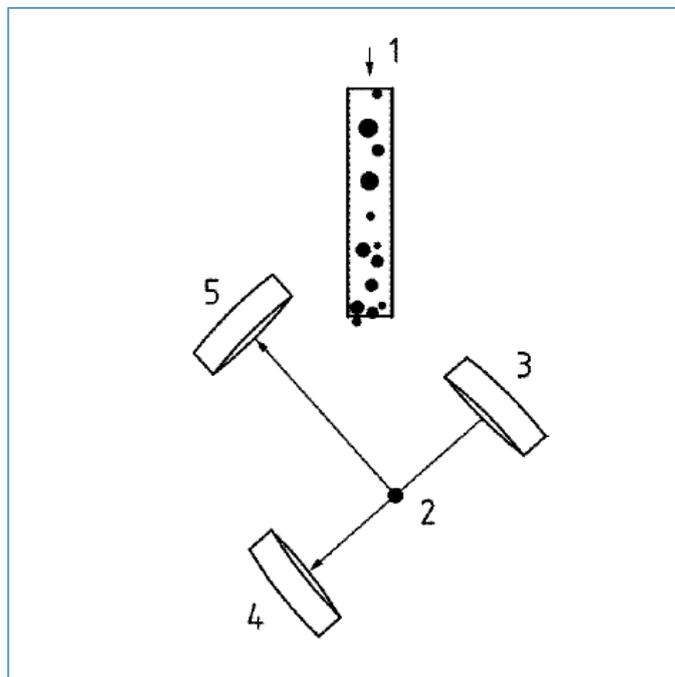
Este tipo de analizadores miden los pulsos de luz dispersada en una dirección particular (delante, detrás o lateral) y produce una señal determinada por el tamaño y la concentración de partículas en el flujo de muestra. [39]

La calibración se realiza muestreando concentraciones conocidas de partículas de tamaño exactamente conocido, mientras se controlan los parámetros críticos (temperatura, humedad).

La concentración materia particulada se obtiene a partir del cambio de masa por unidad de tiempo y el flujo de muestra.

El corte de medición PM10 o PM2,5 se consigue empleando cabezales específicos para ese tamaño de partícula.

El esquema de componentes de los equipos de dispersión de luz se recoge en la **figura 13**.



**Figura 13.** Esquema del método de dispersión de luz. Componentes: 1. Aire muestreado, 2. Partícula, 3. Fuente de luz, 4. Trampa de luz, 5. Detector [38]

#### 3.6.2.4. MEDICIÓN EQUIPOS FIDAS 200

Los equipos Fidas 200 son equipos de medición de partículas cuyo principio de medida es la dispersión de la luz. [3]

Emplean un espectrómetro de aerosol para analizar de forma continua las partículas de polvo fino presentes en el aire ambiente en un rango de tamaño de  $0,18 \mu\text{m}$  a  $18 \mu\text{m}$ . Calculan simultáneamente los valores de inmisión PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> que establece la normativa medioambiental y al mismo tiempo miden PM<sub>1</sub>, PM<sub>4</sub>, Partículas Totales, la concentración del número de partículas.

El sensor de medición de partículas del Fidas 200 es un espectrómetro de aerosol óptico que utiliza el principio de análisis de la dispersión de la luz de partículas individuales de Lorenz-Mie. Para ello está equipado con una fuente de luz LED de alta intensidad y gran estabilidad. Las partículas viajan individualmente a través de un volumen de medición confinado ópticamente que se ilumina homogéneamente con luz policromática. Cada partícula genera un impulso de luz dispersa que se detecta en un ángulo entre  $85^\circ$  y  $95^\circ$ . **El número de partículas se determina en función del número de impulsos de luz dispersados. El tamaño de partícula se determina en función del nivel de la intensidad de la luz dispersa.** La concentración másica de materia particulada se calcula por conversión del número de partículas medidas por unidad de tiempo a

masa por unidad de volumen usando análisis de multirregresión o con preajuste de densidades de partículas.

En la **figura 14** se aprecia un equipo Fidas 200 de intemperie y en la **figura 15** un equipo para ubicar en el interior de una Estación de Calidad del Aire o Unidad Móvil.



**Figura 14.** Equipo FIDAS con el equipo de intemperie



**Figura 15.** Equipo FIDAS sin el armario de intemperie

(Fuente Manual Palas GmbH. Products. Fine Dust Monitors. Fidas® system fidas® 200)

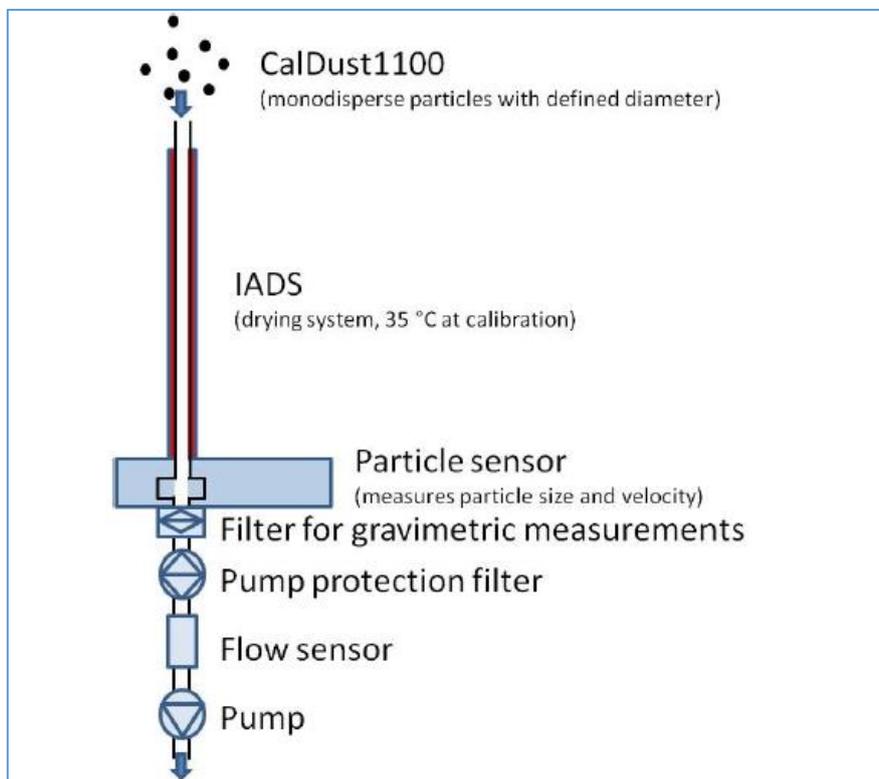
Estos equipos son actualmente los únicos dispositivos ópticos de medición de partículas que están homologados para el control simultáneo de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> según las normas VDI 4202-1, VDI 4203-3, UNE-EN 12341:2015, UNE-EN 16450:2017 y EU Equivalence Guide GDE y certificado de conformidad con las normas UNE-EN 15267:2009.

La **declaración de aprobación de tipo** del Fidas 200 se publicó por primera vez en el Boletín Federal Alemán Banz el 2 de abril de 2015 B5 en el capítulo IV, notificación 14, emitidas por TÜV Rheinland y la Agencia Ambiental Federal Alemana [www.qal1.eu](http://www.qal1.eu).

El equipo de medición FIDAS 200 está compuesto de:

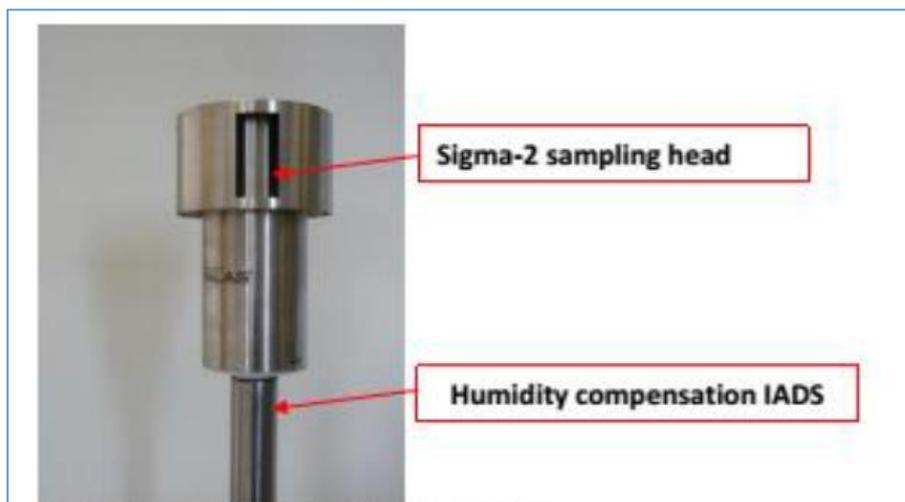
- Cabezal de muestreo Sigma 2
- Sistema de Secado (Intelligent Aerosol Drying System IADS)
- Sensor de partículas
- Alojamiento para la instalación de un filtro gravimétrico
- Filtro de protección de la bomba de muestreo
- Sensor del caudal
- Bomba de muestreo
- Estación meteorológica (para la medición de la temperatura, humedad, velocidad del viento).
- Alojamiento del equipo (armario estanco) en caso de que se instale a la intemperie.

En la **figura 16** se aprecian el orden secuencial de los componentes de un equipo Fidas desde que se toma una muestra de aire ambiente hasta que se expulsa.



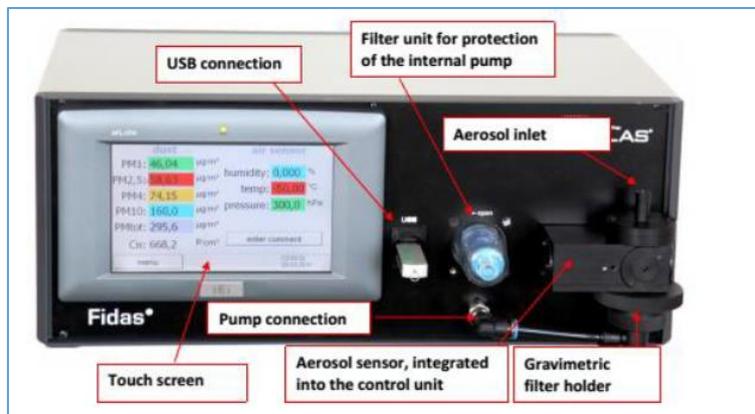
**Figura 16.** Esquema de medición del Equipo FIDAS. (Fuente Manual Palas GmbH. Products. Fine Dust Monitors. Fidas® system fidas® 200)

En la **figura 17** se observa el detalle del cabezal tomamuestras Sigma-2



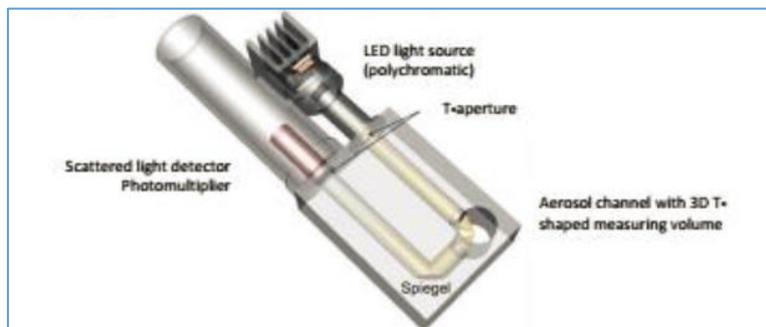
**Figura 17.** Detalle del cabezal tomamuestras. (Fuente Manual Palas GmbH. Products. Fine Dust Monitors. Fidas® system fidas® 200)

En la **figura 18** se observa el detalle de la unidad de medida (sensor, display del equipo)



**Figura 18.** Detalle del sensor de medición, display y alojamiento para filtros. (Fuente Manual Palas GmbH. Products. Fine Dust Monitors. Fidas® system fidas® 200)

En la **figura 19** se observa un detalle de la celda de medida



**Figura 19.** detalle de la celda de medida con la fuente de luz led. (Fuente Manual Palas GmbH. Products. Fine Dust Monitors. Fidas® system fidas® 200)

Por último, en la **figura 20** se observa un detalle de la estación meteorológica que es muy importante para monitorizar los parámetros (humedad, temperatura, presión, dirección y velocidad del viento).

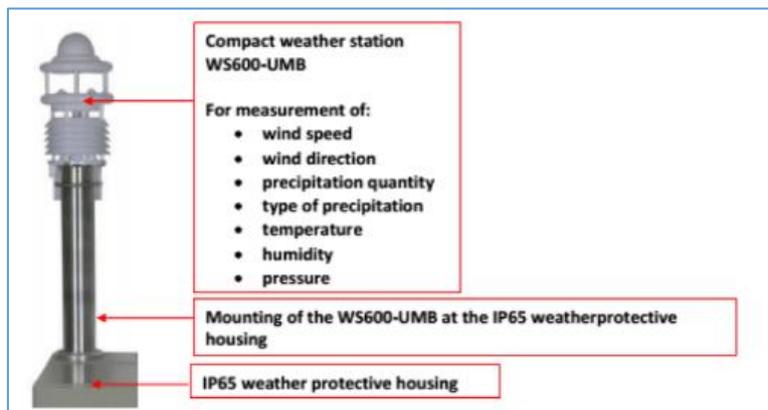


Figura 20. detalle del sensor meteorológico. (Fuente Manual Palas GmbH. Products. Fine Dust Monitors. Fidas® system fidas® 200)

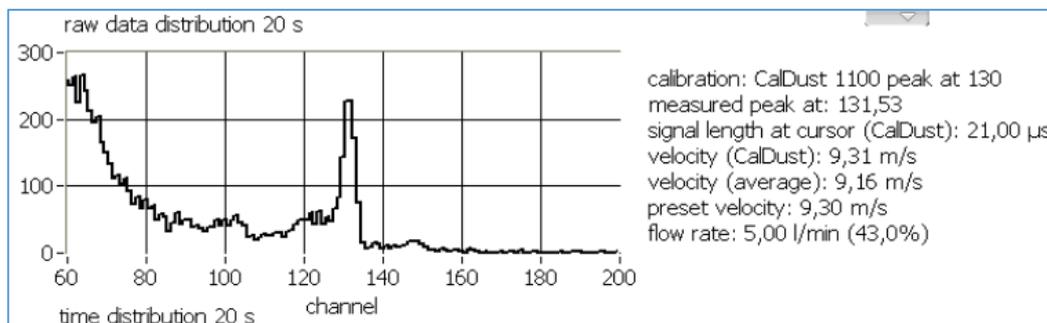
El sistema de muestreo opera con un caudal volumétrico de aproximadamente  $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ . Está equipado con un cabezal de muestreo Sigma-2 que permite un muestreo representativo incluso en condiciones de viento fuerte, y una línea de secado (IADS) que evita que la condensación provoque errores de medición al confundir microgotas de vapor de agua condensado con partículas. La línea de secado se controla en función de la temperatura, la presión y la humedad relativa del aire ambiente.

### Calibración del analizador

La calibración del analizador se realiza en cinco pasos:

- **Ajuste de compensación automático**  
Es el ajuste electrónico del voltaje de salida que minimiza el ruido de la señal. En ausencia de medida que tiene que ser menor de  $0,2 \text{ mV}$ . Este ajuste lo realiza automáticamente el equipo.
- **Verificación de la estanqueidad del sistema**  
La estanqueidad del equipo es una condición necesaria para una correcta medición. Se comprueba tapando el tubo de aspiración tomamuestras con el pulgar y comprobando que el caudal que registra el sensor baja a  $0 \text{ l/min}$  ( $\pm 0,1 \text{ l/min}$ ).
- **Ajuste de la sensibilidad del sensor de partículas**  
Se realiza empleando un aerosol de prueba monodisperso proporcionado por el fabricante (*Caldust 110*) que es un aerosol que contiene partículas de tamaño  $0,93 \text{ }\mu\text{m}$ . Al medir las partículas de este aerosol se tiene que registrar un pico en el canal 130. Si el pico se registra en un canal inferior a 130, el voltaje del fotomultiplicador se debe aumentar y si se registra en un canal superior a 130 se debe reducir. Esta operación la realiza automáticamente el equipo.

En la **figura 21** se observa un detalle del display del equipo con la gráfica que representa los diferentes canales de medición.



**Figura 21.** Ventana mostrada por el display del equipo al realizar la calibración. (Fuente Manual Palas GmbH. Products. Fine Dust Monitors. Fidas® system fidas® 200)

#### 4. OBJETIVOS

La Directiva 1999/CE/30 requirió de los Estados Miembros que no utilizaran equipos automáticos para la medida de la calidad del aire, pero también que informaran diariamente a la ciudadanía sobre la calidad del aire. Ambos requisitos no pueden ser cumplidos simultáneamente por una Red de Vigilancia de la Calidad del Aire sin llevar a cabo una enorme inversión en medios materiales y humanos que no es asumible por ninguna Administración. [17]

En ese sentido la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea creó un Grupo de Trabajo que elaboró en 2001 la “Guía para los Estados Miembros sobre Medidas de PM10 e intercomparación con el Método de Referencia” en la que asumía la necesidad de realizar mediciones automáticas de partículas y establecía la metodología para realizar la intercomparación de equipos automáticos y de referencia con objeto de garantizar la calidad de los datos obtenidos con los equipos automáticos. [40]

Posteriormente la **Directiva 2008/50/CE, actualmente en vigor, permitió el uso de sistemas automáticos de medida, una vez que se demostrara su equivalencia con el método de referencia y el cumplimiento con los objetivos de calidad de datos establecidos para mediciones continuas.** [21]

**La metodología para llevar a cabo el ensayo de equivalencia en el caso de la materia particulada queda establecido hoy en día mediante la Norma UNE-EN16450. Aire. Ambiente Sistemas Automáticos de Medida para la medición de la materia particulada (2017).** [39]

Es por ello necesario que, al emplear técnicas automáticas de medición de partículas por las Redes de Control de la Calidad del Aire, se realizan ensayos de conformidad iniciales y periódicos de los mismos. En este caso, los equipos FIDAS 200 de reciente adquisición por la Red de Control de la Calidad del Aire de la CAPV garantizando la calidad de las medidas mediante una intercomparación de estos equipos con el método de referencia.

La intercomparación requiere determinar la equivalencia de sus resultados con los generados por los equipos de referencia. Ello se traduce en determinar los factores de corrección de los datos inicialmente registrados por todos los FIDAS y sus incertidumbres de medida que tienen que ser menores que el 25 % establecido en el Anexo V del RD 102/2011 de 28 de enero.

Es por ello que los objetivos principales del proyecto se resumen en:

- **Intercomparar los nuevos equipos FIDAS 200 de medición de partículas PM10 y PM2,5 de la red de control de la calidad del aire de la CAPV con el método de referencia en base a los criterios establecidos en la normativa en vigor.**
- **Realizar los ensayos iniciales de conformidad iniciales en las ubicaciones en los que se han instalado los nuevos equipos FIDAS 200.**
- **Evaluar la adecuación de los nuevos equipos FIDAS 200 de medición de partículas PM10 y PM2,5 de la red de control de la calidad del aire de la CAPV en su implantación en las estaciones de la red de control de la calidad del aire de la CAPV**
- **Obtener de las ecuaciones de correlación e incertidumbre de los nuevos equipos FIDAS 200 de medición de partículas PM10 y PM2,5 de la Red de Control de la Calidad del Aire de la CAPV.**

## 5. DESARROLLO

### 5.1. PLANIFICACIÓN DE LAS CAMPAÑAS DE INTERCOMPARACIÓN

En las campañas de intercomparación se realizan mediciones en paralelo con el método de referencia (captadores de alto volumen PM10 y PM2,5) y con el equipo de medición en continuo (candidato) FIDAS 200.

Las mediciones en paralelo se realizan en forma de campañas de duración corta (unos tres meses) y representativas de las diferentes condiciones climáticas que a lo largo del año tienen las ubicaciones en los que están instalados los equipos de medición FIDAS 200.

El número mínimo de campañas a realizar son dos: una campaña a realizar durante el periodo invierno (desde el 1 de octubre al 31 de marzo) y otra campaña durante el periodo verano (entre el 1 de abril y el 30 de septiembre).

**No obstante, debido a los requisitos temporales para la presentación de este estudio se ha considerado contemplar únicamente el estudio de los datos registrados en la campaña de invierno 2022.**

Asimismo, el número mínimo de datos validados de cada campaña ha de ser mayor de 30. No obstante, en cada campaña se intentará realizar el mayor número de ensayos posibles, lo que permitirá cubrir un mayor número de condiciones de medida (climáticas y de diferentes aportes de partículas).

Los pares de datos a analizar en el estudio estadístico son los resultados promedios de periodos de 24 horas de PM10 y PM2,5 de ambos métodos de medida.

### 5.2. ALCANCE DE LAS CAMPAÑAS DE INTERCOMPARACIÓN

Los equipos FIDAS 200 objeto de los ejercicios de intercomparación son los ubicados en las siguientes estaciones:

- EASO número de serie n/s:**12947**
- HERNANI número de serie n/s:**12945**
- MAZARREDO número de serie n/s:**11648**
- BASAURI número de serie n/s:**16438**
- DURANGO número de serie n/s:**16439**

### 5.3. CRONOGRAMA

Con estas condiciones se ha ejecutado el cronograma de desarrollo de las campañas de intercomparación recogido en la **tabla 4**.

**Tabla 4. Cronograma**

| TAREAS   | Mes |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | ene | feb | mar | abr | may | jun |
| Estudio y Planificación del alcance del Proyecto   | █   |     |     |     |     |     |
| Instalación analizadores Fidas en estaciones       | █   |     |     |     |     |     |
| Instalación captadores de referencia en estaciones | █   |     |     |     |     |     |
| Calibración analizadores Fidas                     | █   |     |     |     |     |     |
| Calibración Captadores                             | █   |     |     |     |     |     |
| Realización campaña intercomparación               |     | █   | █   | █   | █   |     |
| Preparación de filtros (adecuación y pesado)       |     | █   | █   | █   | █   |     |
| Carga filtros en captadores                        |     | █   | █   | █   | █   |     |
| Recogida de filtros de captadores                  |     |     | █   | █   | █   |     |
| Verificación Fidas                                 | █   | █   | █   | █   | █   |     |
| Mantenimiento Fidas                                | █   | █   | █   | █   | █   |     |
| Verificación Captadores                            | █   | █   | █   | █   | █   |     |
| Mantenimiento Captadores                           | █   | █   | █   | █   | █   |     |
| Adecuación y pesada de filtros de captadores       |     |     |     |     | █   |     |
| Supervisión datos muestreo                         | █   | █   | █   | █   | █   |     |
| Estudio, valoración datos                          |     |     |     | █   | █   | █   |
| Elaboración informe del Proyecto                   |     |     |     |     | █   | █   |

#### 5.4. DESCRIPCIÓN DE LAS UBICACIONES DE LAS CAMPAÑAS

Los equipos FIDAS 200 objeto de los ejercicios de intercomparación son los ubicados en las siguientes estaciones:

- EASO número de serie n/s:**12947**
- HERNANI número de serie n/s:**12945**
- MAZARREDO número de serie n/s:**11648**
- BASAURI número de serie n/s:**16438**
- DURANGO número de serie n/s:**16439**

A continuación, se describe cada una de las estaciones.

##### 5.4.1. EASO

Es una de las estaciones localizadas en Donostia-San Sebastián. Se define como urbana de tráfico, siendo la estación más cercana al casco histórico. Su código nacional es el 20069006 y el código europeo es ES2101A. Se utiliza para evaluar la calidad del aire en la zona Aglomeración Donostialdea-ES1604 para las partículas PM10 y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y en la zona País Vasco-ES1609 para el benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>).

Coordenadas geográficas (UTM 30 N ETRS 89) de la Estación son: X: 582.643---Y: 4.795.983, y en la **figura 22** se muestra su ubicación.



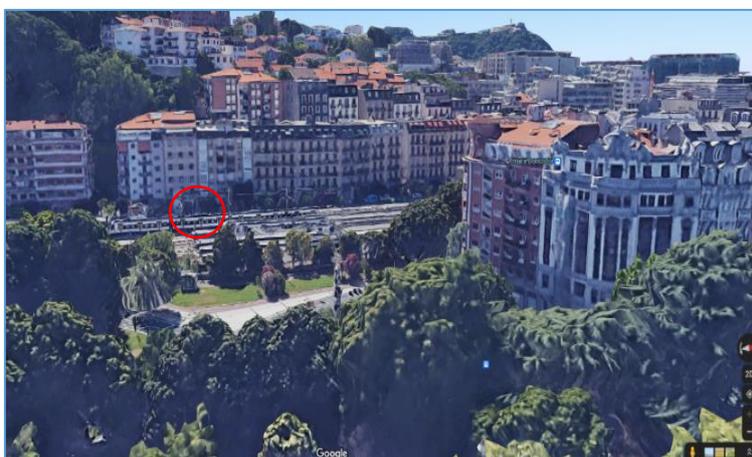
**Figura 22.** Plano ubicación Estación Calidad Aire Easo (fuente google maps)

La estación lleva a cabo mediciones en continuo de:

- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Partículas: PM10 y PM2,5
- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- BTX: Benceno Coordinadas geográficas (UTM 30 N ETRS 89), Tolueno, Xileno

En concreto el equipo de medición de partículas objeto de la intercomparación es el modelo: **PALAS-FIDAS 200E (Número de serie: 12947)**.

En la **figura 23** se muestra una vista aérea de la Estación y en la **figura 24** una vista cercana.



**Figura 23.** Vista aérea Estación Calidad Aire Easo (fuente google maps)



**Figura 24.** Vista de la Estación Calidad Aire de Easo

#### 5.4.2. HERNANI

Esta estación de calidad del aire se localiza en la azotea del Centro de Salud de Hernani. Se trata de una estación urbana de tráfico, su código nacional es 20040001 y el código europeo ES1497A.

Se utiliza para evaluar la calidad del aire en la zona Aglomeración Donostialdea-ES1497 y en el municipio de Hernani.

Las coordenadas geográficas (UTM 30 N ETRS 89) de la Estación son: X: 582.962 ---Y: 4.791.020, y en la **figura 25** se muestra su ubicación.



**Figura 25.** Vista de la Estación Calidad Aire de Hernani (fuente google maps)

La estación lleva a cabo mediciones en continuo de:

- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>),
- Partículas: PM10 y PM2,5
- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Parámetros meteorológicos: Dirección del viento (DV), Velocidad del viento (VV), Temperatura (TMP), Humedad relativa (HR), Presión barométrica (PRB), Radiación solar (RS)

**En concreto el equipo de medición de partículas objeto de la intercomparación es el Modelo: PALAS-FIDAS 200E (Número de serie: 12945)**

En la **figura 26** se muestra una vista aérea de la Estación y en la **figura 27** una vista de detalle que se ubican en la cubierta del edificio.



**Figura 26.** Vista aérea Estación Calidad Aire Hernani (fuente google maps)



**Figura 27.** Detalle del equipo FIDAS 200 (n/s 12945) y captadores de alto volumen PM10 y PM2,5

### 5.4.3. MAZARREDO

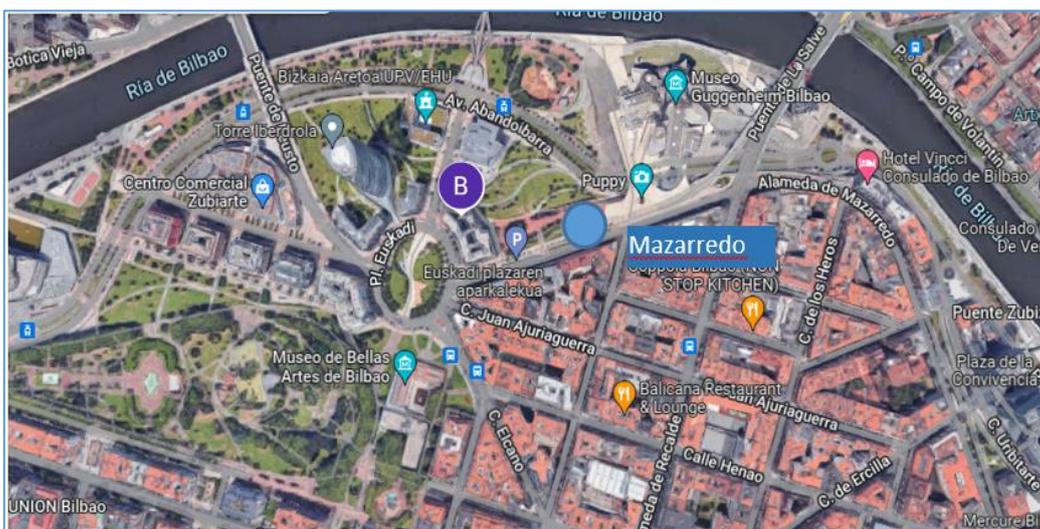
Estación de calidad del aire se localiza en el municipio de Bilbao se define como urbana de tráfico, siendo la más cercana al centro de la ciudad y localizada en el Parque República de Abando, concretamente en la Oficina de Turismo al lado del Museo Guggenheim. Su código nacional es el 48020062 y el código europeo ES1244A. Se utiliza para evaluar la calidad del aire en la zona Aglomeración Bajo Nervión-ES1602 para el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), las partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>, el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el monóxido de carbono (CO), y en la zona País Vasco-ES1609 para el benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>).

Coordenadas geográficas (UTM 30 N ETRS 89) de la Estación son: X: 505.259---Y: 4.790.523 y en la **figura 28** se muestra su ubicación.

La estación lleva a cabo mediciones en continuo de:

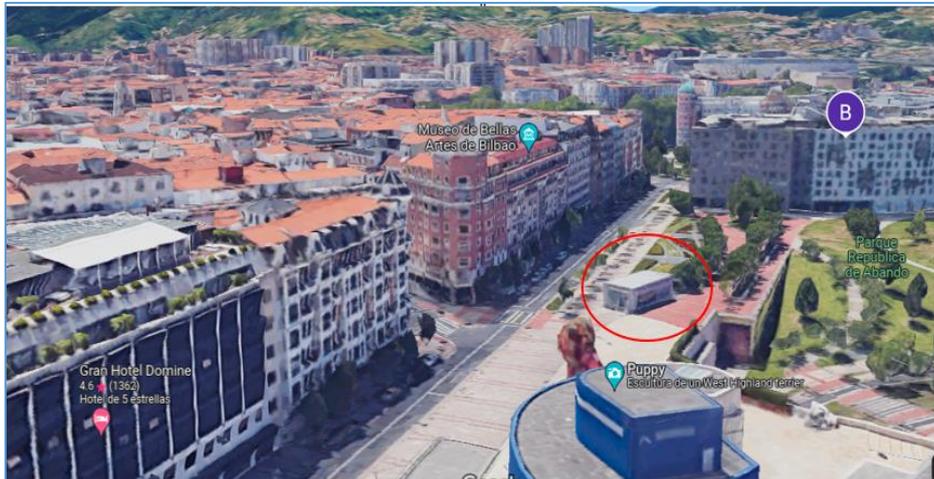
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>
- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Monóxido de carbono (CO)
- BTX: Benceno, Tolueno, Xileno
- Parámetros meteorológicos: Dirección del viento (DV), Velocidad del viento (VV), Temperatura (TMP), Humedad relativa (HR), Presión barométrica (PRB), Radiación solar (RS).

En concreto el equipo de medición de partículas objeto de la intercomparación es el Modelo: PALAS-FIDAS 200E (Número de serie: 11648) y en la **figura 28** se muestra su ubicación.



**Figura 28.** Plano ubicación Estación Calidad Aire Mazarredo (fuente google maps)

En la **figura 29** se muestra una vista aérea de la Estación y en la **figura 30** una vista cercana.



**Figura 29.** Vista aérea Estación Calidad Aire Mazarredo (fuente google maps)



**Figura 30.** Vista de la Estación Calidad Aire de Mazarredo

#### 5.4.4. BASAURI

La estación de medición se localiza en el municipio de Basauri, en concreto en una terraza de la Escuela Bizkotxalde. Se define la estación como urbana industrial, con código nacional 48015002y código europeo ES0805A. Se utiliza para evaluar la calidad del aire en la zona Aglomeración Bajo Nervión-ES1602 en los contaminantes (SO<sub>2</sub>, y en el municipio de Basauri.

Coordenadas geográficas (UTM 30 N ETRS 89) son: X: 509.437---Y: 4.787.599 y en la **figura 31** se muestra su ubicación.



**Figura 31.** Plano ubicación Estación Calidad Aire Basauri (fuente google maps)

La estación lleva a cabo mediciones en continuo de:

- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- PartículasPM10 y PM2,5
- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Parámetros meteorológicos: Dirección del viento (DV), Velocidad del viento (VV), Temperatura (TMP), Humedad relativa (HR), Presión barométrica (PRB), Radiación solar (RS).

**En concreto el equipo de medición de partículas objeto de la intercomparación es el Modelo: PALAS-FIDAS 200E (Número de serie: 16438).**

En la **figura 32** se muestra una vista aérea de la Estación y en la **figura 33** una vista cercana del tomamuestras en la terraza.



**Figura 32.** Vista Aérea Estación Calidad Aire Basauri (fuente google maps)



**Figura 33.** Detalle de los toma-muestras de la Estación Basauri

#### 5.4.5. DURANGO

La estación de medición se localiza en el municipio de Durango, en concreto en el patio de la Ikastola Zabalarra.

Se define la estación como urbana industrial, con código nacional 48027001y código europeo ES1490A.

Se utiliza para evaluar la calidad del aire en la zona de Durangaldea y en el municipio de Durango.

Coordenadas geográficas (UTM 30 N ETRS 89) de la Estación son: X: 529.428---Y: 4.779.566 y en la **figura 34** se muestra su ubicación.



**Figura 34.** Plano ubicación Estación Calidad Aire Durango (fuente google maps)

La estación lleva a cabo mediciones en continuo de: Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

- PartículasPM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>
- Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
- Ozono O<sub>3</sub>
- BTX: Benceno, Tolueno, Xileno
- Parámetros meteorológicos: Dirección del viento (DV), Velocidad del viento (VV), Temperatura (TMP), Humedad relativa (HR), Presión barométrica (PRB), Radiación solar (RS).

En concreto el equipo de medición de partículas objeto de la intercomparación es el Modelo: PALAS-FIDAS 200E (Número de serie: 16439)

En las figuras 35 y 36 se muestran dos vistas cercanas de la Estación de Durango.



Figura 35. Vista de la Estación Calidad Aire de Durango



Figura 36. Detalle de la Estación de Durango (

## 5.5. EJECUCIÓN DE LAS CAMPAÑAS DE INTERCOMPARACIÓN

Las campañas de intercomparación se llevaron a cabo según la programación del cronograma: el personal de Laboratorio Normativo de Salud verificó cada quince días el funcionamiento de los captadores de alto volumen recogiendo los filtros con las muestras, tanto de PM10, como de PM2,5 y trasladándolos al Laboratorio para su adecuación y pesada y volviendo a colocar una nueva tanda de filtros. El personal técnico de mantenimiento revisó quincenalmente el funcionamiento de los analizadores FIDAS y Captadores de referencia realizando las calibraciones y verificaciones.

La concentración de materia particulada se expresa en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (microgramos por metro cúbico) de aire en condiciones ambientales medias durante el periodo de medición.

## 5.6. ANÁLISIS Y ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS REGISTRADOS EN LAS CAMPAÑAS DE INTERCOMPARACIÓN

Una vez realizadas las campañas de intercomparación entre el método de referencia (captadores de alto volumen de PM10 y PM2,5) y el método FIDAS 200 candidato y obtenidos los pares de datos entre ambos métodos, se realizó la evaluación estadística que establece la Norma UNE-EN-16450:2017 y que consta de los siguientes pasos [39]:

- **Análisis de los Valores Atípicos Test de GRUBBS**
- **Calculo de la función de corrección**
- **Calculo de la incertidumbre  $U_{CR}$  del analizador FIDAS 200**
- **Cálculo de la incertidumbre típica relativa  $usam$**
- **Cálculo de la incertidumbre expandida  $Usam$**
- **Contraste con el criterio de aceptación de la incertidumbre**

### 5.6.1. ANÁLISIS DE LOS VALORES ATÍPICOS TEST DE GRUBBS

Se realiza el test de Grubbs a los pares de datos para identificar valores atípicos (outliers).

El test de Grubbs también conocido como prueba residual normalizada máxima o prueba de desviación extrema estudiantil, es una prueba utilizada para detectar valores atípicos en un conjunto de datos univariados que se supone provienen de una población normalmente distribuida.

El test se realiza de la siguiente forma:

- **N** es el número de pares de datos de la intercomparación.
- Se calculan las diferencias entre los pares de datos: el dato diario registrado por el método de referencia y el dato registrado por el FIDAS (**D<sub>i</sub>**)
- Se calcula la media de las diferencias de los pares de datos ( **$\bar{D}$** )
- Se calcula la desviación típica S de la muestra de las diferencias de los pares de datos. (**D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>...D<sub>n</sub>**)
- Se calcula **variable de Grubbs**  $G = \frac{|D_i - \bar{D}|}{S}$  para cada par de datos.
- Se calcula el valor crítico de la variable Grubbs (**G crítico**).
  - $G \text{ crítico} = (n-1) t \text{ crítico} / \sqrt{[n(n-2) + t^2 \text{ crítico}]}$
 donde t crítico es el valor crítico de la distribución t con n-2 grados de libertad y el nivel de significancia es  $\alpha / n$  para una prueba de una cola y  $\alpha / (2n)$  para una prueba de dos colas.
- **Si la variable de Grubbs G<sub>0</sub> obtenida es mayor** que la variable Grubbs crítica desecharemos ese par de datos por considerarlo anómalo y no representativo para calcular la recta de corrección.
- A continuación, se vuelve a calcular la variable de Grubbs G<sub>1</sub> de los pares de datos restantes y se vuelve a desechar el par de datos cuya G<sub>1</sub> sea mayor que la variable Grubbs crítica, si lo hubiera.
- En la Tabla 5 se representan los valores de G crítico para un  $\alpha$  de 0,05 y 0,01
- En nuestro caso emplearemos los valores críticos para el  $\alpha=0,01$

**Tabla 5.** Valores de G crítico para un  $\alpha$  de 0,05 y 0,01

| n  | g <sub>crit</sub><br>α=0,05 | g <sub>crit</sub><br>α=0,01 | n  | g <sub>crit</sub><br>α=0,05 | g <sub>crit</sub><br>α=0,01 | n   | g <sub>crit</sub><br>α=0,05 | g <sub>crit</sub><br>α=0,01 |
|----|-----------------------------|-----------------------------|----|-----------------------------|-----------------------------|-----|-----------------------------|-----------------------------|
| 3  | 1,1543                      | 1,1547                      | 15 | 2,5483                      | 2,8061                      | 80  | 3,3061                      | 3,6729                      |
| 4  | 1,4812                      | 1,4962                      | 16 | 2,5857                      | 2,8521                      | 90  | 3,3477                      | 3,7163                      |
| 5  | 1,7150                      | 1,7637                      | 17 | 2,6200                      | 2,8940                      | 100 | 3,3841                      | 3,7540                      |
| 6  | 1,8871                      | 1,9728                      | 18 | 2,6516                      | 2,9325                      | 120 | 3,4451                      | 3,8167                      |
| 7  | 2,0200                      | 2,1391                      | 19 | 2,6809                      | 2,9680                      | 140 | 3,4951                      | 3,8673                      |
| 8  | 2,1266                      | 2,2744                      | 20 | 2,7082                      | 3,0008                      | 160 | 3,5373                      | 3,9097                      |
| 9  | 2,2150                      | 2,3868                      | 25 | 2,8217                      | 3,1353                      | 180 | 3,5736                      | 3,9460                      |
| 10 | 2,2900                      | 2,4821                      | 30 | 2,9085                      | 3,2361                      | 200 | 3,6055                      | 3,9777                      |
| 11 | 2,3547                      | 2,5641                      | 40 | 3,0361                      | 3,3807                      | 300 | 3,7236                      | 4,0935                      |
| 12 | 2,4116                      | 2,6357                      | 50 | 3,1282                      | 3,4825                      | 400 | 3,8032                      | 4,1707                      |
| 13 | 2,4620                      | 2,6990                      | 60 | 3,1997                      | 3,5599                      | 500 | 3,8631                      | 4,2283                      |
| 14 | 2,5073                      | 2,7554                      | 70 | 3,2576                      | 3,6217                      | 600 | 3,9109                      | 4,2740                      |

La norma UNE-EN 16450 permite eliminar hasta el 2,5% de los datos obtenidos. En todo caso el número de pares de datos válidos de la campaña de intercomparación debe ser mayor que 30.

En principio la Norma establece que se pueden quitar los pares de datos de la serie si se encuentra una razón técnica para ello.

### 5.6.2. CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Una vez eliminados los valores atípicos (outliers) se calcula la función de corrección mediante regresión ortogonal. Se establece que la relación entre los resultados de medida de los dos métodos cumplen la fórmula:

$$y = a + bx$$

1. Se calcula la pendiente b:

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad [\text{Eq. 1a}]$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad [\text{Eq. 1b}]$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad [\text{Eq. 1c}]$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i \quad [\text{Eq. 1d}]$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i \quad [\text{Eq. 1e}]$$

$$b = \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xy})^2}}{2S_{xy}} \quad [\text{Eq. 2}]$$

2. Se calcula la ordenada en origen a:

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \quad [\text{Eq. 3}]$$

3. Se calculan las incertidumbres de la pendiente y la ordenada en origen:  $u^2(b)$  y  $u^2(a)$ :

$$u^2(b) = \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} \quad [\text{Eq. 4}]$$

$$u^2(a) = u^2(b) \frac{\sum x^2}{n} \quad [\text{Eq. 5}]$$

Una vez calculados estos datos ( $a$ ,  $b$ ,  $u(b)$  y  $u(a)$ ) se puede presentar uno de estos casos:

**1. No hay corrección de la recta de regresión:**

La **pendiente ( $b$ ) no difiere significativamente de 1**:  $|b-1| \leq 2u(b)$  y la **ordenada en origen ( $a$ ) no difiere significativamente de 0**:  $|a| \leq 2u(a)$

En este caso la función de corrección será:

$$y_{ical} = y_i$$

**2. Hay corrección de la ordenada de la recta de regresión:**

La **pendiente ( $b$ ) no difiere significativamente de 1**:  $|b-1| \leq 2u(b)$  y la **ordenada en origen ( $a$ ) difiere significativamente de 0**:  $|a| > 2u(a)$

En este caso la función de corrección será:

$$y_{ical} = y_i - a$$

Los resultados de  $y_{ical}$  se usan para calcular por regresión lineal ortogonal una nueva relación

$$y_{ical} = c + d x_i$$

**3. Hay corrección de la pendiente de la recta de regresión:**

La **pendiente ( $b$ ) difiere significativamente de 1**:  $|b-1| > 2u(b)$  y la **ordenada en origen ( $a$ ) no difiere significativamente de 0**:  $|a| \leq 2u(a)$

En este caso la función de corrección será:

$$y_{ical} = \frac{y_i}{b}$$

Los resultados de  $y_{ical}$  Se usan para calcular por regresión lineal ortogonal una nueva relación

$$y_{ical} = c + d x_i$$

**4. Hay corrección de la pendiente y de la ordenada de la recta de regresión:**

La **pendiente ( $b$ ) difiere significativamente de 1**:  $|b-1| > 2u(b)$  y la **ordenada en origen ( $a$ ) difiere significativamente de 0**:  $|a| > 2u(a)$

La función de corrección es:

$$y_{ical} = \frac{y_i - a}{b} = \frac{1}{b} y_i - \frac{a}{b}$$

Los resultados de  $y_{ical}$  se usan para calcular por regresión lineal ortogonal una nueva relación:

$$y_{ical} = c + d x_i$$

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad [\text{Eq. 1a}]$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad [\text{Eq. 1b}]$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad [\text{Eq. 1c}]$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i \quad [\text{Eq. 1d}]$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i \quad [\text{Eq. 1e}]$$

Se calcula la pendiente d:

$$d = \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xy})^2}}{2S_{xy}} \quad [\text{Eq. 6}]$$

Se calcula la ordenada en origen c:

$$c = \bar{y} - d \cdot \bar{x} \quad [\text{Eq. 7}]$$

Se calculan las incertidumbres de la pendiente y la ordenada en origen:  $u^2(c)$  y  $u^2(d)$ :

$$u^2(d) = \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} \quad [\text{Eq. 8}]$$

$$u^2(c) = u^2(d) \frac{\sum x_i^2}{n} \quad [\text{Eq. 9}]$$

### 5.6.3. CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE ( $u_{CR}$ ) DEL ANALIZADOR FIDAS 200

La incertidumbre de una medida es la estimación de la parte del resultado completo que caracteriza el intervalo de valores, dentro del cual se encuentra el valor verdadero de la cantidad medida (mesurando). Ello, una vez efectuadas todas las correcciones correspondientes a los errores sistemáticos conocidos.

El cálculo de la incertidumbre se realiza de forma diferente en función de los cuatro supuestos ya identificados en el punto anterior:

La pendiente (b) no difiere significativamente de 1:  $|b-1| \leq 2u(b)$  y la ordenada en origen (a) no difiere significativamente de 0:  $|a| \leq 2u(a)$

La incertidumbre el método de medida FIDAS  $u_{CR}$  se calcula mediante la fórmula:

$$u_{CR}^2(y_{ical}) = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{(x_i)}^2 + (a + (b-1)x_i)^2 \quad [\text{Eq. 10}]$$

Donde:

n= número de pares de datos

**Desarrollo**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia

a= término independiente

b=pendiente

$x_i$ = es el Valor límite del parámetro medido PM10: 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y PM2,5: 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**La pendiente (b) no difiere significativamente de 1:**  $|b-1| \leq 2u(b)$  y **la ordenada en origen (a) difiere significativamente de 0:**  $|a| > 2u(a)$

Y la incertidumbre el método de medida FIDAS  $u_{CR}$  se calcula mediante la fórmula:

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (c + (d-1)x_i)^2 + u_{(a)}^2 \quad [\text{Eq. 11}]$$

Donde:

n= número de pares de datos

$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia

c= término independiente

d=pendiente

$x_i$ = es el Valor límite del parámetro medido PM10: 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y PM2,5: 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$u_{(a)}$ = incertidumbre de la ordenada en origen original (valor usado para calcular la  $y_{i,cal}$ )

**La pendiente (b) difiere significativamente de 1:**  $|b-1| > 2u(b)$  y **la ordenada en origen (a) no difiere significativamente de 0:**  $|a| \leq 2u(a)$

La incertidumbre el método de medida FIDAS  $u_{CR}$  se calcula mediante la fórmula:

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (c + (d-1)x_i)^2 + x_i^2 u_{(b)}^2 \quad [\text{Eq. 12}]$$

Donde:

n= número de pares de datos

$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - c - dx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia

c= término independiente

d=pendiente

$x_i$ = es el Valor límite del parámetro medido PM10: 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y PM2,5: 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$u_{(a)}$  = incertidumbre de la ordenada en origen original (valor usado para calcular la  $y_{i,cal}$ )

$u_{(b)}$  = incertidumbre de la pendiente original (valor empleado para calcular la  $y_{i,cal}$ )

La **pendiente (b) difiere significativamente de 1**:  $|b-1| > 2u(b)$  y la **ordenada en origen (a) difiere significativamente de 0**:  $|a| > 2u(a)$

Y la incertidumbre el método de medida FIDAS  $u_{CR}$  se calcula mediante la fórmula:

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (c + (d-1)x_i)^2 + x_i^2 u_{(b)}^2 + x_i^2 u_{(a)}^2 \quad [\text{Eq. 13}]$$

Donde:

n= número de pares de datos

$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - c - dx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$  = incertidumbre de los resultados del método de referencia

c= término independiente

d=pendiente

$x_i$  = es el Valor límite del parámetro medido PM10: 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y PM2,5: 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$u_{(b)}$  = incertidumbre de la pendiente original (valor empleado para calcular la  $y_{i,cal}$ )

#### 5.6.4. CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA $\omega_{sam}$

Para los conjuntos de datos se calcula la incertidumbre relativa combinada en el valor límite pertinente:

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L} \quad [\text{Eq. 14}]$$

Donde:

$u_{CR}$  = la incertidumbre el método de medida FIDAS

L= valor límite de la medida (establecido en la normativa)

### 5.6.5. CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA $U_{sam}$

Para cada uno de los dos conjuntos de datos del SAM se calcula la incertidumbre expandida relativa de los resultados del SAM multiplicando  $u_{sam}$  por un factor de cobertura  $k$  (en este caso 2) que refleja el número apropiado de grados de libertad resultante de la determinación de  $u_{sam}$

$$U_{sam} = k u_{sam} \quad [\text{Eq. 15}]$$

### 5.6.6. CONTRASTE CON EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Para que la función de corrección sea válida, la incertidumbre expandida de medida deberá ser inferior a la incertidumbre relativa expandida basada en los objetivos de calidad de datos. Esta incertidumbre está establecida en el apartado 1 del Anexo V del RD 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, y es de 25% tanto para PM10 como para PM2,5. El SAM se deberá recalibrar cada 5 años.

El criterio de aceptación de los analizadores FIDAS adoptado es que su incertidumbre expandida para ( $k=2$ ) sea menor que 25%.

## 5.7. PRESUPUESTO

En este apartado se estudia el presupuesto del proyecto para determinar su viabilidad económica. Se presupuesta la mano de obra, los equipos necesarios y los materiales fungibles empleados para la realización de este proyecto obteniéndose el cuadro parcial de cada uno de ellos.

### CUADRO DE PRECIOS DE MANO DE OBRA

En la **Tabla 6** se describen los precios de mano de obra en relación a los tres perfiles de trabajadores que se requieren, las tareas desglosadas y cuantificadas calculando el coste parcial y total. Los precios de mano de obra son los precios medios establecidos por los Colegios Profesionales correspondientes (Graduados Ingeniería Industrial, Técnico Superiores de Laboratorio) y los de los Técnicos de Mantenimiento los establecidos en ofertas similares.

(\*1) Se ha calculado el número de tareas que requieren desplazamiento a las estaciones. Se ha estimado una distancia media de desplazamiento entre la base (laboratorio o almacén de mantenimiento) y las estaciones de 160 km. Con ello se ha calculado el número total de kilómetros a realizar en el trabajo.

**TABLA 6. Mano de obra**

| Puesto  |                      | COSTE HORARIO (€/h)                 |                   |                  |
|---|----------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------|
| Director de Proyecto                                |                      | 50                                  |                   |                  |
| Graduado Ingeniería Química senior                  |                      | 45                                  |                   |                  |
| Técnico Laboratorio                                 |                      | 35                                  |                   |                  |
| Técnico Servicio Asistencia Técnica                 |                      | 32                                  |                   |                  |
| TAREA   | CANTIDAD (h)         | PERSONAL ASIGNADO                   | COSTE (€/h)       | COSTE TOTAL (€)  |
| Estudio y Planificación del alcance del Proyecto    | 16                   | Graduado Ingeniería Química         | 45                | 720              |
| Supervisión y Dirección del Proyecto                | 10                   | Director de Proyecto                | 50                | 500              |
| Instalación analizadores Fidas en estaciones        | 25                   | Técnico Servicio Asistencia Técnica | 32                | 800              |
| Instalación captadores de referencia en estaciones  | 25                   | Técnico Servicio Asistencia Técnica | 32                | 800              |
| Calibración analizadores Fidas                      | 2,5                  | Técnico Servicio Asistencia Técnica | 32                | 80               |
| Calibración Captadores                              | 2,5                  | Técnico laboratorio                 | 35                | 87,5             |
| Verificación Captadores                             | 12,5                 | Técnico laboratorio                 | 35                | 437,5            |
| Preparación de filtros (adecuación y pesado)        | 12,5                 | Técnico Laboratorio                 | 35                | 437,5            |
| Carga filtros en captadores                         | 12,5                 | Técnico Laboratorio                 | 35                | 437,5            |
| Recogida de filtros de captadores                   | 12,5                 | Técnico Laboratorio                 | 35                | 437,5            |
| Verificación Fidas                                  | 12,5                 | Técnico Servicio Asistencia Técnica | 32                | 400              |
| Mantenimiento Fidas                                 | 12,5                 | Técnico Servicio Asistencia Técnica | 32                | 400              |
| Mantenimiento Captadores                            | 12,5                 | Técnico Servicio Asistencia Técnica | 32                | 400              |
| Supervisión datos muestreo                          | 8                    | Graduado Ingeniería Química         | 45                | 360              |
| Estudio, valoración datos                           | 16                   | Graduado Ingeniería Química         | 45                | 720              |
| Elaboración informe del Proyecto                    | 40                   | Graduado Ingeniería Química         | 45                | 1800             |
| Desplazamiento (*1)<br>Número de desplazamientos 65 | 60x 160=<br>9.600 km |                                     | 0,40<br>Coste /km | 3.840 €          |
|   |                      |                                     | <b>TOTAL</b>      | <b>8.817,5 €</b> |

### CUADRO DE PRECIOS EQUIPOS

Para el cálculo de los costes de los equipos se ha incluido un coste de amortización en base a una vida útil de los equipos de 10 años y se ha empleado el método de amortización lineal considerando un Valor residual de los equipos una vez cumplida su vida útil de cero.

$$\text{Coste Amortización} = \frac{\text{Coste adquisición equipos} \times \text{tiempo uso}}{\text{Periodo de amortización}}$$

Periodo de amortización=10 años

Consideramos un tiempo de uso de 4 meses año=0,25 años

$$\text{Coste Amortización} = \frac{\text{Coste adquisición equipos} \times 0,33}{10} = \text{Coste adquisición equipos} \times 0,033$$

En la **Tabla 7** se describen los costes asociados a los equipos calculados según la ecuación mencionada.

**Tabla 7. Costes asociados a los equipos.**

| MATERIAL  | CANTIDAD | COSTE UNITARIO (€) | COSTE TOTAL (€)  | COSTE AMORTIZACIÓN (€) |
|---|----------|--------------------|------------------|------------------------|
| Equipos Fidas 200   | 5        | 25.685             | 128.425          | 4.238,03               |
| Equipos de referencia (Captadores Digitel DHA-80)           | 10       | 18.565             | 185.650          | 5.569,5                |
| Licencia software monitorización equipos automáticos (XAIR) | 5        | 1600               | 8.000            | 264                    |
| Equipos varios laboratorio (balanza, etc.)                  | 5        | 1000               | 5.000            | 165                    |
|   |          |                    | <b>TOTAL (€)</b> | <b>10.236,53</b>       |

### CUADRO DE PRECIOS MATERIAL FUNGIBLE

En la **Tabla 8** se describen los costes asociados al material fungible (los filtros empleados en los captadores de referencia).

**Tabla 8. Material fungible.**

| MATERIAL                          | CANTIDAD (unidades)     | COSTE UNITARIO (€/unidad) | COSTE TOTAL (€) |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|
| FILTROS MUESTREO PARTÍCULAS PM2,5 | 210<br>(42 POR CAMPAÑA) | 10                        | 2100            |
| FILTROS MUESTREO PARTÍCULAS PM10  | 210<br>(42 POR CAMPAÑA) | 10                        | 2100            |
|                                   |                         | <b>TOTAL (€)</b>          | <b>4.200</b>    |

Una vez calculados los costes, se resume en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.** Presupuesto.

|   |                    |
|---|--------------------|
| Presupuesto Mano de Obra                                | 8.817,5 €          |
| Presupuesto Equipos                                     | 10.236,53€         |
| Presupuesto Material Fungible                           | 4.200 €            |
| <b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>                         | <b>23.254,03 €</b> |
| Gastos generales (electricidad, ordenador, colegiación) | 1.000 €            |
| Beneficio Industrial (10%)                              | 2.325,40 €         |
| IVA (21%)   | 4.883,35 €         |
| <b>TOTAL PRESUPUESTO</b>                                | <b>31.462,78 €</b> |

## 6. RESULTADOS

En este apartado se recogen los resultados obtenidos en las diferentes campañas, así como los cálculos realizados para la obtención de las correlaciones.

### 6.1. CAMPAÑA EASO PM10

Los pares de datos registrados por el método de referencia y el equipo FIDAS n/s:12947 en la estación de EASO se recogen en la **Tabla 10**.

#### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

Tras la toma de datos, se realiza el Test de GRUBBS a los pares de datos para descartar los valores atípicos (outliers). Para ello, se calculan:

- Las diferencias ( $D_i$ ) entre los pares de datos
- La constante de Grubbs de cada par de datos ( $G$ )
- El promedio ( $P$ ) y la desviación típica de las diferencias ( $S$ )

Los resultados de  $D$  y  $G$  obtenidos se recogen en la Tabla 10 y los de  $P$  y  $S$  en la Tabla 11.

**Tabla 10.** Datos de concentración de PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrados en la estación de EASO, diferencias ( $D$ ) y cálculo de la constante de Grubbs ( $G$ ).

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                 | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ | $G_2$ |
|------------|--------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia           | FIDAS n/s:12947 |       |       |       |       |
| 27/01/2022 | 33                             | 32              | 1     | 0,136 | 0,050 | 0,030 |
| 28/01/2022 | 24                             | 22              | 2     | 0,355 | 0,387 | 0,371 |
| 29/01/2022 | 32                             | 32              | 0     | 0,084 | 0,287 | 0,431 |
| 30/01/2022 | 31                             | 32              | -1    | 0,303 | 0,624 | 0,832 |
| 31/01/2022 | 13                             | 13              | 0     | 0,084 | 0,287 | 0,431 |
| 01/02/2022 | 23                             | 21              | 2     | 0,355 | 0,387 | 0,371 |
| 02/02/2022 | 28                             | 24              | 4     | 0,793 | 1,061 | 1,172 |
| 03/02/2022 | 38                             | 31              | 7     | 1,451 | 2,072 | 2,375 |
| 04/02/2022 | 24                             | 21              | 3     | 0,574 | 0,724 | 0,771 |

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | D <sub>i</sub> | G <sub>0</sub> | G <sub>1</sub> | G <sub>2</sub> |
|------------|--------------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:12947 |                |                |                |                |
| 05/02/2022 | 18                             | 16                 | 2              | 0,355          | 0,387          | 0,371          |
| 06/02/2022 | 18                             | 14                 | 4              | 0,793          | 1,061          | 1,172          |
| 07/02/2022 | 20                             | 19                 | 1              | 0,136          | 0,050          | 0,030          |
| 08/02/2022 | 33                             | 31                 | 2              | 0,355          | 0,387          | 0,371          |
| 09/02/2022 | 47                             | 40                 | 7              | 1,451          | 2,072          | 2,375          |
| 11/02/2022 | 31                             | 29                 | 2              | 0,355          | 0,387          | 0,371          |
| 12/02/2022 | 28                             | 26                 | 2              | 0,355          | 0,387          | 0,371          |
| 13/02/2022 | 25                             | 27                 | -2             | 0,522          | 0,961          | 1,233          |
| 14/02/2022 | 11                             | 10                 | 1              | 0,136          | 0,050          | 0,030          |
| 15/02/2022 | 18                             | 17                 | 1              | 0,136          | 0,050          | 0,030          |
| 16/02/2022 | 16                             | 14                 | 2              | 0,355          | 0,387          | 0,371          |
| 17/02/2022 | 24                             | 21                 | 3              | 0,574          | 0,724          | 0,771          |
| 18/02/2022 | 29                             | 28                 | 1              | 0,136          | 0,050          | 0,030          |
| 19/02/2022 | 17                             | 17                 | 0              | 0,084          | 0,287          | 0,431          |
| 20/02/2022 | 15                             | 12                 | 3              | 0,574          | 0,724          | 0,771          |
| 21/02/2022 | 34                             | 36                 | -2             | 0,522          | 0,961          | 1,233          |
| 22/02/2022 | 47                             | 44                 | 3              | 0,574          | 0,724          | 0,771          |
| 23/02/2022 | 37                             | 32                 | 5              | 1,013          | 1,398          | 1,573          |
| 24/02/2022 | 29                             | 29                 | 0              | 0,084          | 0,287          | 0,431          |
| 26/02/2022 | 25                             | 21                 | 4              | 0,793          | 1,061          | 1,172          |
| 27/02/2022 | 22                             | 17                 | 5              | 1,013          | 1,398          | 1,573          |
| 28/02/2022 | 38                             | 36                 | 2              | 0,355          | 0,387          | 0,371          |
| 01/03/2022 | 68                             | 72                 | -4             | 0,961          | 1,635          | 2,034          |
| 02/03/2022 | 22                             | 21                 | 1              | 0,136          | 0,050          | 0,030          |
| 03/03/2022 | 14                             | 13                 | 1              | 0,136          | 0,050          | 0,030          |
| 04/03/2022 | 16                             | 20                 | -4             | 0,961          | 1,635          | 2,034          |

**Resultados**

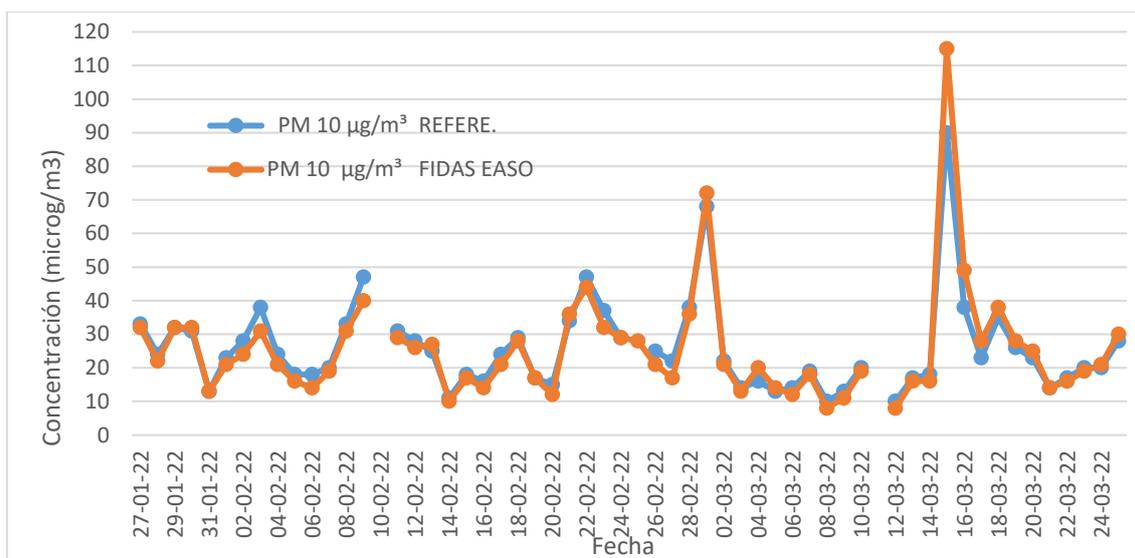
**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ | $G_2$ |
|------------|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:12947 |       |       |       |       |
| 05/03/2022 | 13                             | 14                 | -1    | 0,303 | 0,624 | 0,832 |
| 06/03/2022 | 14                             | 12                 | 2     | 0,355 | 0,387 | 0,371 |
| 07/03/2022 | 19                             | 18                 | 1     | 0,136 | 0,050 | 0,030 |
| 08/03/2022 | 10                             | 8                  | 2     | 0,355 | 0,387 | 0,371 |
| 09/03/2022 | 13                             | 11                 | 2     | 0,355 | 0,387 | 0,371 |
| 10/03/2022 | 20                             | 19                 | 1     | 0,136 | 0,050 | 0,030 |
| 12/03/2022 | 10                             | 8                  | 2     | 0,355 | 0,387 | 0,371 |
| 13/03/2022 | 17                             | 16                 | 1     | 0,136 | 0,050 | 0,030 |
| 14/03/2022 | 18                             | 16                 | 2     | 0,355 | 0,387 | 0,371 |
| 15/03/2022 | 90                             | 115                | -25   | 5,566 |       |       |
| 16/03/2022 | 38                             | 49                 | -11   | 2,496 | 3,993 |       |
| 17/03/2022 | 23                             | 28                 | -5    | 1,180 | 1,972 | 2,435 |
| 18/03/2022 | 35                             | 38                 | -3    | 0,742 | 1,298 | 1,633 |
| 19/03/2022 | 26                             | 28                 | -2    | 0,522 | 0,961 | 1,233 |
| 20/03/2022 | 23                             | 25                 | -2    | 0,522 | 0,961 | 1,233 |
| 21/03/2022 | 14                             | 14                 | 0     | 0,084 | 0,287 | 0,431 |
| 22/03/2022 | 17                             | 16                 | 1     | 0,136 | 0,050 | 0,030 |
| 23/03/2022 | 20                             | 19                 | 1     | 0,136 | 0,050 | 0,030 |
| 24/03/2022 | 20                             | 21                 | -1    | 0,303 | 0,624 | 0,832 |
| 25/03/2022 | 28                             | 30                 | -2    | 0,522 | 0,961 | 1,233 |

**Tabla 11.** Cálculo de P y S.

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b>Número de pares de datos</b> | 55    |
| <b>P PROMEDIO D</b>             | 0,382 |
| <b>S DESVIACIÓN TÍPICA</b>      | 4,560 |
| <b>G MAXIMO</b>                 | 5,566 |

En la **Figura 37** se representa la evolución de los pares de datos registrados, lo que facilita detectar la existencia de algún dato anómalo.



**Figura 37.** Evolución de los pares de datos de concentración de PM10 registrados en EASO.

El valor crítico de la variable Grubbs (**G crítica**) para un  $\alpha=0,01$  y una muestra de 60 pares de datos (en este se dispone de 55) es 3,560, por lo que se descarta el par de datos correspondiente al 15 de marzo de 2022 (marcado en rojo en la Tabla 10), al ser su  $G_0$  (6,383) mayor que la crítica. A continuación, se vuelve a calcular la G (**G<sub>1</sub>**) de los restantes pares de datos y se comprueba si algún valor es mayor que la G crítica, en este caso el 16 de marzo de 2022 su  $G_1$  (3,993) por lo que se descarta. Finalmente se vuelve a calcular la G (**G<sub>2</sub>**) comprobando que todos los valores son menores que la G crítica, por lo que no se descartan más valores.

Por otra parte, en la fecha del 15 de marzo de 2022 toda la península sufrió un fuerte episodio de intrusión de polvo sahariano, por lo que se estima que las condiciones de medida fueron excepcionales y las mismas pueden distorsionar el cálculo del factor corrector.

## CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Tras el cálculo de la variable Grubbs se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la **Tabla 13**.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recoge en el Anexo I

**Tabla 13.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b), la ordenada (a), la incertidumbre de la pendiente  $u(b)$  y la incertidumbre de la ordenada  $u(a)$ . Estación: Easo PM10

| Parámetro                 | Resultado | Ecuación |
|---------------------------|-----------|----------|
| Sxx                       | 6023      | Eq 1.a   |
| Syy                       | 6309      | Eq 1.b   |
| Sxy                       | 6004      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                 | 24,3      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                 | 23,2      | Eq 1.d   |
| Pendiente (b)             | 1,024     | Eq 2     |
| Ordenada en el origen (a) | -1,661    | Eq 3     |
| $u(b)$                    | 0,032     | Eq 4     |
| $u(a)$                    | 0,861     | Eq 5     |

A partir de las incertidumbres calculadas (**Tabla 13**), se puede determinar que, en este caso:

- La pendiente (b) no difiere significativamente de 1:  $|b-1| \leq 2u(b)$   
 $|b-1| \leq 2u(b) \rightarrow |1,024-1| \leq 2 \times 0,032 \rightarrow 0,024 \leq 0,064$
- La ordenada en origen (a) no difiere significativamente de 0:  $|a| \leq 2u(a)$   
 $|a| \leq 2u(a) \rightarrow |-1,661| \leq 2 \times 0,861 \rightarrow 1,160 \leq 1,722$

Por lo tanto, la función de corrección no deberá ser corregida por pendiente ni por ordenada, siendo esta:

$$y_{ical} = y_i$$

$$y_{ical} = 1,000 y_i + 0$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la **incertidumbre combinada**  $U_{CR}$ , la **incertidumbre típica relativa**  $\omega_{sam}$  y la **incertidumbre expandida**  $U_{sam}$ , para un número de pares de datos (n) de 55, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida L de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la norma). Los resultados obtenidos se recogen en la **Tabla 14**.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo I

**Tabla 14.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por el FIDAS PM10 en la estación EASO.

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 2,1       | Eq. 10   |
| $\omega_{sam}$      | 4,2 %     | Eq. 14   |
| $U_{sam}$           | 8,4 %     | Eq. 15   |

## EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $U_{sam} < 25 \%$  por lo que se considera que la función de corrección es válida y que el **FIDAS EASO (n/s: 12947) CUMPLE EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN para la medida de PM10.**

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = 1,000 y_i$$

## 6.2. CAMPAÑA EASO PM2,5

Los pares de datos registrados por el método de referencia y el equipo FIDAS n/s:16438 en la estación de Basauri se recogen en la **Tabla 15**

### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

Tras la toma de datos, se realiza el Test de GRUBBS a los pares de datos para descartar los valores atípicos (outliers). Para ello, se calculan:

- Las diferencias ( $D_i$ ) entre los pares de datos
- La constante de Grubbs de cada par de datos ( $G$ )
- El promedio ( $P$ ) y la desviación típica de las diferencias ( $S$ )

Los resultados de  $D$  y  $G$  obtenidos se recogen en la **Tabla 15** y los de  $P$  y  $S$  en la **Tabla 16**.

**Tabla 15.** Datos de concentración de PM 2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrados en la estación de EASO, diferencias ( $D$ ) y cálculo de la constante de Grubbs ( $G$ ).

| FECHA      | PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | $D_i$ | $G$   |
|------------|---------------------------------|--------------------|-------|-------|
|            | Método de referencia            | FIDAS<br>n/s:12947 |       |       |
| 27/01/2022 | 26                              | 25                 | 1     | 0,217 |
| 28/01/2022 | 17                              | 15                 | 2     | 0,660 |
| 29/01/2022 | 28                              | 27                 | 1     | 0,217 |
| 30/01/2022 | 28                              | 30                 | -2    | 1,110 |
| 31/01/2022 | 8                               | 8                  | 0     | 0,225 |
| 01/02/2022 | 10                              | 9                  | 1     | 0,217 |
| 02/02/2022 | 15                              | 13                 | 2     | 0,660 |
| 03/02/2022 | 22                              | 17                 | 5     | 1,987 |
| 04/02/2022 | 15                              | 12                 | 3     | 1,102 |

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | D <sub>i</sub> | G     |
|------------|---------------------------------|--------------------|----------------|-------|
|            | Método de referencia            | FIDAS<br>n/s:12947 |                |       |
| 05/02/2022 | 9                               | 8                  | 1              | 0,217 |
| 06/02/2022 | 10                              | 9                  | 1              | 0,217 |
| 07/02/2022 | 11                              | 10                 | 1              | 0,217 |
| 08/02/2022 | 17                              | 18                 | -1             | 0,668 |
| 09/02/2022 | 24                              | 18                 | 6              | 2,430 |
| 11/02/2022 | 16                              | 17                 | -1             | 0,668 |
| 12/02/2022 | 17                              | 17                 | 0              | 0,225 |
| 13/02/2022 | 16                              | 15                 | 1              | 0,217 |
| 14/02/2022 | 5                               | 4                  | 1              | 0,217 |
| 15/02/2022 | 8                               | 7                  | 1              | 0,217 |
| 16/02/2022 | 9                               | 7                  | 2              | 0,660 |
| 17/02/2022 | 10                              | 9                  | 1              | 0,217 |
| 18/02/2022 | 14                              | 15                 | -1             | 0,668 |
| 19/02/2022 | 6                               | 7                  | -1             | 0,668 |
| 20/02/2022 | 8                               | 8                  | 0              | 0,225 |
| 21/02/2022 | 12                              | 16                 | -4             | 1,995 |
| 22/02/2022 | 19                              | 20                 | -1             | 0,668 |
| 23/02/2022 | 17                              | 16                 | 1              | 0,217 |
| 24/02/2022 | 14                              | 13                 | 1              | 0,217 |
| 26/02/2022 | 14                              | 11                 | 3              | 1,102 |
| 27/02/2022 | 10                              | 8                  | 2              | 0,660 |
| 28/02/2022 | 20                              | 19                 | 1              | 0,217 |

**Resultados**

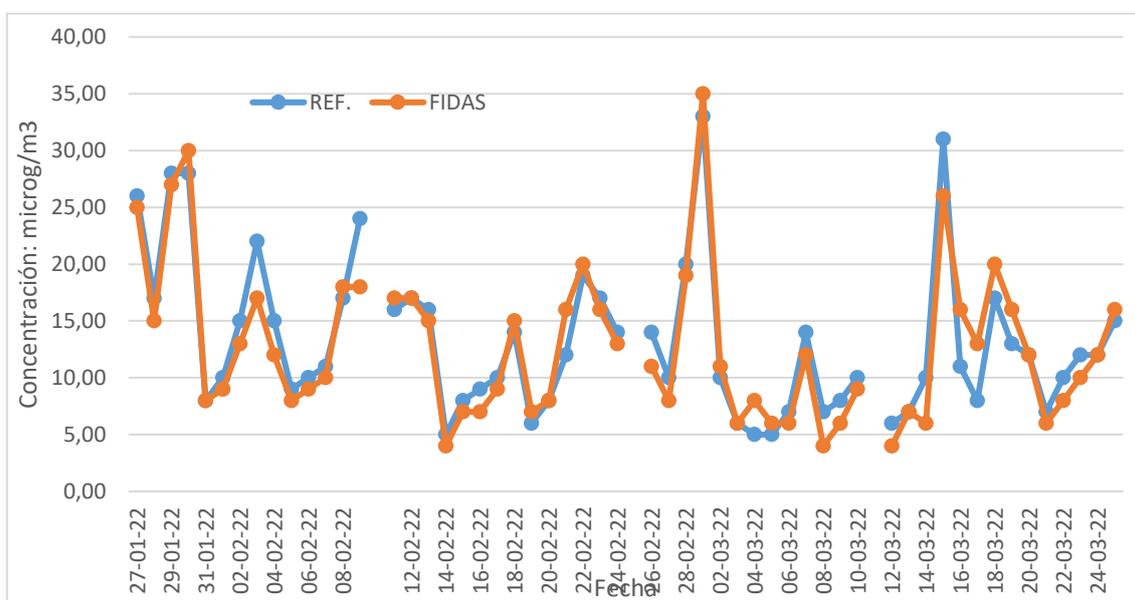
**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 2,5 µg/m <sup>3</sup> |                    | D <sub>i</sub> | G     |
|------------|--------------------------|--------------------|----------------|-------|
|            | Método de referencia     | FIDAS<br>n/s:12947 |                |       |
| 01/03/2022 | 33                       | 35                 | -2             | 1,110 |
| 02/03/2022 | 10                       | 11                 | -1             | 0,668 |
| 03/03/2022 | 6                        | 6                  | 0              | 0,225 |
| 04/03/2022 | 5                        | 8                  | -3             | 1,553 |
| 05/03/2022 | 5                        | 6                  | -1             | 0,668 |
| 06/03/2022 | 7                        | 6                  | 1              | 0,217 |
| 07/03/2022 | 14                       | 12                 | 2              | 0,660 |
| 08/03/2022 | 7                        | 4                  | 3              | 1,102 |
| 09/03/2022 | 8                        | 6                  | 2              | 0,660 |
| 10/03/2022 | 10                       | 9                  | 1              | 0,217 |
| 12/03/2022 | 6                        | 4                  | 2              | 0,660 |
| 13/03/2022 | 7                        | 7                  | 0              | 0,225 |
| 14/03/2022 | 10                       | 6                  | 4              | 1,545 |
| 15/03/2022 | 31                       | 26                 | 5              | 1,987 |
| 16/03/2022 | 11                       | 16                 | -5             | 2,438 |
| 17/03/2022 | 8                        | 13                 | -5             | 2,438 |
| 18/03/2022 | 17                       | 20                 | -3             | 1,553 |
| 19/03/2022 | 13                       | 16                 | -3             | 1,553 |
| 20/03/2022 | 12                       | 12                 | 0              | 0,225 |
| 21/03/2022 | 7                        | 6                  | 1              | 0,217 |
| 22/03/2022 | 10                       | 8                  | 2              | 0,660 |
| 23/03/2022 | 12                       | 10                 | 2              | 0,660 |
| 24/03/2022 | 12                       | 12                 | 0              | 0,225 |
| 25/03/2022 | 15                       | 16                 | -1             | 0,668 |

Tabla 16. Cálculo de P y S.

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Número de pares de datos | 55    |
| P PROMEDIO D             | 0,509 |
| S DESVIACIÓN TÍPICA      | 2,260 |
| G MAXIMO                 | 2,438 |

En la **Figura 38** se representa la evolución de los pares de datos registrados, lo que facilita detectar la existencia de algún dato anómalo.



**Figura 38.** Evolución de los pares de datos de concentración de PM2,5 registrados en EASO.

El valor crítico de la variable Grubbs (**G crítica**) para un  $\alpha=0,01$  y una muestra de 60 pares de datos (en este se dispone de 55) es 3,600, por lo que no se descarta ningún par de datos ya que la G máxima es 2,438.

## CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Tras el cálculo de la variable Grubbs se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la **Tabla 17**.

Asimismo, se muestran en la **Tabla 17** los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo II

**Tabla 17.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b), la ordenada (a), la incertidumbre de la pendiente  $u(b)$  y la incertidumbre de la ordenada  $u(a)$ . Estación: Easo PM2,5

| Parámetro                 | Resultado | Ecuación |
|---------------------------|-----------|----------|
| Sxx                       | 2463      | Eq 1.a   |
| Syy                       | 2493      | Eq 1.b   |
| Sxy                       | 2340      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                 | 13,2      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                 | 12,8      | Eq 1.d   |
| Pendiente (b)             | 1,006     | Eq 2     |
| Ordenada en el origen (a) | -0,595    | Eq 3     |
| $u(b)$                    | 0,045     | Eq 4     |
| $u(a)$                    | 0,676     | Eq 5     |

A partir de las incertidumbres calculadas (**Tabla 17**), se puede determinar que, en este caso:

- La pendiente (b) no difiere significativamente de 1:  $|b-1| \leq 2u(b)$   
 $|b-1| \leq 2u(b) \rightarrow |1,006-1| \leq 2 \times 0,045 \rightarrow 0,006 \leq 0,090$
- La ordenada en origen (a) no difiere significativamente de 0:  $|a| \leq 2u(a)$   
 $|a| \leq 2u(a) \rightarrow |-0,595| \leq 2 \times 0,676 \rightarrow 0,595 \leq 1,352$

Por lo tanto, la función de corrección no deberá ser corregida por pendiente ni por ordenada, siendo esta:

$$y_{ical} = y_i$$

$$y_{ical} = 1,000 y_i + 0$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la **incertidumbre combinada**  $U_{CR}$ , la **incertidumbre típica relativa**  $\omega_{sam}$  y la **incertidumbre expandida**  $\mathbb{W}_{sam}$ , para un número de pares de datos (n) de 55, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida L de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la normativa). Los resultados obtenidos se recogen en la **Tabla 18**.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo II

**Tabla 18.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por el FIDAS PM2,5 en la estación EASO.

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 1,8       | Eq. 10   |
| $\omega_{sam}$      | 5,9%      | Eq. 14   |
| $\mathbb{W}_{sam}$  | 11,8%     | Eq. 15   |

## EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $\mathbb{W}_{sam}=11,8\% < 25\%$ , por lo que se considera que la función de corrección es válida y que el **FIDAS EASO (n/s: 12947) CUMPLE EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN** para la medida de PM10.

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = 1,000 y_i$$

### 6.3. CAMPAÑA HERNANI PM10

Los pares de datos registrados por el método de referencia y el equipo FIDAS n/s: **12945** en la estación de Hernani se recogen en la **Tabla 19**.

#### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

Tras la toma de datos, se realiza el Test de GRUBBS a los pares de datos para descartar los valores atípicos (outliers). Para ello, se calculan:

- Las diferencias ( $D_i$ ) entre los pares de datos
- La constante de Grubbs de cada par de datos ( $G$ )
- El promedio ( $P$ ) y la desviación típica de las diferencias ( $S$ )

Los resultados de  $D$  y  $G$  obtenidos se recogen en la **Tabla 19**, y los de  $P$  y  $S$  en la **Tabla 20**.

**Tabla 19.** Datos de concentración de PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrados en la estación de HERNANI, diferencias ( $D$ ) y cálculo de la constante de Grubbs ( $G$ ).

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ | $G_2$ |
|------------|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:12945 |       |       |       |       |
| 11/02/2022 | 28                             | 26                 | 2     | 0,567 | 0,740 | 0,783 |
| 12/02/2022 | 28                             | 29                 | -1    | 0,199 | 0,547 | 0,770 |
| 13/02/2022 | 23                             | 27                 | -4    | 0,966 | 1,834 | 2,323 |
| 14/02/2022 | 9                              | 8                  | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 15/02/2022 | 16                             | 15                 | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 16/02/2022 | 21                             | 17                 | 4     | 1,078 | 1,598 | 1,819 |
| 17/02/2022 | 18                             | 18                 | 0     | 0,056 | 0,118 | 0,252 |
| 18/02/2022 | 21                             | 19                 | 2     | 0,567 | 0,740 | 0,783 |
| 19/02/2022 | 12                             | 11                 | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 20/02/2022 | 14                             | 12                 | 2     | 0,567 | 0,740 | 0,783 |

Resultados

Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ | $G_2$ |
|------------|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:12945 |       |       |       |       |
| 21/02/2022 | 28                             | 26                 | 2     | 0,567 | 0,740 | 0,783 |
| 22/02/2022 | 31                             | 28                 | 3     | 0,822 | 1,169 | 1,301 |
| 23/02/2022 | 28                             | 23                 | 5     | 1,333 | 2,027 | 2,337 |
| 24/02/2022 | 24                             | 21                 | 3     | 0,822 | 1,169 | 1,301 |
| 26/02/2022 | 17                             | 16                 | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 27/02/2022 | 15                             | 13                 | 2     | 0,567 | 0,740 | 0,783 |
| 28/02/2022 | 27                             | 26                 | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 01/03/2022 | 36                             | 38                 | -2    | 0,455 | 0,976 | 1,288 |
| 02/03/2022 | 17                             | 17                 | 0     | 0,056 | 0,118 | 0,252 |
| 03/03/2022 | 9                              | 9                  | 0     | 0,056 | 0,118 | 0,252 |
| 04/03/2022 | 12                             | 12                 | 0     | 0,056 | 0,118 | 0,252 |
| 05/03/2022 | 9                              | 8                  | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 06/03/2022 | 12                             | 12                 | 0     | 0,056 | 0,118 | 0,252 |
| 07/03/2022 | 17                             | 17                 | 0     | 0,056 | 0,118 | 0,252 |
| 08/03/2022 | 9                              | 7                  | 2     | 0,567 | 0,740 | 0,783 |
| 09/03/2022 | 9                              | 8                  | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 10/03/2022 | 12                             | 11                 | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 12/03/2022 | 7                              | 6                  | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 13/03/2022 | 11                             | 10                 | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 14/03/2022 | 11                             | 10                 | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 15/03/2022 | 80                             | 100                | -20   | 5,053 |       |       |
| 16/03/2022 | 35                             | 43                 | -8    | 1,987 | 3,549 |       |
| 17/03/2022 | 18                             | 19                 | -1    | 0,199 | 0,547 | 0,770 |
| 18/03/2022 | 29                             | 31                 | -2    | 0,455 | 0,976 | 1,288 |
| 19/03/2022 | 22                             | 26                 | -4    | 0,966 | 1,834 | 2,323 |

**Resultados**

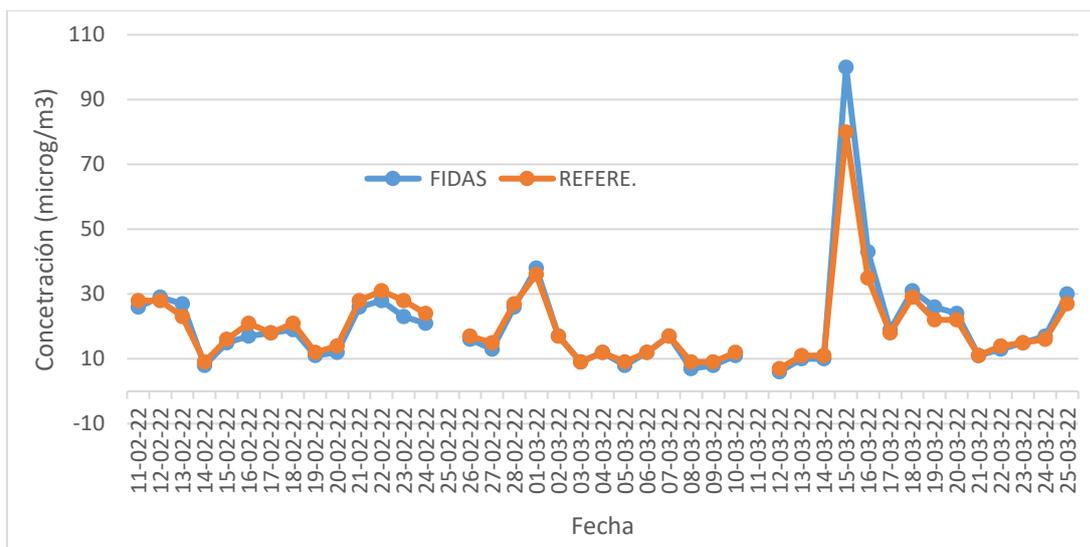
**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ | $G_2$ |
|------------|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:12945 |       |       |       |       |
| 20/03/2022 | 22                             | 24                 | -2    | 0,455 | 0,976 | 1,288 |
| 21/03/2022 | 11                             | 11                 | 0     | 0,056 | 0,118 | 0,252 |
| 22/03/2022 | 14                             | 13                 | 1     | 0,312 | 0,311 | 0,266 |
| 23/03/2022 | 15                             | 15                 | 0     | 0,056 | 0,118 | 0,252 |
| 24/03/2022 | 16                             | 17                 | -1    | 0,199 | 0,547 | 0,770 |
| 25/03/2022 | 27                             | 30                 | -3    | 0,710 | 1,405 | 1,806 |

**Tabla 20.** Cálculo de P y S.

|                                 |               |
|---------------------------------|---------------|
| <b>Número de pares de datos</b> | <b>41</b>     |
| <b>P PROMEDIO D</b>             | <b>-0,220</b> |
| <b>S DESVIACIÓN TÍPICA</b>      | <b>3,915</b>  |
| <b>G MAXIMO</b>                 | <b>5,053</b>  |

En la **Figura 39** se representa la evolución de los pares de datos registrados, lo que facilita detectar la existencia de algún dato anómalo.



**Figura 39.** Evolución de los pares de datos de concentración de PM10 registrados en HERNANI.

El valor crítico de la variable Grubbs (**G crítica**) para un  $\alpha=0,01$  y una muestra de 40 pares de datos (en este se dispone de 41) es 3,3807, por lo que se descarta el par de datos correspondiente al 15 de marzo de 2022 (marcado en rojo en la Tabla 19), al ser su  $G_0$  (5,053) mayor que la crítica. A continuación, se vuelve a calcular la  $G$  ( $G_1$ ) de los restantes pares de datos y se comprueba si algún valor es mayor que la  $G$  crítica, en este caso el 16 de marzo de 2022 su  $G_1$  (3,549) por lo que se descarta. Finalmente se vuelve a calcular la  $G$  ( $G_2$ ) comprobando que todos los valores son menores que la  $G$  crítica, por lo que no se descartan más valores.

Por otra parte, en la fecha en cuestión (15 de marzo de 2022) toda la península sufrió un fuerte episodio de intrusión de polvo sahariano, por lo que se estima que las condiciones de medida fueron excepcionales y las mismas pueden distorsionar el cálculo del factor.

### CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Tras el cálculo de la variable Grubbs se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la **Tabla 21**.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo III

**Tabla 21.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b), la ordenada (a), la incertidumbre de la pendiente  $u(b)$  y la incertidumbre de la ordenada  $u(a)$ . Estación: HERNANI PM10

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 2165      | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 2441      | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 2232      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                        | 18,1      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                        | 17,6      | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (b)</b>             | 1,064     | Eq 2     |
| <b>Ordenada en el origen (a)</b> | -1,642    | Eq 3     |
| $u_{(b)}$                        | 0,042     | Eq 4     |
| $u_{(a)}$                        | 0,816     | Eq 5     |

A partir de las incertidumbres calculadas (**Tabla 21**), se puede determinar que, en este caso:

- **La pendiente (b) NO difiere significativamente de 1:  $|b-1| > 2u(b)$**   
 $|b-1| \leq 2u(b) \rightarrow |1,064-1| \leq 2 \times 0,042 \rightarrow 0,064 \leq 0,084$
- **La ordenada en origen (a) difiere significativamente de 0:  $|a| > 2u(a)$**   
 $|a| > 2u(a) \rightarrow |-1,642| > 2 \times 0,816 \rightarrow 1,642 > 1,632$

Por lo tanto, la función de corrección deberá ser corregida por ordenada, siendo esta:

$$y_{ical} = y_i - a$$

$$y_{ical} = y_i + 1,642$$

Los resultados de  $y_{ical}$  Se usan para calcular por regresión lineal ortogonal una nueva relación entre  $x_i$  e  $y_{ical}$ , según las ecuaciones 1-6-7.

Los valores calculados de la pendiente (d) y la ordenada en el origen (c), así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de d y c, según las ecuaciones 1-6-7, y se recogen en la Tabla 22.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la d y c,  $u(d)$  y  $u(c)$ , respectivamente, según las ecuaciones 8-9.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo III

**Tabla 22.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (d), la ordenada (c), la incertidumbre de la pendiente  $u_{(d)}$  y la incertidumbre de la ordenada  $u_{(c)}$ . Estación: HERNANI PM10

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 2165      | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 2441      | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 2232      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}_i$                      | 18,1      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}_{ical}$                 | 19,2      | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (d)</b>             | 1,064     | Eq 6     |
| <b>Ordenada en el origen (c)</b> | 0,000     | Eq 7     |
| $u_{(d)}$                        | 0,042     | Eq 8     |
| $u_{(c)}$                        | 0,816     | Eq 9     |

$$y_{ical} = c + d x_i$$

$$y_{ical} = 0 + 1,064 x_i$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la **incertidumbre combinada**  $U_{CR}$ , la **incertidumbre típica relativa**  $\omega_{sam}$  y la **incertidumbre expandida**  $\mathbb{U}_{sam}$ , para un número de pares de datos (n) de 39, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida L de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la normativa). Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 23

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo III

**Tabla 23.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por el FIDAS PM10 en la estación HERNANI.

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 3,5       | Eq. 11   |
| $\omega_{sam}$      | 7,1%      | Eq. 14   |
| $\mathbb{U}_{sam}$  | 14,1%     | Eq. 15   |

## EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $\mathbb{U}_{sam}=14,1 \%$  < 25 %, por lo que se considera que la función de corrección es válida y que el **FIDAS HERNANI (n/s: 12947) CUMPLE EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN para la medida de PM10.**

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = 1,000 y_i + 1,642$$

#### 6.4. CAMPAÑA HERNANI PM2,5

Los pares de datos registrados por el método de referencia y el equipo FIDAS n/s: **12945** en la estación de Hernani se recogen en la **Tabla 24**.

#### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

Tras la toma de datos, se realiza el Test de GRUBBS a los pares de datos para descartar los valores atípicos (outliers). Para ello, se calculan:

- Las diferencias ( $D_i$ ) entre los pares de datos
- La constante de Grubbs de cada par de datos ( $G$ )
- El promedio ( $P$ ) y la desviación típica de las diferencias ( $S$ )

Los resultados de  $D$  y  $G$  obtenidos se recogen en la **Tabla 24**, y los de  $P$  y  $S$  en la **Tabla 25**.

**Tabla 24.** Datos de concentración de PM 2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrados en la estación de HERNANI, diferencias ( $D$ ) y cálculo de la constante de Grubbs ( $G$ ).

| FECHA      | PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ |
|------------|---------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia            | FIDAS<br>n/s:12945 |       |       |       |
| 11-feb.-22 | 18                              | 18                 | 0     | 0,187 | 0,120 |
| 12-feb.-22 | 20                              | 21                 | -1    | 0,697 | 0,720 |
| 13-feb.-22 | 15                              | 16                 | -1    | 0,697 | 0,720 |
| 14-feb.-22 | 6                               | 4                  | 2     | 0,834 | 1,080 |
| 15-feb.-22 | 9                               | 9                  | 0     | 0,187 | 0,120 |
| 16-feb.-22 | 13                              | 10                 | 3     | 1,345 | 1,679 |
| 17-feb.-22 | 10                              | 9                  | 1     | 0,324 | 0,480 |
| 18-feb.-22 | 12                              | 11                 | 1     | 0,324 | 0,480 |

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 2,5 µg/m <sup>3</sup> |                    | D <sub>i</sub> | G <sub>0</sub> | G <sub>1</sub> |
|------------|--------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
|            | Método de referencia     | FIDAS<br>n/s:12945 |                |                |                |
| 19-feb.-22 | 7                        | 7                  | 0              | 0,187          | 0,120          |
| 20-feb.-22 | 10                       | 9                  | 1              | 0,324          | 0,480          |
| 21-feb.-22 | 13                       | 15                 | -2             | 1,208          | 1,320          |
| 22-feb.-22 | 16                       | 15                 | 1              | 0,324          | 0,480          |
| 23-feb.-22 | 15                       | 14                 | 1              | 0,324          | 0,480          |
| 24-feb.-22 | 13                       | 11                 | 2              | 0,834          | 1,080          |
| 26-feb.-22 | 11                       | 9                  | 2              | 0,834          | 1,080          |
| 27-feb.-22 | 9                        | 8                  | 1              | 0,324          | 0,480          |
| 28-feb.-22 | 16                       | 15                 | 1              | 0,324          | 0,480          |
| 1-mar.-22  | 22                       | 21                 | 1              | 0,324          | 0,480          |
| 2-mar.-22  | 11                       | 10                 | 1              | 0,324          | 0,480          |
| 3-mar.-22  | 6                        | 6                  | 0              | 0,187          | 0,120          |
| 4-mar.-22  | 4                        | 6                  | -2             | 1,208          | 1,320          |
| 5-mar.-22  | 5                        | 5                  | 0              | 0,187          | 0,120          |
| 6-mar.-22  | 8                        | 8                  | 0              | 0,187          | 0,120          |
| 7-mar.-22  | 13                       | 12                 | 1              | 0,324          | 0,480          |
| 8-mar.-22  | 6                        | 5                  | 1              | 0,324          | 0,480          |
| 9-mar.-22  | 8                        | 6                  | 2              | 0,834          | 1,080          |
| 10-mar.-22 | 8                        | 7                  | 1              | 0,324          | 0,480          |
| 12-mar.-22 | 5                        | 3                  | 2              | 0,834          | 1,080          |
| 13-mar.-22 | 5                        | 6                  | -1             | 0,697          | 0,720          |
| 14-mar.-22 | 8                        | 5                  | 3              | 1,345          | 1,679          |
| 15-mar.-22 | 30                       | 23                 | 7              | 3,386          |                |
| 16-mar.-22 | 11                       | 14                 | -3             | 1,718          | 1,919          |
| 17-mar.-22 | 6                        | 11                 | -5             | 2,739          | 3,119          |

**Resultados**

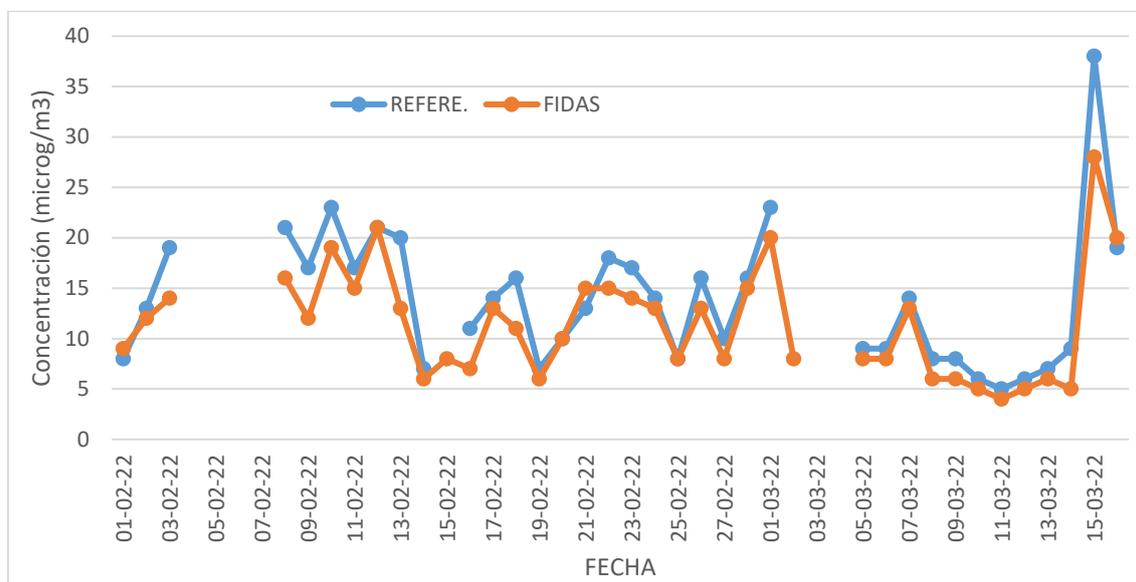
**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 2,5 µg/m <sup>3</sup> |                    | D <sub>i</sub> | G <sub>0</sub> | G <sub>1</sub> |
|------------|--------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
|            | Método de referencia     | FIDAS<br>n/s:12945 |                |                |                |
| 18-mar.-22 | 17                       | 20                 | -3             | 1,718          | 1,919          |
| 19-mar.-22 | 14                       | 15                 | -1             | 0,697          | 0,720          |
| 20-mar.-22 | 12                       | 12                 | 0              | 0,187          | 0,120          |
| 21-mar.-22 | 6                        | 6                  | 0              | 0,187          | 0,120          |
| 22-mar.-22 | 9                        | 8                  | 1              | 0,324          | 0,480          |
| 23-mar.-22 | 10                       | 10                 | 0              | 0,187          | 0,120          |
| 24-mar.-22 | 10                       | 10                 | 0              | 0,187          | 0,120          |
| 25-mar.-22 | 15                       | 17                 | -2             | 1,208          | 1,320          |

**Tabla 25.** Cálculo de P y S.

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b>Número de pares de datos</b> | 41    |
| <b>P PROMEDIO D</b>             | 0,366 |
| <b>S DESVIACIÓN TÍPICA</b>      | 1,959 |
| <b>G MAXIMO</b>                 | 3,386 |

En la **Figura 40** se representa la evolución de los pares de datos registrados, lo que facilita detectar la existencia de algún dato anómalo.



**Figura 40..** Evolución de los pares de datos de concentración de PM2,5 registrados en HERNANI.

El valor crítico de la variable Grubbs (**G crítica**) para un  $\alpha=0,01$  y una muestra de 40 pares de datos (en este se dispone de 41) es 3,3807, por lo que se descarta el par de datos correspondiente al 15 de marzo de 2022 (marcado en rojo en la Tabla 24), al ser su G (3,386) mayor que la crítica.

Por otra parte, en la fecha en cuestión (15 de marzo de 2022) toda la península sufrió un fuerte episodio de intrusión de polvo sahariano, por lo que se estima que las condiciones de medida fueron excepcionales y las mismas pueden distorsionar el cálculo del factor.

### CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Tras el cálculo de la variable Grubbs se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la Tabla 26.

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo III

**Tabla 26.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b), la ordenada (a), la incertidumbre de la pendiente  $u(b)$  y la incertidumbre de la ordenada  $u(a)$ . Estación: HERNANI PM2,5

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 760       | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 894       | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 773       | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                        | 10,8      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                        | 10,6      | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (b)</b>             | 1,090     | Eq 2     |
| <b>Ordenada en el origen (a)</b> | -1,171    | Eq 3     |
| $u(b)$                           | 0,061     | Eq 4     |
| $u(a)$                           | 0,713     | Eq 5     |

A partir de las incertidumbres calculadas (Tabla 26), se puede determinar que, en este caso:

- **La pendiente (b) NO difiere significativamente de 1:  $|b-1| \leq 2u(b)$**   
 $|b-1| \leq 2u(b) \rightarrow |1,090-1| \leq 2 \times 0,061 \rightarrow 0,090 \leq 0,122$
- **La ordenada en origen (a) NO difiere significativamente de 0:  $|a| \leq 2u(a)$**   
 $|a| \leq 2u(a) \rightarrow |-1,171| \leq 2 \times 0,713 \rightarrow 1,171 \leq 1,426$

Por lo tanto, la función de corrección **NO** deberá ser corregida ni por pendiente y por ordenada, siendo esta:

$$y_{ical} = y_i$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la **incertidumbre combinada**  $U_{CR}$ , la **incertidumbre típica relativa**  $\omega_{sam}$  y la **incertidumbre expandida**  $U_{sam}$ , para un número de pares de datos (n) de 40, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida L de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la normativa). Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 27.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo IV

**Tabla 27.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por el FIDAS PM2,5 en la estación HERNANI

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 1,7       | Eq. 10   |
| $\omega_{sam}$      | 5,8%      | Eq. 14   |
| $U_{sam}$           | 11,6%     | Eq. 15   |

## EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $U_{sam}=11,6\%<25\%$ , por lo que se considera que la función de corrección es válida y que el FIDAS HERNANI (n/s: 12945) CUMPLE EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN para la medida de PM2,5.

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = 1,000 y_i + 0$$

## 6.5. CAMPAÑA MAZARREDO PM10

Los pares de datos registrados por el método de referencia y el equipo FIDAS n/s: **11648** en la estación de Mazarredo se recogen en la Tabla 28.

### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

Tras la toma de datos, se realiza el Test de GRUBBS a los pares de datos para descartar los valores atípicos (outliers). Para ello, se calculan:

- Las diferencias ( $D_i$ ) entre los pares de datos
- La constante de Grubbs de cada par de datos ( $G$ )
- El promedio ( $P$ ) y la desviación típica de las diferencias ( $S$ )

Los resultados de  $D$  y  $G$  obtenidos se recogen en la Tabla 28 y los de  $P$  y  $S$  en la Tabla 29.

**Tabla 28.** Datos de concentración de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrados en la estación de MAZARREDO, diferencias ( $D$ ) y cálculo de la constante de Grubbs ( $G$ ).

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ | $G_2$ |
|------------|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:11648 |       |       |       |       |
| 10-feb.-22 | 39                             | 34                 | 5     | 0,899 | 1,603 | 2,136 |
| 11-feb.-22 | 20                             | 20                 | 0     | 0,080 | 0,115 | 0,324 |
| 12-feb.-22 | 28                             | 29                 | -1    | 0,084 | 0,458 | 0,816 |
| 13-feb.-22 | 28                             | 24                 | 4     | 0,735 | 1,260 | 1,644 |
| 14-feb.-22 | 8                              | 7                  | 1     | 0,244 | 0,229 | 0,168 |
| 15-feb.-22 | 16                             | 14                 | 2     | 0,407 | 0,573 | 0,660 |
| 16-feb.-22 | 18                             | 14                 | 4     | 0,735 | 1,260 | 1,644 |
| 17-feb.-22 | 26                             | 23                 | 3     | 0,571 | 0,916 | 1,152 |

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ | $G_2$ |
|------------|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:11648 |       |       |       |       |
| 18-feb.-22 | 26                             | 22                 | 4     | 0,735 | 1,260 | 1,644 |
| 19-feb.-22 | 14                             | 13                 | 1     | 0,244 | 0,229 | 0,168 |
| 20-feb.-22 | 18                             | 16                 | 2     | 0,407 | 0,573 | 0,660 |
| 21-feb.-22 | 30                             | 28                 | 2     | 0,407 | 0,573 | 0,660 |
| 22-feb.-22 | 34                             | 31                 | 3     | 0,571 | 0,916 | 1,152 |
| 23-feb.-22 | 35                             | 33                 | 2     | 0,407 | 0,573 | 0,660 |
| 24-feb.-22 | 27                             | 26                 | 1     | 0,244 | 0,229 | 0,168 |
| 25-feb.-22 | 16                             | 15                 | 1     | 0,244 | 0,229 | 0,168 |
| 26-feb.-22 | 25                             | 25                 | 0     | 0,080 | 0,115 | 0,324 |
| 27-feb.-22 | 17                             | 15                 | 2     | 0,407 | 0,573 | 0,660 |
| 28-feb.-22 | 29                             | 31                 | -2    | 0,247 | 0,802 | 1,308 |
| 1-mar.-22  | 39                             | 41                 | -2    | 0,247 | 0,802 | 1,308 |
| 2-mar.-22  | 14                             | 14                 | 0     | 0,080 | 0,115 | 0,324 |
| 3-mar.-22  | 11                             | 10                 | 1     | 0,244 | 0,229 | 0,168 |
| 4-mar.-22  | 12                             | 11                 | 1     | 0,244 | 0,229 | 0,168 |
| 5-mar.-22  | 8                              | 7                  | 1     | 0,244 | 0,229 | 0,168 |
| 6-mar.-22  | 9                              | 8                  | 1     | 0,244 | 0,229 | 0,168 |
| 7-mar.-22  | 18                             | 19                 | -1    | 0,084 | 0,458 | 0,816 |
| 8-mar.-22  | 13                             | 11                 | 2     | 0,407 | 0,573 | 0,660 |
| 9-mar.-22  | 12                             | 11                 | 1     | 0,244 | 0,229 | 0,168 |
| 10-mar.-22 | 8                              | 8                  | 0     | 0,080 | 0,115 | 0,324 |

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ | $G_2$ |
|------------|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:11648 |       |       |       |       |
| 11-mar.-22 | 9                              | 7                  | 2     | 0,407 | 0,573 | 0,660 |
| 12-mar.-22 | 9                              | 8                  | 1     | 0,244 | 0,229 | 0,168 |
| 15-mar.-22 | 117                            | 152                | -35   | 5,651 |       |       |
| 16-mar.-22 | 54                             | 67                 | -13   | 2,049 | 4,581 |       |
| 17-mar.-22 | 18                             | 17                 | 1     | 0,244 | 0,229 | 0,168 |
| 18-mar.-22 | 30                             | 32                 | -2    | 0,247 | 0,802 | 1,308 |
| 19-mar.-22 | 26                             | 30                 | -4    | 0,575 | 1,489 | 2,292 |
| 20-mar.-22 | 20                             | 22                 | -2    | 0,247 | 0,802 | 1,308 |
| 21-mar.-22 | 12                             | 12                 | 0     | 0,080 | 0,115 | 0,324 |
| 22-mar.-22 | 17                             | 17                 | 0     | 0,080 | 0,115 | 0,324 |
| 23-mar.-22 | 16                             | 16                 | 0     | 0,080 | 0,115 | 0,324 |
| 24-mar.-22 | 15                             | 16                 | -1    | 0,084 | 0,458 | 0,816 |
| 25-mar.-22 | 23                             | 26                 | -3    | 0,411 | 1,145 | 1,800 |
| 26-mar.-22 | 24                             | 27                 | -3    | 0,411 | 1,145 | 1,800 |

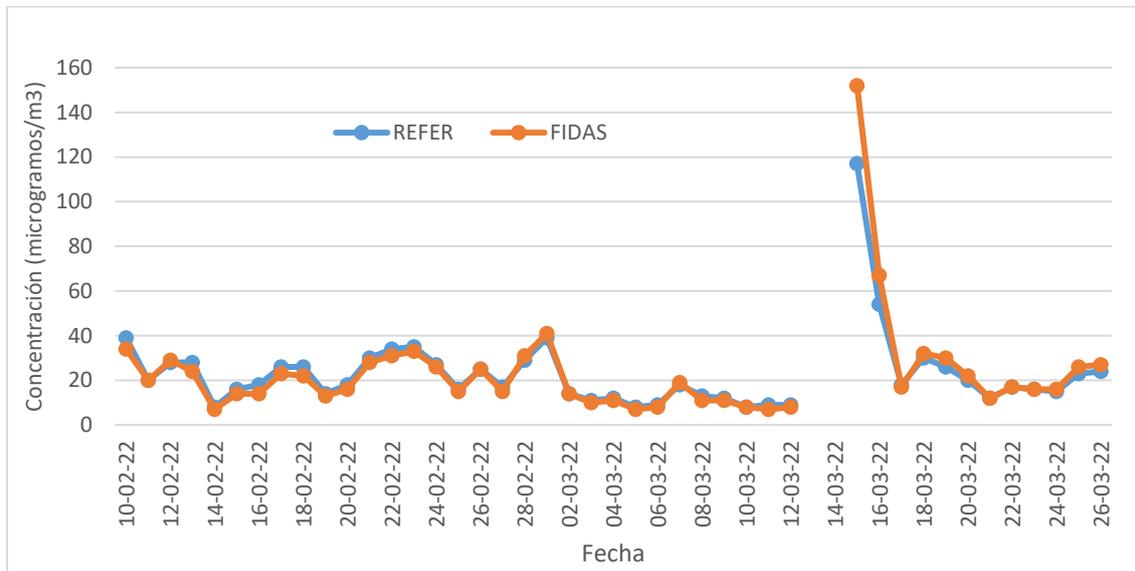
**Tabla 29.** Cálculo de P y S.

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b>Número de pares de datos</b> | 43    |
| <b>P PROMEDIO D</b>             | -0,49 |
| <b>S DESVIACIÓN TÍPICA</b>      | 6,108 |
| <b>G MAXIMO</b>                 | 5,651 |

## Resultados

Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta

En la Figura 41 se representa la evolución de los pares de datos registrados, lo que facilita detectar la existencia de algún dato anómalo.



**Figura 41.** Evolución de los pares de datos de concentración de PM10 registrados en MAZARREDO.

El valor crítico de la variable Grubbs (**G crítica**) para un  $\alpha=0,01$  y una muestra de 40 pares de datos (en esta se dispone de 42) es 3,3807, por lo que se descarta el par de datos correspondiente al 15 de marzo de 2022 (marcado en rojo en la Tabla 28), al ser su G (5,561) mayor que la crítica. A continuación, se vuelve a calcular la G (**G<sub>1</sub>**) de los restantes pares de datos y se comprueba si algún valor es mayor que la G crítica, en este caso el 16 de marzo de 2022 su **G<sub>1</sub>** (4,581) por lo que se descarta. Finalmente se vuelve a calcular la **G (G<sub>2</sub>)** comprobando que todos los valores son menores que la G crítica, por lo que no se descartan más valores.

Por otra parte, en la fecha en cuestión (15 de marzo de 2022) toda la península sufrió un fuerte episodio de intrusión de polvo sahariano, por lo que se estima que las condiciones de medida fueron excepcionales y las mismas pueden distorsionar el cálculo del factor.

## CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Tras el cálculo de la variable Grubbs se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la **Tabla 30**.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo V

**Tabla 30.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b), la ordenada (a), la incertidumbre de la pendiente  $u(b)$  y la incertidumbre de la ordenada  $u(a)$ . Estación: MAZARREDO PM10

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 3055      | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 3214      | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 3052      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                        | 19,9      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                        | 19,3      | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (b)</b>             | 1,026     | Eq 2     |
| <b>Ordenada en el origen (a)</b> | -1,185    | Eq 3     |
| $u(b)$                           | 0,037     | Eq 4     |
| $u(a)$                           | 0,809     | Eq 5     |

A partir de las incertidumbres calculadas (Tabla 30), se puede determinar que, en este caso:

- **La pendiente (b) NO difiere significativamente de 1:  $|b-1| > 2u(b)$**   
 $|b-1| \leq 2u(b) \rightarrow |1,026-1| \leq 2 \times 0,037 \rightarrow 0,026 \leq 0,074$
- **La ordenada en origen (a) NO difiere significativamente de 0:  $|a| > 2u(a)$**   
 $|a| \leq 2u(a) \rightarrow |-1,185| \leq 2 \times 0,809 \rightarrow 1,185 \leq 1,618$

Por lo tanto, la función de corrección **NO** deberá ser corregida por pendiente y por ordenada, siendo esta:

$$y_{ical} = y_i$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la **incertidumbre combinada**  $U_{CR}$ , la **incertidumbre típica relativa**  $\omega_{sam}$  y la **incertidumbre expandida**  $U_{sam}$ , para un número de pares de datos ( $n$ ) de 40, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida  $L$  de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la normativa). Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 31.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo V

**Tabla 31.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por el FIDAS PM10 en la estación MAZARREDO.

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 1,4       | Eq. 10   |
| $\omega_{sam}$      | 2,9%      | Eq. 14   |
| $U_{sam}$           | 5,7%      | Eq. 15   |

## EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $U_{sam}=5,7\%<25\%$ , por lo que se considera que la función de corrección es válida y que el **FIDAS MAZARREDO (n/s: 11648) CUMPLE EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN para la medida de PM10.**

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = 1,000 y_i + 0$$

## 6.6. CAMPAÑA MAZARREDO PM2,5

Los pares de datos registrados por el método de referencia y el equipo FIDAS n/s: **11648** en la estación de Mazarredo se recogen en la Tabla 32.

### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

Tras la toma de datos, se realiza el Test de GRUBBS a los pares de datos para descartar los valores atípicos (outliers). Para ello, se calculan:

- Las diferencias ( $D_i$ ) entre los pares de datos
- La constante de Grubbs de cada par de datos ( $G$ )
- El promedio ( $P$ ) y la desviación típica de las diferencias ( $S$ )

Los resultados de  $D$  y  $G$  obtenidos se recogen en la Tabla 32, y los de  $P$  y  $S$  en la Tabla 33

**Tabla 32.** Datos de concentración de PM 2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrados en la estación de MAZARREDO, diferencias ( $D$ ) y cálculo de la constante de Grubbs ( $G$ ).

| FECHA      | PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | $D_i$ | $G$   |
|------------|---------------------------------|--------------------|-------|-------|
|            | Método de referencia            | FIDAS<br>n/s:12945 |       |       |
| 12/02/2022 | 19                              | 20                 | -1    | 0,405 |
| 13/02/2022 | 16                              | 14                 | 2     | 1,113 |
| 14/02/2022 | 4                               | 4                  | 0     | 0,101 |
| 15/02/2022 | 7                               | 6                  | 1     | 0,607 |
| 16/02/2022 | 9                               | 7                  | 2     | 1,113 |
| 17/02/2022 | 13                              | 12                 | 1     | 0,607 |
| 18/02/2022 | 12                              | 12                 | 0     | 0,101 |
| 19/02/2022 | 6                               | 6                  | 0     | 0,101 |
| 20/02/2022 | 11                              | 11                 | 0     | 0,101 |

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 2,5 µg/m <sup>3</sup> |                    | D <sub>i</sub> | G     |
|------------|--------------------------|--------------------|----------------|-------|
|            | Método de referencia     | FIDAS<br>n/s:12945 |                |       |
| 21/02/2022 | 13                       | 16                 | -3             | 1,416 |
| 22/02/2022 | 15                       | 15                 | 0              | 0,101 |
| 23/02/2022 | 19                       | 17                 | 2              | 1,113 |
| 25/02/2022 | 7                        | 8                  | -1             | 0,405 |
| 26/02/2022 | 15                       | 14                 | 1              | 0,607 |
| 27/02/2022 | 10                       | 9                  | 1              | 0,607 |
| 28/02/2022 | 16                       | 16                 | 0              | 0,101 |
| 01/03/2022 | 22                       | 22                 | 0              | 0,101 |
| 02/03/2022 | 8                        | 9                  | -1             | 0,405 |
| 03/03/2022 | 7                        | 6                  | 1              | 0,607 |
| 04/03/2022 | 4                        | 5                  | -1             | 0,405 |
| 05/03/2022 | 5                        | 5                  | 0              | 0,101 |
| 06/03/2022 | 6                        | 6                  | 0              | 0,101 |
| 07/03/2022 | 13                       | 14                 | -1             | 0,405 |
| 08/03/2022 | 8                        | 6                  | 2              | 1,113 |
| 09/03/2022 | 7                        | 6                  | 1              | 0,607 |
| 10/03/2022 | 5                        | 5                  | 0              | 0,101 |
| 12/03/2022 | 5                        | 5                  | 0              | 0,101 |
| 15/03/2022 | 42                       | 36                 | 6              | 3,136 |
| 16/03/2022 | 16                       | 20                 | -4             | 1,922 |
| 17/03/2022 | 5                        | 9                  | -4             | 1,922 |
| 18/03/2022 | 17                       | 19                 | -2             | 0,911 |

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 2,5 µg/m <sup>3</sup> |                    | D <sub>i</sub> | G     |
|------------|--------------------------|--------------------|----------------|-------|
|            | Método de referencia     | FIDAS<br>n/s:12945 |                |       |
| 19/03/2022 | 14                       | 15                 | -1             | 0,405 |
| 20/03/2022 | 11                       | 12                 | -1             | 0,405 |
| 21/03/2022 | 7                        | 6                  | 1              | 0,607 |
| 22/03/2022 | 11                       | 10                 | 1              | 0,607 |
| 23/03/2022 | 10                       | 11                 | -1             | 0,405 |
| 24/03/2022 | 10                       | 10                 | 0              | 0,101 |
| 29/03/2022 | 19                       | 24                 | -5             | 2,428 |
| 30/03/2022 | 12                       | 16                 | -4             | 1,922 |
| 31/03/2022 | 8                        | 8                  | 0              | 0,101 |

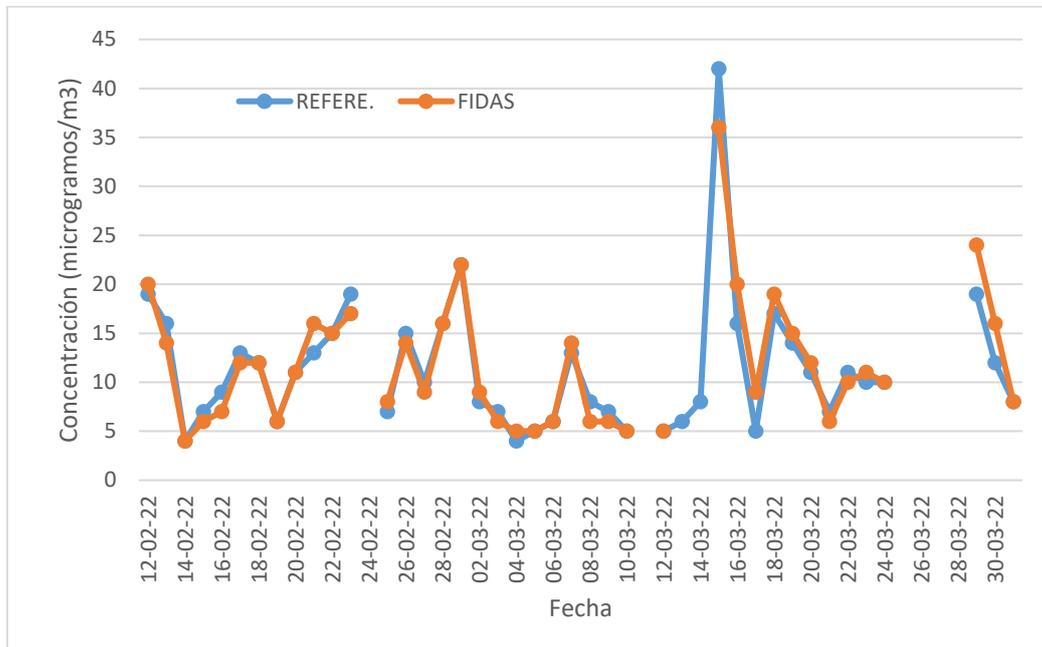
**Tabla 33.** Cálculo de P y S.

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b>Número de pares de datos</b> | 40    |
| <b>P PROMEDIO D</b>             | -0,20 |
| <b>S DESVIACIÓN TÍPICA</b>      | 1,977 |
| <b>G MAXIMO</b>                 | 3,136 |

## Resultados

Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta

En la Figura 42 se representa la evolución de los pares de datos registrados, lo que facilita detectar la existencia de algún dato anómalo.



**Figura 42.** Evolución de los pares de datos de concentración de PM2,5 registrados en MAZARREDO.

El valor crítico de la variable Grubbs (**G crítica**) para un  $\alpha=0,01$  y una muestra de 40 pares de datos (en este se dispone de 40) es 3,3807, por lo que no se descarta ningún par de datos ya que la G de los pares de datos es menor que la G crítica en todos los casos.

### CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Tras el cálculo de la variable Grubbs se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-2-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la Tabla 34.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo VI

**Tabla 34.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b), la ordenada (a), la incertidumbre de la pendiente  $u_{(b)}$  y la incertidumbre de la ordenada  $u_{(a)}$ . Estación: MAZARREDO PM2,5

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 1832      | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 1704      | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 1692      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                        | 11,6      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                        | 11,8      | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (b)</b>             | 0,963     | Eq 2     |
| <b>Ordenada en el origen (a)</b> | 0,628     | Eq 3     |
| $u_{(b)}$                        | 0,045     | Eq 4     |
| $u_{(a)}$                        | 0,606     | Eq 5     |

A partir de las incertidumbres calculadas (Tabla 34), se puede determinar que, en este caso:

- **La pendiente (b) NO difiere significativamente de 1:  $|b-1| \leq 2u_{(b)}$**   
 $|b-1| \leq 2u_{(b)} \rightarrow |0,963-1| \leq 2 \times 0,045 \rightarrow 0,037 \leq 0,090$
- **La ordenada en origen (a) NO difiere significativamente de 0:  $|a| \leq 2u_{(a)}$**   
 $|a| \leq 2u_{(a)} \rightarrow |0,628| \leq 2 \times 0,606 \rightarrow 0,628 \leq 1,212$

Por lo tanto, la función de corrección **NO** deberá ser corregida ni por pendiente y por ordenada, siendo esta:

$$y_{ical} = y_i$$

### CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la **incertidumbre combinada**  $U_{CR}$ , la **incertidumbre típica relativa**  $\omega_{sam}$  y la **incertidumbre expandida**  $U_{sam}$ , para un número de pares de datos (n) de 40, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida L de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la normativa). Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 35.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo IV

**Tabla 35.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por el FIDAS PM2,5 en la estación MAZARREDO

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 1,3       | Eq. 10   |
| $\omega_{sam}$      | 4,5%      | Eq. 14   |
| $\mathbb{U}_{sam}$  | 8,9%      | Eq. 15   |

### EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $\mathbb{U}_{sam}=8,9 \% < 25 \%$ , por lo que se considera que la función de corrección es válida y que el **FIDAS MAZARREDO (n/s: 11648) CUMPLE EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN para la medida de PM2,5.**

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = 1,000 y_i + 0$$

## 6.7. CAMPAÑA BASAURI PM10

Los pares de datos registrados por el método de referencia y el equipo FIDAS n/s:16438 en la estación de Basauri se recogen en la Tabla 36.

### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

Tras la toma de datos, se realiza el Test de GRUBBS a los pares de datos para descartar los valores atípicos (outliers). Para ello, se calculan:

- Las diferencias ( $D_i$ ) entre los pares de datos
- La constante de Grubbs de cada par de datos ( $G$ )
- El promedio ( $P$ ) y la desviación típica de las diferencias ( $S$ )

Los resultados de  $D$  y  $G$  obtenidos se recogen en la Tabla 36, y los de  $P$  y  $S$  en la Tabla 37.

**Tabla 36.** Datos de concentración de PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrados en la estación de BASAURI PM10, diferencias ( $D$ ) y cálculo de la constante de Grubbs ( $G$ ).

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                        | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ | $G_2$ | $G_3$ |
|------------|--------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:<br>16438 |       |       |       |       |       |
| 01/02/2022 | 20                             | 17                     | 3     | 0,057 | 0,267 | 0,508 | 0,504 |
| 02/02/2022 | 21                             | 19                     | 2     | 0,261 | 0,567 | 0,909 | 1,008 |
| 03/02/2022 | 33                             | 25                     | 8     | 0,963 | 1,238 | 1,500 | 2,016 |
| 08/02/2022 | 30                             | 25                     | 5     | 0,351 | 0,335 | 0,295 | 0,504 |
| 09/02/2022 | 35                             | 28                     | 7     | 0,759 | 0,937 | 1,098 | 1,512 |
| 10/02/2022 | 43                             | 33                     | 10    | 1,371 | 1,840 | 2,303 | 3,024 |
| 11/02/2022 | 27                             | 21                     | 6     | 0,555 | 0,636 | 0,697 | 1,008 |
| 12/02/2022 | 34                             | 30                     | 4     | 0,147 | 0,034 | 0,106 | 0,000 |
| 13/02/2022 | 38                             | 25                     | 13    | 1,983 | 2,742 | 3,508 |       |

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                        | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ | $G_2$ | $G_3$ |
|------------|--------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:<br>16438 |       |       |       |       |       |
| 14/02/2022 | 15                             | 10                     | 5     | 0,351 | 0,335 | 0,295 | 0,504 |
| 16/02/2022 | 19                             | 15                     | 4     | 0,147 | 0,034 | 0,106 | 0,000 |
| 17/02/2022 | 30                             | 25                     | 5     | 0,351 | 0,335 | 0,295 | 0,504 |
| 18/02/2022 | 27                             | 20                     | 7     | 0,759 | 0,937 | 1,098 | 1,512 |
| 19/02/2022 | 16                             | 12                     | 4     | 0,147 | 0,034 | 0,106 | 0,000 |
| 20/02/2022 | 18                             | 15                     | 3     | 0,057 | 0,267 | 0,508 | 0,504 |
| 21/02/2022 | 30                             | 26                     | 4     | 0,147 | 0,034 | 0,106 | 0,000 |
| 22/02/2022 | 38                             | 32                     | 6     | 0,555 | 0,636 | 0,697 | 1,008 |
| 23/02/2022 | 33                             | 29                     | 4     | 0,147 | 0,034 | 0,106 | 0,000 |
| 24/02/2022 | 31                             | 27                     | 4     | 0,147 | 0,034 | 0,106 | 0,000 |
| 25/02/2022 | 19                             | 15                     | 4     | 0,147 | 0,034 | 0,106 | 0,000 |
| 26/02/2022 | 28                             | 27                     | 1     | 0,465 | 0,868 | 1,311 | 1,512 |
| 27/02/2022 | 20                             | 16                     | 4     | 0,147 | 0,034 | 0,106 | 0,000 |
| 28/02/2022 | 32                             | 30                     | 2     | 0,261 | 0,567 | 0,909 | 1,008 |
| 01/03/2022 | 42                             | 38                     | 4     | 0,147 | 0,034 | 0,106 | 0,000 |
| 05/03/2022 | 16                             | 12                     | 4     | 0,147 | 0,034 | 0,106 | 0,000 |
| 06/03/2022 | 15                             | 12                     | 3     | 0,057 | 0,267 | 0,508 | 0,504 |
| 07/03/2022 | 20                             | 17                     | 3     | 0,057 | 0,267 | 0,508 | 0,504 |
| 08/03/2022 | 16                             | 12                     | 4     | 0,147 | 0,034 | 0,106 | 0,000 |
| 09/03/2022 | 15                             | 13                     | 2     | 0,261 | 0,567 | 0,909 | 1,008 |
| 10/03/2022 | 11                             | 9                      | 2     | 0,261 | 0,567 | 0,909 | 1,008 |
| 11/03/2022 | 9                              | 7                      | 2     | 0,261 | 0,567 | 0,909 | 1,008 |
| 12/03/2022 | 11                             | 9                      | 2     | 0,261 | 0,567 | 0,909 | 1,008 |
| 13/03/2022 | 13                             | 11                     | 2     | 0,261 | 0,567 | 0,909 | 1,008 |
| 14/03/2022 | 13                             | 11                     | 2     | 0,261 | 0,567 | 0,909 | 1,008 |
| 15/03/2022 | 87                             | 105                    | -18   | 4,340 |       |       |       |
| 16/03/2022 | 53                             | 62                     | -9    | 2,504 | 3,877 |       |       |

Resultados

Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta

Tabla 37. Cálculo de P y S.

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Número de pares de datos | 36    |
| PROMEDIO D               | 3,278 |
| S DESVIACIÓN TÍPICA (D)  | 4,902 |
| G MAXIMO                 | 4,340 |

En la Figura 43 se representa la evolución de los pares de datos registrados, lo que facilita detectar la existencia de algún dato anómalo.

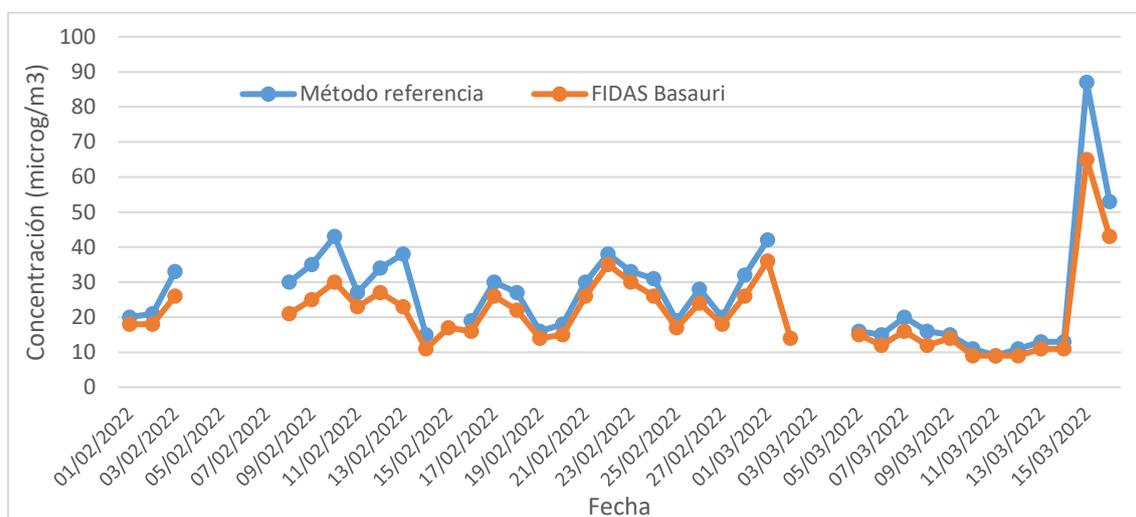


Figura 43. Gráfica registro de pares de datos PM10 FIDAS BASAURI y Captador de Referencia

El valor crítico de la variable Grubbs (**G crítica**) para un  $\alpha=0,01$  y una muestra de 40 pares de datos (en este se dispone de 50) es 3,3807, por lo que se descarta el par de datos correspondiente al 15 de marzo de 2022 (marcado en rojo en la Tabla 36), al ser su  $G_0$  (4,4340) mayor que la crítica. A continuación, se vuelve a calcular la G (**G<sub>1</sub>**) de los restantes pares de datos y se comprueba si algún valor es mayor que la G crítica, en este caso el 16 de marzo de 2022 su  $G_1$  (3,877) por lo que se descarta. De nuevo se vuelve a calcular la G (**G<sub>2</sub>**) datos y se comprueba si algún valor es mayor que la G crítica, en este caso el 13 de febrero de 2022 su  $G_2$  (3,508) por lo que se descarta. Finalmente se vuelve a calcular la G comprobando que todos los valores son menores que la G crítica, por lo que no se descartan más valores.

Por otra parte, en la fecha en cuestión (15 de marzo de 2022) toda la península sufrió un fuerte episodio de intrusión de polvo sahariano, por lo que se estima que las condiciones de medida fueron excepcionales y las mismas pueden distorsionar el cálculo del factor corrector.

## CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Tras el cálculo de la variable Grubbs se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la Tabla 37.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo VII

**Tabla 37.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b) y la ordenada (a). Estación: BASAURI PM10

| Parámetro                 | Resultado | Ecuación |
|---------------------------|-----------|----------|
| Sxx                       | 2898      | Eq 1.a   |
| Syy                       | 2276      | Eq 1.b   |
| Sxy                       | 2524      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                 | 23,6      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                 | 19,6      | Eq 1.d   |
| Pendiente (b)             | 0,884     | Eq 2     |
| Ordenada en el origen (a) | -1,266    | Eq 3     |
| $u_{(b)}$                 | 0,029     | Eq 4     |
| $u_{(a)}$                 | 0,748     | Eq 5     |

A partir de las incertidumbres calculadas (Tabla 37), se puede determinar que, en este caso:

- **La pendiente (b) difiere significativamente de 1:**  $|b-1| > 2u(b)$   
 $|b-1| > 2u(b) \rightarrow |0,884-1| > 2 \times 0,029 \rightarrow 0,116 > 0,058$
- **La ordenada en origen (a) NO difiere significativamente de 0:**  $|a| \leq 2u(a)$   
 $|a| \leq 2u(a) \rightarrow -1,266 \leq 2 \times 0,748 \rightarrow -1,266 \leq 1,496$

Por lo tanto, la función de corrección deberá ser corregida por pendiente, siendo esta:

$$y_{ical} = \frac{y_i}{b}$$

$$y_{ical} = \frac{y_i}{0,884}$$

$$y_{ical} = 1,131 y_i + 0$$

Los resultados de  $y_{ical}$  Se usan para calcular por regresión lineal ortogonal una nueva relación entre  $x_i$  e  $y_{ical}$  según las ecuaciones según las ecuaciones 1-6-7.

Los valores calculados de la pendiente (d) y la ordenada en el origen (c), así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de d y c según las ecuaciones 1-6-7, y se recogen en la Tabla 38.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la d y c,  $u(d)$  y  $u(c)$ , respectivamente, según las ecuaciones 8-9.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo VII

**Tabla 38.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (d), la ordenada (c), la incertidumbre de la pendiente  $u_{(d)}$  y la incertidumbre de la ordenada  $u_{(c)}$ . Estación: BASAURI PM10

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 2898      | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 2910      | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 2854      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}_i$                      | 23,6      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}_{ical}$                 | 22,2      | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (d)</b>             | 1,002     | Eq 6     |
| <b>Ordenada en el origen (c)</b> | -1,482    | Eq 7     |
| $u_{(d)}$                        | 0,033     | Eq 8     |
| $u_{(c)}$                        | 0,846     | Eq 9     |

$$y_{ical} = c + d x_i$$

$$y_{ical} = -1,482 + 1,002 x_i$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la **incertidumbre combinada**  $U_{CR}$ , la **incertidumbre típica relativa**  $\omega_{sam}$  y la **incertidumbre expandida**  $U_{sam}$ , para un número de pares de datos (n) de 33, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida L de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la normativa). Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 39.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo VII

**Tabla 39.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por el FIDAS PM10 en la estación Basauri

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 2,2       | Eq. 12   |
| $\omega_{sam}$      | 4,5%      | Eq. 14   |
| $U_{sam}$           | 9,0%      | Eq. 15   |

## EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $U_{sam}=9,0\% < 25\%$ , por lo que se considera que la función de corrección es válida y que el **FIDAS BASAURI (n/s: 16438) CUMPLE EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN para la medida de PM10.**

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = 1,131 y_i + 0$$

## 6.8. CAMPAÑA BASAURI PM2,5

Los pares de datos registrados por el método de referencia y el equipo FIDAS PM2,5 n/s: **16438** en la estación de Basauri se recogen en la Tabla 40.

### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

Tras la toma de datos, se realiza el Test de GRUBBS a los pares de datos para descartar los valores atípicos (outliers). Para ello, se calculan:

- Las diferencias ( $D_i$ ) entre los pares de datos
- La constante de Grubbs de cada par de datos ( $G$ )
- El promedio ( $P$ ) y la desviación típica de las diferencias ( $S$ )

Los resultados de  $D$  y  $G$  obtenidos se recogen en la Tabla 40, y los de  $P$  y  $S$  en la Tabla 41.

**Tabla 40.** Datos de concentración de PM 2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrados en la estación de BASAURI PM2,5, diferencias ( $D$ ) y cálculo de la constante de Grubbs ( $G$ ).

| FECHA      | PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |               | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ |
|------------|---------------------------------|---------------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia            | FIDAS<br>n/s: |       |       |       |
| 01/02/2022 | 8                               | 9             | -1    | 1,328 | 1,472 |
| 02/02/2022 | 13                              | 12            | 1     | 0,489 | 0,472 |
| 03/02/2022 | 19                              | 14            | 5     | 1,188 | 1,529 |
| 08/02/2022 | 21                              | 16            | 5     | 1,188 | 1,529 |
| 09/02/2022 | 17                              | 12            | 5     | 1,188 | 1,529 |
| 10/02/2022 | 23                              | 19            | 4     | 0,769 | 1,029 |
| 11/02/2022 | 17                              | 15            | 2     | 0,070 | 0,029 |
| 12/02/2022 | 21                              | 21            | 0     | 0,909 | 0,972 |

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |               | D <sub>i</sub> | G <sub>0</sub> | G <sub>1</sub> |
|------------|---------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
|            | Método de referencia            | FIDAS<br>n/s: |                |                |                |
| 13/02/2022 | 20                              | 13            | 7              | 2,027          | 2,530          |
| 14/02/2022 | 7                               | 6             | 1              | 0,489          | 0,472          |
| 16/02/2022 | 11                              | 7             | 4              | 0,769          | 1,029          |
| 17/02/2022 | 14                              | 13            | 1              | 0,489          | 0,472          |
| 18/02/2022 | 16                              | 11            | 5              | 1,188          | 1,529          |
| 19/02/2022 | 7                               | 6             | 1              | 0,489          | 0,472          |
| 20/02/2022 | 10                              | 10            | 0              | 0,909          | 0,972          |
| 21/02/2022 | 13                              | 15            | -2             | 1,747          | 1,972          |
| 22/02/2022 | 18                              | 15            | 3              | 0,349          | 0,529          |
| 23/02/2022 | 17                              | 14            | 3              | 0,349          | 0,529          |
| 24/02/2022 | 14                              | 13            | 1              | 0,489          | 0,472          |
| 25/02/2022 | 8                               | 8             | 0              | 0,909          | 0,972          |
| 26/02/2022 | 16                              | 13            | 3              | 0,349          | 0,529          |
| 27/02/2022 | 10                              | 8             | 2              | 0,070          | 0,029          |
| 28/02/2022 | 16                              | 15            | 1              | 0,489          | 0,472          |
| 01/03/2022 | 23                              | 20            | 3              | 0,349          | 0,529          |
| 05/03/2022 | 9                               | 8             | 1              | 0,489          | 0,472          |
| 06/03/2022 | 9                               | 8             | 1              | 0,489          | 0,472          |
| 07/03/2022 | 14                              | 13            | 1              | 0,489          | 0,472          |
| 08/03/2022 | 8                               | 6             | 2              | 0,070          | 0,029          |
| 09/03/2022 | 8                               | 6             | 2              | 0,070          | 0,029          |
| 10/03/2022 | 6                               | 5             | 1              | 0,489          | 0,472          |
| 11/03/2022 | 5                               | 4             | 1              | 0,489          | 0,472          |

Resultados

Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta

| FECHA      | PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |               | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ |
|------------|---------------------------------|---------------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia            | FIDAS<br>n/s: |       |       |       |
| 12/03/2022 | 6                               | 5             | 1     | 0,489 | 0,472 |
| 13/03/2022 | 7                               | 6             | 1     | 0,489 | 0,472 |
| 14/03/2022 | 9                               | 5             | 4     | 0,769 | 1,029 |
| 15/03/2022 | 38                              | 28            | 10    | 3,285 |       |
| 16/03/2022 | 19                              | 20            | -1    | 1,328 | 1,472 |

Tabla 41. Cálculo de P y S.

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Número de pares de datos | 36    |
| P PROMEDIO D             | 2,167 |
| S DESVIACIÓN TÍPICA      | 2,384 |
| G MAXIMO                 | 2,027 |

En la **Figura 44** se representa la evolución de los pares de datos registrados, lo que facilita detectar la existencia de algún dato anómalo.

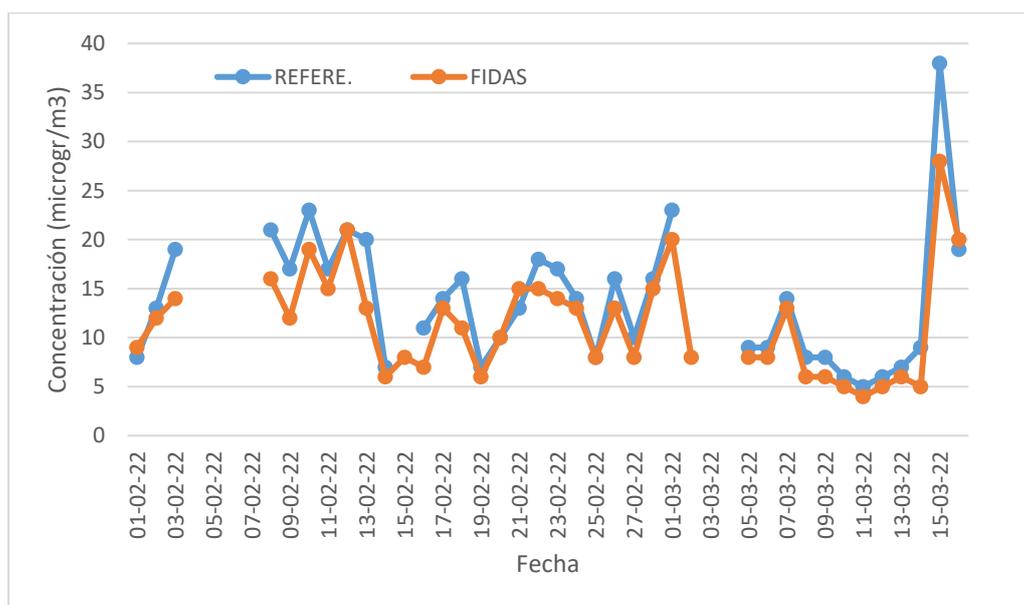


Figura 44. Gráfica registro de pares de datos PM2,5 FIDAS BASAURI y Captador de Referencia

El valor crítico de la variable Grubbs (**G crítica**) para un  $\alpha=0,01$  y una muestra de 30 pares de datos (en este se dispone de 36) es 3,2361, por lo que se descarta el par de datos correspondiente al 15 de marzo de 2022 (marcado en rojo en la Tabla 40), al ser su G (3,285) mayor que la crítica. A continuación, se vuelve a calcular la G comprobándose que ningún valor excede la G crítica.

Por otra parte, en la fecha en cuestión (15 de marzo de 2022) toda la península sufrió un fuerte episodio de intrusión de polvo sahariano, por lo que se estima que las condiciones de medida fueron excepcionales y las mismas pueden distorsionar el cálculo del factor corrector.

### CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Tras el cálculo de la variable Grubbs se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-2-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la Tabla 42.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo VIII

**Tabla 42.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b), la ordenada (a), la incertidumbre de la pendiente  $u(b)$  y la incertidumbre de la ordenada  $u(a)$ . Estación: Basauri PM2,5

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 1148      | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 793       | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 824       | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                        | 11,0      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                        | 11,2      | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (b)</b>             | 0,808     | Eq 2     |
| <b>Ordenada en el origen (a)</b> | 2,288     | Eq 3     |
| $u(b)$                           | 0,073     | Eq 4     |
| $u(a)$                           | 1,031     | Eq 5     |

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

A partir de las incertidumbres calculadas (Tabla 42), se puede determinar que, en este caso:

- **La pendiente (b) difiere significativamente de 1:  $|b-1| > 2u(b)$**   
 $|b-1| > 2u(b) \rightarrow |0,808-1| > 2 \times 0,073 \rightarrow 0,192 > 0,146$
- **La ordenada en origen (a) difiere significativamente de 0:  $|a| > 2u(a)$**   
 $|a| > 2u(a) \rightarrow |2,288| > 2 \times 1,031 \rightarrow 2,288 > 2,062$

Por lo tanto, la función de corrección deberá ser corregida en pendiente y ordenada, siendo esta:

$$y_{ical} = \frac{y_i - a}{b} = \frac{y_i}{b} - \frac{a}{b}$$

Los resultados de  $y_{ical}$  Se usan para calcular por regresión lineal ortogonal una nueva relación entre  $x_i$  e  $y_{ical}$  según las ecuaciones 1-6-7.

Los valores calculados de la pendiente (d) y la ordenada en el origen (c), así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de d y c, se recogen en la Tabla 43.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la d y c,  $u(d)$  y  $u(c)$ , respectivamente según las ecuaciones 8-9.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo VII

**Tabla 43.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (d), la ordenada (c), la incertidumbre de la pendiente  $u(d)$  y la incertidumbre de la ordenada  $u(c)$ . Estación: DURANGO PM10.

| Parámetro                 | Resultado | Ecuación |
|---------------------------|-----------|----------|
| Sxx                       | 992       | Eq 1.a   |
| Syy                       | 1216      | Eq 1.b   |
| Sxy                       | 1021      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}_i$               | 13,1      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}_{ical}$          | 11,0      | Eq 1.d   |
| Pendiente (d)             | 1,116     | Eq 6     |
| Ordenada en el origen (c) | -3,634    | Eq 7     |
| $u(d)$                    | 0,071     | Eq 8     |
| $u(c)$                    | 1,005     | Eq 9     |

$$y_{ical} = c + d x_i$$

$$y_{ical} = -3,634 + 1,116x_i$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la **incertidumbre combinada**  $U_{CR}$ , la **incertidumbre típica relativa**  $\omega_{sam}$  y la **incertidumbre expandida**  $W_{sam}$ , para un número de pares de datos (n) de 35, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida L de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la normativa). Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 44.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo VIII

**Tabla 44.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por el FIDAS PM2,5 en la estación Basauri

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 3,0       | Eq. 13   |
| $\omega_{sam}$      | 9,9%      | Eq. 14   |
| $W_{sam}$           | 19,8%     | Eq. 15   |

## EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $W_{sam}=19,8\%<25\%$ , por lo que se considera el **FIDAS BASAURI (n/s: 16438) CUMPLE CON EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN** para la medida de PM2,5 al ser su incertidumbre de medida mayor del 25%.

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = 1,238 y_i - 2,833$$

## 6.9. CAMPAÑA DURANGO PM10

Los pares de datos registrados por el método de referencia y el equipo FIDAS PM10 n/s:16439 en la estación de DURANGO se recogen en la Tabla 45.

### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

Tras la toma de datos, se realiza el Test de GRUBBS a los pares de datos para descartar los valores atípicos (outliers). Para ello, se calculan:

- Las diferencias ( $D_i$ ) entre los pares de datos
- La constante de Grubbs de cada par de datos ( $G$ )
- El promedio ( $P$ ) y la desviación típica de las diferencias ( $S$ )

Los resultados de  $D$  y  $G$  obtenidos se recogen en la Tabla 45, y los de  $P$  y  $S$  en la Tabla 46.

**Tabla 45.** Datos de concentración de PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrados en la estación de DURANGO PM10, diferencias ( $D$ ) y cálculo de la constante de Grubbs ( $G$ ).

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ |
|------------|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:16439 |       |       |       |
| 11/02/2022 | 28                             | 24                 | 4     | 0,293 | 0,333 |
| 12/02/2022 | 22                             | 20                 | 2     | 0,480 | 0,179 |
| 13/02/2022 | 22                             | 22                 | 0     | 1,253 | 0,691 |
| 15/02/2022 | 18                             | 13                 | 5     | 0,680 | 0,589 |
| 16/02/2022 | 22                             | 16                 | 6     | 1,067 | 0,845 |
| 18/02/2022 | 29                             | 25                 | 4     | 0,293 | 0,333 |
| 19/02/2022 | 14                             | 10                 | 4     | 0,293 | 0,333 |

Resultados

Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta

| FECHA      | PM 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                    | D <sub>i</sub> | G <sub>0</sub> | G <sub>1</sub> |
|------------|--------------------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
|            | Método de referencia           | FIDAS<br>n/s:16439 |                |                |                |
| 20/02/2022 | 14                             | 11                 | 3              | 0,093          | 0,077          |
| 21/02/2022 | 30                             | 24                 | 6              | 1,067          | 0,845          |
| 22/02/2022 | 30                             | 23                 | 7              | 1,453          | 1,101          |
| 23/02/2022 | 28                             | 21                 | 7              | 1,453          | 1,101          |
| 24/02/2022 | 37                             | 27                 | 10             | 2,613          | 1,869          |
| 26/02/2022 | 18                             | 14                 | 4              | 0,293          | 0,333          |
| 27/02/2022 | 12                             | 9                  | 3              | 0,093          | 0,077          |
| 28/02/2022 | 26                             | 21                 | 5              | 0,680          | 0,589          |
| 01/03/2022 | 38                             | 32                 | 6              | 1,067          | 0,845          |
| 02/03/2022 | 18                             | 15                 | 3              | 0,093          | 0,077          |
| 03/03/2022 | 17                             | 16                 | 1              | 0,867          | 0,435          |
| 04/03/2022 | 18                             | 15                 | 3              | 0,093          | 0,077          |
| 05/03/2022 | 14                             | 12                 | 2              | 0,480          | 0,179          |
| 06/03/2022 | 16                             | 13                 | 3              | 0,093          | 0,077          |
| 07/03/2022 | 16                             | 14                 | 2              | 0,480          | 0,179          |
| 12/03/2022 | 6                              | 4                  | 2              | 0,480          | 0,179          |
| 13/03/2022 | 7                              | 6                  | 1              | 0,867          | 0,435          |
| 14/03/2022 | 11                             | 10                 | 1              | 0,867          | 0,435          |
| 17/03/2022 | 19                             | 17                 | 2              | 0,480          | 0,179          |
| 18/03/2022 | 27                             | 27                 | 0              | 1,253          | 0,691          |
| 26/03/2022 | 20                             | 20                 | 0              | 1,253          | 0,691          |
| 27/03/2022 | 27                             | 29                 | -2             | 2,026          | 1,203          |
| 28/03/2022 | 62                             | 75                 | -13            | 4,020          |                |

Tabla 46. Cálculo de P y S.

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| <b>Número de pares de datos</b> | 30           |
| <b>P PROMEDIO D</b>             | 2,7          |
| <b>S DESVIACIÓN TÍPICA</b>      | 3,90         |
| <b>G MAXIMO</b>                 | <b>4,020</b> |

En la **Figura 45** se representa la evolución de los pares de datos registrados, lo que facilita detectar la existencia de algún dato anómalo.

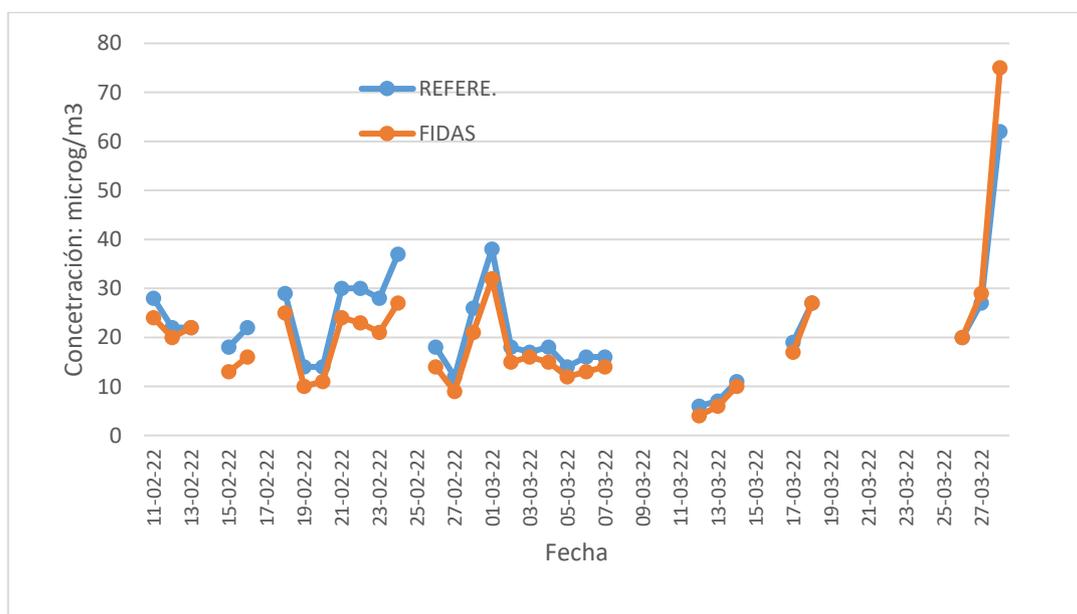


Figura 45. Gráfica registro de pares de datos PM10 FIDAS DURANGO y Captador de Referencia

El valor crítico de la variable Grubbs (**G crítica**) para un  $\alpha=0,01$  y una muestra de 30 pares de datos (en este se dispone de 30) es 3,2361, por lo que se descarta el par de datos correspondiente al 28 de marzo de 2022 (marcado en rojo en la Tabla 45), al ser su G (4,020) mayor que la crítica. A continuación, se vuelve a calcular la G comprobándose que ningún valor excede la G crítica.

## CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Tras el cálculo de la variable Grubbs se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-2-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la Tabla 47.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo IX

**Tabla 47.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b), la ordenada (a), la incertidumbre de la pendiente  $u(b)$  y la incertidumbre de la ordenada  $u(a)$ . Estación: Durango PM10

| Parámetro                 | Resultado | Ecuación |
|---------------------------|-----------|----------|
| Sxx                       | 1824      | Eq 1.a   |
| Syy                       | 1405      | Eq 1.b   |
| Sxy                       | 1521      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                 | 20,8      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                 | 17,6      | Eq 1.d   |
| Pendiente (b)             | 0,872     | Eq 2     |
| Ordenada en el origen (a) | -0,569    | Eq 3     |
| $u(b)$                    | 0,053     | Eq 4     |
| $u(a)$                    | 1,175     | Eq 5     |

A partir de las incertidumbres calculadas (Tabla 47), se puede determinar que, en este caso:

- **La pendiente (b) difiere significativamente de 1:**  $|b-1| > 2u(b)$   
 $|b-1| > 2u(b) \rightarrow |0,872-1| > 2(0,053) \rightarrow 0,128 > 0,106$
- **La ordenada en origen (a) NO difiere significativamente de 0:**  $|a| \leq 2u(a)$   
 $|a| \leq 2u(a) \rightarrow 0,365 \leq 2 \times 0,735 \rightarrow 0,365 \leq 1,460$

Por lo tanto, la función de corrección deberá ser corregida por pendiente, siendo esta:

$$y_{ical} = \frac{y_i}{b}$$

$$y_{ical} = \frac{y_i}{0,872}$$

$$y_{ical} = 1,147 y_i$$

Los resultados de  $y_{ical}$  Se usan para calcular por regresión lineal ortogonal una nueva relación entre  $x_i$  e  $y_{ical}$  según las ecuaciones 1-6-7.

Los valores calculados de la pendiente (d) y la ordenada en el origen (c), así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de d y c, según las ecuaciones 1-6-7, se recogen en la Tabla 48.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la d y c,  $u(d)$  y  $u(c)$ , respectivamente, según las ecuaciones 8-9.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo VII

**Tabla 48.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (d), la ordenada (c), la incertidumbre de la pendiente  $u_{(d)}$  y la incertidumbre de la ordenada  $u_{(c)}$ . Estación: DURANGO PM10.

| Parámetro                 | Resultado | Ecuación |
|---------------------------|-----------|----------|
| Sxx                       | 1824      | Eq 1.a   |
| Syy                       | 1849      | Eq 1.b   |
| Sxy                       | 1745      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}_i$               | 20,8      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}_{ical}$          | 20,2      | Eq 1.d   |
| Pendiente (d)             | 1,007     | Eq 6     |
| Ordenada en el origen (c) | -0,802    | Eq 7     |
| $u_{(d)}$                 | 0,060     | Eq 8     |
| $u_{(c)}$                 | 1,348     | Eq 9     |

$$y_{ical} = c + d x_i$$

$$y_{ical} = -0,802 + 1,007x_i$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la **incertidumbre combinada**  $U_{CR}$ , la **incertidumbre típica relativa**  $\omega_{sam}$  y la **incertidumbre expandida**  $W_{sam}$ , para un número de pares de datos (n) de 29, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida L de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la normativa). Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 49.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo IX

**Tabla 49.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por el FIDAS PM10 en la estación DURANGO

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 3,4       | Eq. 12   |
| $\omega_{sam}$      | 6,9%      | Eq. 14   |
| $W_{sam}$           | 13,7%     | Eq. 15   |

## EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $W_{sam}=13,7\% < 25\%$ , por lo que se considera que la función de corrección es válida y que el **FIDAS DURANGO (n/s: 16439) CUMPLE EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN** para la medida de **PM10**.

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = 1,147 y_i$$

## 6.10. CAMPAÑA DURANGO PM<sub>2,5</sub>

Los pares de datos registrados por el método de referencia y el equipo FIDAS PM<sub>2,5</sub> n/s: **16439** en la estación de DURANGO se recogen en la Tabla 50.

### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

Tras la toma de datos, se realiza el Test de GRUBBS a los pares de datos para descartar los valores atípicos (outliers). Para ello, se calculan:

- Las diferencias ( $D_i$ ) entre los pares de datos
- La constante de Grubbs de cada par de datos ( $G$ )
- El promedio ( $P$ ) y la desviación típica de las diferencias ( $S$ )

Los resultados de  $D$  y  $G$  obtenidos se recogen en la Tabla 40, y los de  $P$  y  $S$  en la Tabla 41.

**Tabla 50.** Datos de concentración de PM 2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrados en la estación de DURANGO PM<sub>2,5</sub>, diferencias ( $D$ ) y cálculo de la constante de Grubbs ( $G$ ).

| FECHA      | PM 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |               | $D_i$ | $G_0$ | $G_1$ |
|------------|---------------------------------|---------------|-------|-------|-------|
|            | Método de referencia            | FIDAS<br>n/s: |       |       |       |
| 11/02/2022 | 19                              | 17            | 2     | 0,310 | 0,271 |
| 12/02/2022 | 15                              | 13            | 2     | 0,310 | 0,271 |
| 13/02/2022 | 15                              | 13            | 2     | 0,310 | 0,271 |
| 14/02/2022 | 7                               | 5             | 2     | 0,310 | 0,271 |
| 15/02/2022 | 10                              | 7             | 3     | 0,179 | 0,367 |
| 16/02/2022 | 13                              | 9             | 4     | 0,667 | 1,005 |
| 17/02/2022 | 16                              | 14            | 2     | 0,310 | 0,271 |
| 18/02/2022 | 18                              | 15            | 3     | 0,179 | 0,367 |

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 2,5 µg/m <sup>3</sup> |               | D <sub>i</sub> | G <sub>0</sub> | G <sub>1</sub> |
|------------|--------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
|            | Método de referencia     | FIDAS<br>n/s: |                |                |                |
| 19/02/2022 | 8                        | 6             | 2              | 0,310          | 0,271          |
| 20/02/2022 | 11                       | 8             | 3              | 0,179          | 0,367          |
| 21/02/2022 | 15                       | 15            | 0              | 1,287          | 1,547          |
| 22/02/2022 | 16                       | 13            | 3              | 0,179          | 0,367          |
| 23/02/2022 | 17                       | 11            | 6              | 1,645          | 2,281          |
| 24/02/2022 | 20                       | 15            | 5              | 1,156          | 1,643          |
| 26/02/2022 | 10                       | 7             | 3              | 0,179          | 0,367          |
| 27/02/2022 | 8                        | 5             | 3              | 0,179          | 0,367          |
| 28/02/2022 | 15                       | 11            | 4              | 0,667          | 1,005          |
| 01/03/2022 | 22                       | 18            | 4              | 0,667          | 1,005          |
| 02/03/2022 | 12                       | 10            | 2              | 0,310          | 0,271          |
| 03/03/2022 | 12                       | 10            | 2              | 0,310          | 0,271          |
| 04/03/2022 | 10                       | 8             | 2              | 0,310          | 0,271          |
| 05/03/2022 | 11                       | 9             | 2              | 0,310          | 0,271          |
| 06/03/2022 | 13                       | 10            | 3              | 0,179          | 0,367          |
| 07/03/2022 | 12                       | 11            | 1              | 0,799          | 0,909          |
| 08/03/2022 | 8                        | 5             | 3              | 0,179          | 0,367          |
| 09/03/2022 | 7                        | 5             | 2              | 0,310          | 0,271          |
| 10/03/2022 | 8                        | 7             | 1              | 0,799          | 0,909          |
| 12/03/2022 | 4                        | 3             | 1              | 0,799          | 0,909          |
| 13/03/2022 | 4                        | 4             | 0              | 1,287          | 1,547          |

**Resultados**

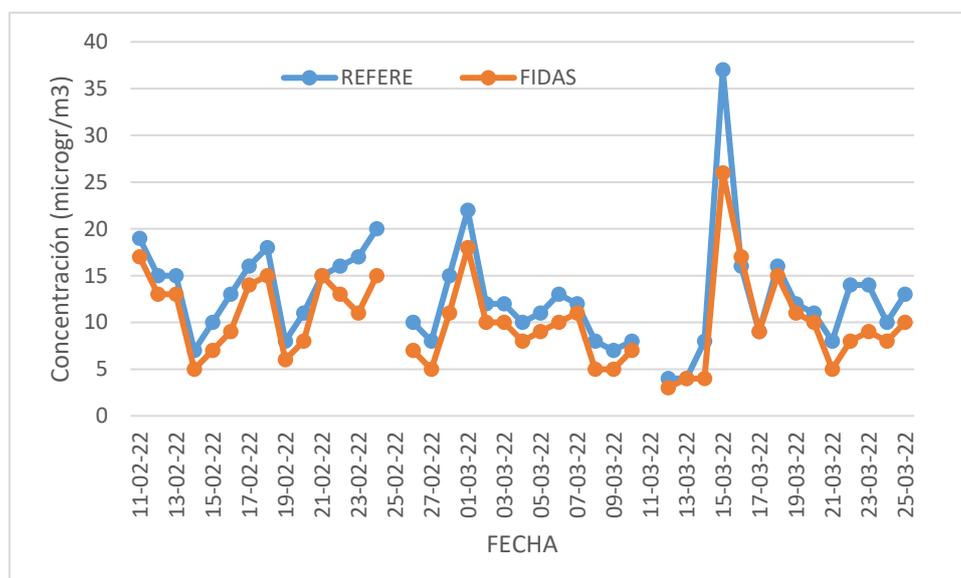
**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

| FECHA      | PM 2,5 µg/m <sup>3</sup> |               | D <sub>i</sub> | G <sub>0</sub> | G <sub>1</sub> |
|------------|--------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
|            | Método de referencia     | FIDAS<br>n/s: |                |                |                |
| 14/03/2022 | 8                        | 4             | 4              | 0,667          | 1,005          |
| 15/03/2022 | 37                       | 26            | 11             | 4,088          |                |
| 16/03/2022 | 16                       | 17            | -1             | 1,776          | 2,186          |
| 17/03/2022 | 9                        | 9             | 0              | 1,287          | 1,547          |
| 18/03/2022 | 16                       | 15            | 1              | 0,799          | 0,909          |
| 19/03/2022 | 12                       | 11            | 1              | 0,799          | 0,909          |
| 20/03/2022 | 11                       | 10            | 1              | 0,799          | 0,909          |
| 21/03/2022 | 8                        | 5             | 3              | 0,179          | 0,367          |
| 22/03/2022 | 14                       | 8             | 6              | 1,645          | 2,281          |
| 23/03/2022 | 14                       | 9             | 5              | 1,156          | 1,643          |
| 24/03/2022 | 10                       | 8             | 2              | 0,310          | 0,271          |
| 25/03/2022 | 13                       | 10            | 3              | 0,179          | 0,367          |

**Tabla 51.** Cálculo de P y S.

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b>Número de pares de datos</b> | 41    |
| <b>P PROMEDIO D</b>             | 2,63  |
| <b>S DESVIACIÓN TÍPICA</b>      | 2,05  |
| <b>G MAXIMO</b>                 | 4,088 |

En la **Figura 46** se representa la evolución de los pares de datos registrados, lo que facilita detectar la existencia de algún dato anómalo.



**Figura 46.** Gráfica registro de pares de datos PM<sub>2,5</sub> FIDAS DURANGO y Captador de Referencia

El valor crítico de la variable Grubbs (**G crítica**) para un  $\alpha=0,01$  y una muestra de 40 pares de datos (en este se dispone de 41) es 3,3807, por lo que se descarta el par de datos correspondiente al 15 de marzo de 2022 (marcado en rojo en la Tabla 50), al ser su G (4,088) mayor que la crítica. A continuación, se vuelve a calcular la G comprobándose que ningún valor excede la G crítica.

Por otra parte, en la fecha en cuestión (15 de marzo de 2022) toda la península sufrió un fuerte episodio de intrusión de polvo sahariano, por lo que se estima que las condiciones de medida fueron excepcionales y las mismas pueden distorsionar el cálculo del factor corrector.

### CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Tras el cálculo de la variable Grubbs se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-2-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la Tabla 52.

**Resultados**

**Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta**

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo X

**Tabla 52.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b), la ordenada (a), la incertidumbre de la pendiente  $u(b)$  y la incertidumbre de la ordenada  $u(a)$ . Estación: Durango PM2,5

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 686       | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 616       | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 603       | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                        | 12,2      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                        | 9,8       | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (b)</b>             | 0,943     | Eq 2     |
| <b>Ordenada en el origen (a)</b> | -1,736    | Eq 3     |
| $u(b)$                           | 0,057     | Eq 4     |
| $u(a)$                           | 0,738     | Eq 5     |

A partir de las incertidumbres calculadas (Tabla 52), se puede determinar que, en este caso:

- **La pendiente (b) NO difiere significativamente de 1:  $|b-1| \leq 2u(b)$**   
 $|b-1| \leq 2u(b) \rightarrow |0,943-1| \leq 2 \times 0,057 \rightarrow 0,057 \leq 0,114$
- **La ordenada en origen (a) difiere significativamente de 0:  $|a| > 2u(a)$**   
 $|a| > 2u(a) \rightarrow 1,736 > 2 \times 0,738 \rightarrow 1,736 > 1,476$

Por lo tanto, la función de corrección deberá ser corregida por ordenada, siendo esta:

$$y_{ical} = y_i - a$$

$$y_{ical} = y_i + 1,736$$

Los resultados de  $y_{ical}$  Se usan para calcular por regresión lineal ortogonal una nueva relación entre  $x_i$  e  $y_{ical}$ , según las ecuaciones 1-6-7.

Los valores calculados de la pendiente (d) y la ordenada en el origen (c), así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de d y c, según las ecuaciones 1-6-7, se recogen en la Tabla 53.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la d y c,  $u(d)$  y  $u(c)$ , respectivamente, según las ecuaciones 8-9.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo X

**Tabla 53.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (d), la ordenada (c), la incertidumbre de la pendiente  $u_{(d)}$  y la incertidumbre de la ordenada  $u_{(c)}$ . Estación: DURANGO PM2,5.

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 686       | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 616       | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 603       | Eq 1.c   |
| $\bar{x}_i$                      | 12,2      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}_{ical}$                 | 11,5      | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (d)</b>             | 0,943     | Eq 6     |
| <b>Ordenada en el origen (c)</b> | 0,000     | Eq 7     |
| $u_{(d)}$                        | 0,057     | Eq 8     |
| $u_{(c)}$                        | 0,738     | Eq 9     |

$$y_{ical} = c + d x_i$$

$$y_{ical} = 0,000 + 0,943 x_i$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la **incertidumbre combinada**  $U_{CR}$ , la **incertidumbre típica relativa**  $\omega_{sam}$  y la **incertidumbre expandida**  $U_{sam}$ , para un número de pares de datos (n) de 30, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida L de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la normativa). Los resultados obtenidos se recogen en la **Tabla 54**.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo X

**Tabla 54.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por el FIDAS PM2,5 en la estación Durango

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 1,9       | Eq. 11   |
| $\omega_{sam}$      | 6,2       | Eq. 14   |
| $U_{sam}$           | 12,5      | Eq. 15   |

## EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $U_{sam}=12,5\%<25\%$ , por lo que se considera que la función de corrección es válida y que el **FIDAS DURANGO (n/s: 16439) CUMPLE EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN** para la medida de **PM2,5**.

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = y_i + 1,736$$

## 6.11. CAMPAÑA GLOBAL PM10

Se ha realizado el estudio estadístico de todos los pares de datos de PM10 registrados por los cinco equipos FIDAS con objeto de calcular un factor corrector genérico de este tipo de analizador y su incertidumbre asociada.

### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

En este caso no es necesario realizar el test de Grubbs del conjunto de datos, ya que emplearemos los datos de cada campaña una vez realizado el test de Grubbs en cada campaña.

### CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-2-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la Tabla 55.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo IX

**Tabla 55.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b), la ordenada (a), la incertidumbre de la pendiente  $u(b)$  y la incertidumbre de la ordenada  $u(a)$ . Estación: Durango PM10

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 17103     | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 16613     | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 16230     | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                        | 21,5      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                        | 19,8      | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (b)</b>             | 0,985     | Eq 2     |
| <b>Ordenada en el origen (a)</b> | -1,364    | Eq 3     |
| $u(b)$                           | 0,020     | Eq 4     |
| $u(a)$                           | 0,459     | Eq 5     |

A partir de las incertidumbres calculadas (Tabla 55), se puede determinar que, en este caso:

- **La pendiente (b) difiere NO significativamente de 1:**  $|b-1| > 2u(b)$   
 $|b-1| \leq 2u(b) \rightarrow |0,985-1| \leq 2 \times 0,053 \rightarrow 0,015 \leq 0,106$
- **La ordenada en origen (a) difiere significativamente de 0:**  $|a| > 2u(a)$   
 $|a| > 2u(a) \rightarrow 1,364 > 2 \times 0,459 \rightarrow 1,364 > 0,918$

Por lo tanto, la función de corrección deberá ser corregida por ordenada, siendo esta:

$$y_{ical} = y_i - a$$

$$y_{ical} = y_i + 1,364$$

Los resultados de  $y_{ical}$  Se usan para calcular por regresión lineal ortogonal una nueva relación entre  $x_i$  e  $y_{ical}$ , según las ecuaciones 1-6-7.

Los valores calculados de la pendiente (d) y la ordenada en el origen (c), así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de d y c, según las ecuaciones 1-6-7, se recogen en la Tabla 56.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la d y c,  $u(d)$  y  $u(c)$ , respectivamente, según las ecuaciones 8-9.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo VII

**Tabla 56.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (d), la ordenada (c), la incertidumbre de la pendiente  $u_{(d)}$  y la incertidumbre de la ordenada  $u_{(c)}$ . Estación: DURANGO PM10.

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 17103     | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 16613     | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 16203     | Eq 1.c   |
| $\bar{x}_i$                      | 21,5      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}_{ical}$                 | 21,2      | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (d)</b>             | 0,985     | Eq 7     |
| <b>Ordenada en el origen (c)</b> | 0,000     | Eq 8     |
| $u_{(d)}$                        | 0,020     | Eq 9     |
| $u_{(c)}$                        | 0,459     | Eq 10    |

$$y_{ical} = c + d x_i$$

$$y_{ical} = 0,000 + 0,985x_i$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la **incertidumbre combinada**  $U_{CR}$ , la **incertidumbre típica relativa**  $\omega_{sam}$  y la **incertidumbre expandida**  $U_{sam}$ , para un número de pares de datos (n) de 195, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida L de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la normativa). Los resultados obtenidos se recogen en la **Tabla 57**.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo IX

**Tabla 57.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por los cinco FIDAS200 PM10

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 2,3       | Eq. 11   |
| $\omega_{sam}$      | 4,6%      | Eq. 14   |
| $U_{sam}$           | 9,1%      | Eq. 15   |

## EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $U_{sam}=9,1\% < 25\%$ , por lo que se considera que la función de corrección es válida y que el conjunto de los **FIDAS y CUMPLE EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN** para la medida de **PM10**.

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = 1,000 y_i + 1,364$$

## 6.12. CAMPAÑA GLOBAL PM2,5

Se ha realizado el estudio estadístico de todos los pares de datos de PM2,5 registrados por los cinco equipos FIDAS con objeto de calcular un factor corrector genérico de este tipo de analizador y su incertidumbre asociada.

### APLICACIÓN DEL TEST DE GRUBBS

En este caso no es necesario realizar el test de Grubbs del conjunto de datos, ya que emplearemos los datos de cada campaña una vez realizado el test de Grubbs en cada campaña.

### CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

Se ha procedido al cálculo de la función de corrección, según las ecuaciones 1-2-3.

Los valores calculados de la pendiente (b) y de la ordenada en el origen (a) así como los resultados de los parámetros necesarios para el cálculo de a y b, se recogen en la **Tabla 58**.

Asimismo, se muestran los valores obtenidos del cálculo de las incertidumbres de la b y a:  $u(b)$  y  $u(a)$ , respectivamente.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo IX

**Tabla 58.** Resultados de los cálculos realizados para la obtención de la pendiente (b), la ordenada (a), la incertidumbre de la pendiente  $u(b)$  y la incertidumbre de la ordenada  $u(a)$ . Estación: Durango PM10

| Parámetro                        | Resultado | Ecuación |
|----------------------------------|-----------|----------|
| <b>Sxx</b>                       | 7233      | Eq 1.a   |
| <b>Syy</b>                       | 6882      | Eq 1.b   |
| <b>Sxy</b>                       | 6551      | Eq 1.c   |
| $\bar{x}$                        | 12,3      | Eq 1.d   |
| $\bar{y}$                        | 11,4      | Eq 1.d   |
| <b>Pendiente (b)</b>             | 0,974     | Eq 2     |
| <b>Ordenada en el origen (a)</b> | -0,622    | Eq 3     |
| $u(b)$                           | 0,025     | Eq 4     |
| $u(a)$                           | 0,342     | Eq 5     |

A partir de las incertidumbres calculadas (Tabla 58), se puede determinar que, en este caso:

- La pendiente (b) NO difiere significativamente de 1:  $|b-1| \leq 2u(b)$   
 $|b-1| \leq 2u(b) \rightarrow |0,974-1| \leq 2 \times 0,025 \rightarrow 0,026 \leq 0,050$
- La ordenada en origen (a) NO difiere significativamente de 0:  $|a| > 2u(a)$   
 $|a| \leq 2u(a) \rightarrow 0,622 \leq 2 \times 0,342 \rightarrow 0,622 \leq 0,684$

Por lo tanto, la función de corrección NO deberá ser corregida por ordenada, siendo esta:

$$y_{ical} = y_i$$

### CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

Se han calculado la incertidumbre combinada  $u_{CR}$ , la incertidumbre típica relativa  $\omega_{sam}$  y la incertidumbre expandida  $U_{sam}$ , para un número de pares de datos (n) de 211, una incertidumbre del método de referencia de 1,50 y un valor límite de la medida L de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (establecido en la normativa). Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 59.

La tabla con los datos y los cálculos realizados se recogen en el Anexo X

Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por el FIDAS PM2,5 en la estación Durango

**Tabla 59.** Incertidumbre, incertidumbre típica relativa e incertidumbre expandida de los datos registrados por los cinco FIDAS200 PM2,5

| Parámetro           | Resultado | Ecuación |
|---------------------|-----------|----------|
| $u_{CR}(y_{i,cal})$ | 2,1       | Eq. 10   |
| $\omega_{sam}$      | 7,0 %     | Eq. 14   |
| $U_{sam}$           | 14,1 %    | Eq. 15   |

### EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este caso  $U_{sam}=14,1 \% < 25 \%$ , por lo que se considera que la función de corrección es válida y que los FIDAS CUMPLE EL CRITERIO DE ACEPTACIÓN para la medida de PM2,5.

La función de corrección de los valores registrados es:

$$y_{ical} = y_i$$

## 7. CONCLUSIONES

Una vez realizado el trabajo se puede concluir que se ha conseguido realizar la intercomparación con el método de referencia en el periodo objetivo (campaña de invierno) 2022 en los cinco equipos FIDAS cumpliendo el número mínimo de medidas.

**Los ensayos iniciales de conformidad de los equipos han sido favorables en todos los equipos:**

- EASO PM10:  $U_{sam}=8,4 \% < 25 \%$
- EASO PM2,5:  $U_{sam}=11,8 \% < 25 \%$
- HERNANI PM10:  $U_{sam}=14,1 \% < 25 \%$
- HERNANI PM2,5:  $U_{sam}=11,6 \% < 25 \%$
- MAZARREDO PM10:  $U_{sam}=5,7 \% < 25 \%$ ,
- MAZARREDO PM2,5:  $U_{sam}=8,9 \% < 25 \%$
- BASAURI PM10:  $U_{sam}=9,0 \% < 25 \%$
- BASAURI PM2,5:  $U_{sam}=19,8 \% > 25 \%$
- DURANGO PM10:  $U_{sam}=13,7 \% < 25 \%$ ,
- DURANGO PM2,5:  $U_{sam}=12,5 \% < 25 \%$

**Se han obtenido las ecuaciones de ajuste de los cinco equipos FIDAS siendo las siguientes:**

- EASO PM10:  $y_{ical} = 1,000 y_i + 0$
- EASO PM2,5:  $y_{ical} = 1,000 y_i + 0$
- HERNANI PM10:  $y_{ical} = 1,000 y_i + 1,642$
- HERNANI PM2,5:  $y_{ical} = 1,000 y_i + 0$
- MAZARREDO PM10:  $y_{ical} = 1,000 y_i + 0$
- MAZARREDO PM2,5:  $y_{ical} = 1,000 y_i + 0$
- BASAURI PM10:  $y_{ical} = 1,131 y_i + 0$
- BASAURI PM2,5:  $y_{ical} = 1,238 y_i - 2,833$
- DURANGO PM10:  $y_{ical} = 1,147 y_i + 0$
- DURANGO PM2,5:  $y_{ical} = y_i + 1,736$

**Se han obtenido las ecuaciones de ajuste genéricas de los equipos FIDAS en base al conjunto de pares de datos que pueden ser adoptadas transitoriamente en aquellos equipos a los que aún no se les hay realizado la intercomparación:**

- FIDAS PM10:  $U_{sam}=9,1 \% < 25 \%$ ,  
 $y_{ical} = 1,000 y_i + 1,364$
- FIDAS PM2,5:  $U_{sam}=14,1 \% < 25 \%$ ,  
 $y_{ical} = 1,000 y_i + 0$

**No obstante, el alcance del trabajo, se ha limitado únicamente a la realización de la campaña de intercomparación de invierno, siendo necesaria la realización de la campaña de verano para dar por finalizada la intercomparación de los equipos en base a Norma.**

**En cuanto a la respuesta de los equipos FIDAS en función de la concentración de material particulado, se aprecia una menor correlación con el método de referencia en episodios de alta concentración.** De hecho, todos los pares de datos desechados en el estudio de Grubbs corresponden a episodios de alta concentración (intrusión Sahariana del 15-16 de marzo de 2022).

**Como línea futura** se propone realizar, una vez finalice la campaña de verano, un estudio estadístico agrupando los pares de datos en función del tamaño de partícula en cuatro rangos: en PM<sub>2,5</sub> (pares de datos menores de 18 µg/m<sup>3</sup>, pares de datos mayores de 18 µg/m<sup>3</sup>) y en PM<sub>10</sub> (pares de datos menores de 30 µg/m<sup>3</sup>, pares de datos mayores de 30 µg/m<sup>3</sup>) para estudiar la respuesta de los equipos FIDAS en diferentes concentraciones.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

[1] World Health Organization (WHO) *WHO Global Air Quality Guidelines. Particulate Matter (PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub>) Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide And Carbon Monoxide.* (2021)  
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[2] Gobierno Vasco Eusko Jaurlaritza. Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial. *Programa Marco Ambiental 2020*  
[https://www.irekia.euskadi.eus/uploads/attachments/5731/Programa\\_Marco\\_Ambiental\\_CAPV\\_2020.pdf?1421238580](https://www.irekia.euskadi.eus/uploads/attachments/5731/Programa_Marco_Ambiental_CAPV_2020.pdf?1421238580)

[3] Palas GmbH. Products. Fine Dust Monitors. Fidas® system fidas® 200  
<https://www.palas.de/en/product/fidas200>

[4] Parlamento Europeo y del Consejo Directiva 2008/50/CE, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.  
<https://www.boe.es/doue/2008/152/L00001-00044.pdf>

[5] Albizu Etxebarria, Marivi. *El antes y el después del aire que respiramos en la Ría de Bilbao.* AEMET Agencia Estatal de Meteorología. 2010.  
<https://pub.ame-web.org/index.php/TyC/article/view/196>

[6] Eusko Jaurlaritza. Gobierno Vasco. *Descripción de la Red de Control de Calidad del Aire.* 2020.  
<https://www.euskadi.eus/informacion/la-red-de-control-de-calidad-del-aire/web01-a2ingair/es/>

[7] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Redes de Vigilancia de la Calidad del Aire.  
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/redes/default.aspx>

[8] Gobierno Vasco Eusko Jaurlaritza. Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente. *Información de la Calidad del Aire en Euskadi.* (2022)  
<https://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-aa17a/es/aa17aCalidadAireWar/estacion/mapa?locale=es>

[9] Gobierno Vasco Eusko Jaurlaritza. *Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda. Ihobe.Perfil Ambiental Euskadi 2016.* (2017)

[10] Gobierno Vasco Eusko Jaurlaritza. Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente. Prevención y Control de la Contaminación <https://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/prevencion-contaminacion-inspeccion-control-ambiental/>

[11] Gobierno Vasco Eusko Jaurlaritza. *Medio Ambiente. Calidad del Aire. Material Particulado* <https://www.euskadi.eus/informacion/material-particulado/web01-a2ingair/es/>

[12] Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico <https://www.boe.es/boe/dias/1972/12/26/pdfs/A23031-23034.pdf>

[13] Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, *sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono*

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-20933>

[14] Real Decreto 1796/2003, de 26 de diciembre, *relativo al ozono en el aire ambiente*

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2004-616>

[15] Real Decreto 812/2007, de 22 de junio, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos <https://www.boe.es/eli/es/rd/2007/06/22/812>

[16] Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del Aire Ambiente

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1996-81917>

[17] Directiva 1999/30/CE del Consejo, de 22 de abril de 1999, relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1999-81189>

[18] Directiva 2000/69/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de noviembre de 2000, sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente

<https://www.boe.es/doue/2000/313/L00012-00021.pdf>

[19] Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente (3ª Directiva Hija)

<https://www.boe.es/doue/2002/067/L00014-00030.pdf>

[20] Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente (4ª Directiva Hija).

<https://www.boe.es/doue/2005/023/L00003-00016.pdf>

[21] Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

<https://www.boe.es/doue/2008/152/L00001-00044.pdf>

[22] Directiva 2015/1480/CE, de la Comisión, de 28 de agosto de 2015

<https://www.boe.es/doue/2015/226/L00004-00011.pdf>

[23] Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera.

<https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-19744-consolidado.pdf>

[24] REAL DECRETO 102/2011 de 28 de enero relativo a la mejora de la calidad del aire.

<https://www.boe.es/boe/dias/2011/01/29/pdfs/BOE-A-2011-1645.pdf>

[25] Plan de Acción de Calidad del Aire de la Comarca de Pasaialdea (2005-2007)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/adjuntos/acciones\\_pasaialdea.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/adjuntos/acciones_pasaialdea.pdf)

[26] Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca del Bajo Nervión (2005-2007)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/adjuntos/acciones\\_bajo\\_nervion.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/adjuntos/acciones_bajo_nervion.pdf)

[27] Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca del Goierri (2005-2007)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/adjuntos/acciones\\_goierri.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/adjuntos/acciones_goierri.pdf)

[28] Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca del Alto Deba (2005-2007)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/adjuntos/acciones\\_alto\\_deba.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/adjuntos/acciones_alto_deba.pdf)

[29] Plan de Acción de Calidad del Aire para el Duranguesado (2005-2007)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/adjuntos/acciones\\_duranguesado.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/adjuntos/acciones_duranguesado.pdf)

[30] Plan de Acción de Calidad del Aire en el Municipio de Lemoa (2006-2007)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/adjuntos/acciones\\_lemona.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/adjuntos/acciones_lemona.pdf)

[31] Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca del Urola Medio (2006-2007)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/adjuntos/acciones\\_urola\\_medio.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/adjuntos/acciones_urola_medio.pdf)

[32] Plan de Acción de Calidad del Aire para Betoño (2006-2007)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/adjuntos/acciones\\_betono.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/adjuntos/acciones_betono.pdf)

[33] Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca de Tolosaldea (2008)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/adjuntos/acciones\\_tolosaldea.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/adjuntos/acciones_tolosaldea.pdf)

[34] Plan de Acción de la Comarca del alto Urola (2009-2011)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/adjuntos/alto\\_urola.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/adjuntos/alto_urola.pdf)

[35] Plan de Acción de Calidad del Aire en la Comarca del Bajo Nervión (2015)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/adjuntos/Plan%20Parque%20Europa.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/adjuntos/Plan%20Parque%20Europa.pdf)

[36] Plan para la mejora de la calidad del aire de Bilbao (año 2019)

[https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes\\_calidad\\_aire/es\\_def/PLAN\\_MEJORA-CALIDAD-AIRE\\_BILBAO-2019.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/planes_calidad_aire/es_def/PLAN_MEJORA-CALIDAD-AIRE_BILBAO-2019.pdf)

[38] Norma UNE-EN 12431:2015. *Calidad del Aire. Determinación de la fracción PM10 de la materia particulada en suspensión. Método de referencia y procedimiento de ensayo de campo para demostrar la equivalencia de los métodos de medida al de referencia.*

[39] Norma UNE-EN 16450:2017. *Aire ambiente. Sistemas Automáticos de Medida para la medición de la concentración de materia particulada (PM10 Y PM2,5)*

[40] *EC Working Group on Guidance for the Demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods. Report by an EC Working Group on Guidance for the Demonstration of Equivalence. January 2010*

[https://environment.ec.europa.eu/topics/air\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/air_en)

[41] Gobierno Vasco Eusko Jaurlaritza. *Guía para la intercomparación de los equipos automáticos PM10 y PM2,5 con el método de referencia. Cálculo de la función de corrección.*

[https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/factor\\_corrector\\_particulas/es\\_def/adjuntos/factor\\_corrector\\_guia.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/factor_corrector_particulas/es_def/adjuntos/factor_corrector_guia.pdf)

## 9. ANEXOS

### ANEXO I: CAMPAÑA EASO PM10

#### CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

$$y = a + bx$$

Tabla 60. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 33                  | 32                   | 1089                        | 8,7                           | 8,8                           | 75,7                                       | 77,0                                       | 76,3  | -0,8                              | 0,7   |
| 24                  | 22                   | 576                         | -0,3                          | -1,2                          | 0,1  | 1,5  | 0,4   | -1,6                              | 2,5   |
| 32                  | 32                   | 1024                        | 7,7                           | 8,8                           | 59,3                                       | 77,0                                       | 67,5  | 0,2                               | 0,0   |
| 31                  | 32                   | 961                         | 6,7                           | 8,8                           | 44,9                                       | 77,0                                       | 58,8  | 1,2                               | 1,5   |
| 13                  | 13                   | 169                         | -11,3                         | -10,2                         | 127,7                                      | 104,6                                      | 115,6   | 0,8                               | 0,6   |
| 23                  | 21                   | 529                         | -1,3                          | -2,2                          | 1,7  | 5,0  | 2,9   | -1,5                              | 2,4   |
| 28                  | 24                   | 784                         | 3,7                           | 0,8                           | 13,7                                       | 0,6  | 2,9   | -3,7                              | 13,6  |
| 38                  | 31                   | 1444                        | 13,7                          | 7,8                           | 187,6                                      | 60,4                                       | 106,5   | -7,0                              | 48,9  |
| 24                  | 21                   | 576                         | -0,3                          | -2,2                          | 0,1  | 5,0  | 0,7   | -2,6                              | 6,6   |
| 18                  | 16                   | 324                         | -6,3                          | -7,2                          | 39,7                                       | 52,2                                       | 45,5  | -1,4                              | 1,9   |
| 18                  | 14                   | 324                         | -6,3                          | -9,2                          | 39,7                                       | 85,1                                       | 58,1  | -3,4                              | 11,5  |
| 20                  | 19                   | 400                         | -4,3                          | -4,2                          | 18,5                                       | 17,9                                       | 18,2  | -0,4                              | 0,2   |
| 33                  | 31                   | 1089                        | 8,7                           | 7,8                           | 75,7                                       | 60,4                                       | 67,6  | -1,8                              | 3,4   |
| 47                  | 40                   | 2209                        | 22,7                          | 16,8                          | 515,2                                      | 281,4                                      | 380,7   | -7,3                              | 52,8  |
| 31                  | 29                   | 961                         | 6,7                           | 5,8                           | 44,9                                       | 33,3                                       | 38,7  | -1,8                              | 3,2   |
| 28                  | 26                   | 784                         | 3,7                           | 2,8                           | 13,7                                       | 7,7  | 10,3  | -1,7                              | 2,9   |
| 25                  | 27                   | 625                         | 0,7                           | 3,8                           | 0,5  | 14,2                                       | 2,6   | 2,4                               | 5,8   |
| 11                  | 10                   | 121                         | -13,3                         | -13,2                         | 176,9                                      | 174,9                                      | 175,9   | -0,2                              | 0,0   |
| 18                  | 17                   | 324                         | -6,3                          | -6,2                          | 39,7                                       | 38,8                                       | 39,2  | -0,4                              | 0,1   |
| 16                  | 14                   | 256                         | -8,3                          | -9,2                          | 68,9                                       | 85,1                                       | 76,6  | -1,3                              | 1,8   |
| 24                  | 21                   | 576                         | -0,3                          | -2,2                          | 0,1  | 5,0  | 0,7   | -2,6                              | 6,6   |
| 29                  | 28                   | 841                         | 4,7                           | 4,8                           | 22,1                                       | 22,8                                       | 22,4  | -0,7                              | 0,5   |

Tabla 60. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 17                  | 17                   | 289                         | -7,3                          | -6,2                          | 53,3                                       | 38,8                                       | 45,5  | 0,6                               | 0,4   |
| 15                  | 12                   | 225                         | -9,3                          | -11,2                         | 86,5                                       | 126,0                                      | 104,4   | -2,3                              | 5,3   |
| 34                  | 36                   | 1156                        | 9,7                           | 12,8                          | 94,1                                       | 163,2                                      | 123,9   | 2,1                               | 4,5   |
| 47                  | 44                   | 2209                        | 22,7                          | 20,8                          | 515,2                                      | 431,5                                      | 471,5   | -3,3                              | 10,7  |
| 37                  | 32                   | 1369                        | 12,7                          | 8,8                           | 161,2                                      | 77,0                                       | 111,4   | -5,0                              | 24,6  |
| 29                  | 29                   | 841                         | 4,7                           | 5,8                           | 22,1                                       | 33,3                                       | 27,1  | 0,3                               | 0,1   |
| 25                  | 21                   | 625                         | 0,7                           | -2,2                          | 0,5  | 5,0  | -1,6  | -3,6                              | 13,0  |
| 22                  | 17                   | 484                         | -2,3                          | -6,2                          | 5,3  | 38,8                                       | 14,3  | -4,5                              | 20,3  |
| 38                  | 36                   | 1444                        | 13,7                          | 12,8                          | 187,6                                      | 163,2                                      | 175,0   | -2,0                              | 4,0   |
| 68                  | 72                   | 4624                        | 43,7                          | 48,8                          | 1909,5                                     | 2378,9                                     | 2131,3  | 3,1                               | 9,6   |
| 22                  | 21                   | 484                         | -2,3                          | -2,2                          | 5,3  | 5,0  | 5,1   | -0,5                              | 0,3   |
| 14                  | 13                   | 196                         | -10,3                         | -10,2                         | 106,1                                      | 104,6                                      | 105,4   | -0,3                              | 0,1   |
| 16                  | 20                   | 256                         | -8,3                          | -3,2                          | 68,9                                       | 10,4                                       | 26,8  | 4,7                               | 21,8  |
| 13                  | 14                   | 169                         | -11,3                         | -9,2                          | 127,7                                      | 85,1                                       | 104,3   | 1,8                               | 3,1   |
| 14                  | 12                   | 196                         | -10,3                         | -11,2                         | 106,1                                      | 126,0                                      | 115,7   | -1,3                              | 1,6   |
| 19                  | 18                   | 361                         | -5,3                          | -5,2                          | 28,1                                       | 27,3                                       | 27,7  | -0,4                              | 0,2   |
| 10                  | 8                    | 100                         | -14,3                         | -15,2                         | 204,5                                      | 231,8                                      | 217,8   | -1,1                              | 1,3   |
| 13                  | 11                   | 169                         | -11,3                         | -12,2                         | 127,7                                      | 149,5                                      | 138,2   | -1,2                              | 1,5   |
| 20                  | 19                   | 400                         | -4,3                          | -4,2                          | 18,5                                       | 17,9                                       | 18,2  | -0,4                              | 0,2   |
| 10                  | 8                    | 100                         | -14,3                         | -15,2                         | 204,5                                      | 231,8                                      | 217,8   | -1,1                              | 1,3   |
| 17                  | 16                   | 289                         | -7,3                          | -7,2                          | 53,3                                       | 52,2                                       | 52,8  | -0,4                              | 0,1   |
| 18                  | 16                   | 324                         | -6,3                          | -7,2                          | 39,7                                       | 52,2                                       | 45,5  | -1,4                              | 1,9   |

Tabla 60. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup>         | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 23                  | 28                   | 529                                 | -1,3                          | 4,8                           | 1,7  | 22,8                                       | -6,2  | 5,5                               | 29,8  |
| 35                  | 38                   | 1225                                | 10,7                          | 14,8                          | 114,4                                      | 218,3                                      | 158,0   | 3,1                               | 9,6   |
| 26                  | 28                   | 676                                 | 1,7                           | 4,8                           | 2,9  | 22,8                                       | 8,1   | 2,4                               | 5,6   |
| 23                  | 25                   | 529                                 | -1,3                          | 1,8                           | 1,7  | 3,1  | -2,3  | 2,5                               | 6,1   |
| 14                  | 14                   | 196                                 | -10,3                         | -9,2                          | 106,1                                      | 85,1                                       | 95,0  | 0,7                               | 0,5   |
| 17                  | 16                   | 289                                 | -7,3                          | -7,2                          | 53,3                                       | 52,2                                       | 52,8  | -0,4                              | 0,1   |
| 20                  | 19                   | 400                                 | -4,3                          | -4,2                          | 18,5                                       | 17,9                                       | 18,2  | -0,4                              | 0,2   |
| 20                  | 21                   | 400                                 | -4,3                          | -2,2                          | 18,5                                       | 5,0  | 9,6   | 1,6                               | 2,4   |
| 28                  | 30                   | 784                                 | 3,7                           | 6,8                           | 13,7                                       | 45,9                                       | 25,0  | 2,3                               | 5,3   |
| $\bar{x}$           | $\bar{y}$            | suma<br>x <sub>i</sub> <sup>2</sup> |                               |                               | Sxx  | Syy  | Sxy   |                                   | RSS   |
| 24,3                | 23,2                 | 37324                               |                               |                               | 6023                                       | 6309                                       | 6004  |                                   | 328   |

Ecuación 1

n= número de pares de datos=77

$$Sxx = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$Syy = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$Sxy = \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i$$

Eq 2

$$b = \frac{Syy - Sxx + \sqrt{(Syy - Sxx)^2 + 4(Sxx)^2}}{2Sxy}$$

$$b = \frac{6309 - 6023 + \sqrt{(6309 - 6023)^2 + 4(6023)^2}}{2 \times 6004} = 1,024$$

Eq 3

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$a = 21,5 - 1,030 \times 22,0 = -1,661$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE A Y LA ORDENADA EN ORIGEN B: $U_{(B)}$ Y $U_{(A)}$

Eq 4

$$u^2(b) = \frac{Syy - ((Sxy)^2 / Sxx) = 6309 - (6004^2 / 6023)}{(n-2) \cdot Sxx} = \frac{6309 - (6004^2 / 6023)}{(53-2) \cdot 6023} = 0,001$$

$u(b) = 0,032$

Eq 5

$$u^2(a) = u^2(b) \frac{\sum x^2}{n} = 0,001 \frac{37324}{53} = 0,742$$

$u(a) = 0,861$

### INCERTIDUMBRE COMBINADA $U_{(CR)}$

Eq 10

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{Rss}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (a + (b-1)L)^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{565}{(53-2)} - 1,5^2 + (-1661 + (1,024 - 1)50)^2$$

$$u_{CR}(y_{i,cal}) = 2,1$$

$n$  = número de pares de datos = 53

$Rss = \sum_{i=1}^n (y_i - c - dx_i)^2$  la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$  = incertidumbre de los resultados del método de referencia = 1,50

$a$  = término independiente

$b$  = pendiente

$u_{(a)}$  = incertidumbre de la ordenada en origen

$u_{(b)}$  = incertidumbre de la pendiente

$L$  = valor límite 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA

### Eq 14

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L}$$

$$\omega_{sam} = \frac{2,1}{50} = 0,042 = 4,2\%$$

$u_{CR}$  = incertidumbre combinada

$L$  = valor límite de la medida establecido en la normativa (PM10: 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

### Eq 15

$$U_{sam} = k \omega_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 4,2\% = 8,4\%$$

**ANEXO II: CAMPAÑA EASO PM2,5**

**CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN:**  $y = a + bx$

**Tabla 61. Cálculo función corrección**

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 26                  | 25                   | 676                         | 12,7                          | 12,2                          | 161,5                                      | 149,3                                      | 155,3   | -0,6                              | 0,3   |
| 17                  | 15                   | 289                         | 3,7                           | 2,2                           | 13,8                                       | 4,9  | 8,2   | -1,5                              | 2,3   |
| 28                  | 27                   | 784                         | 14,7                          | 14,2                          | 216,4                                      | 202,2                                      | 209,1   | -0,6                              | 0,3   |
| 28                  | 30                   | 784                         | 14,7                          | 17,2                          | 216,4                                      | 296,5                                      | 253,3   | 2,4                               | 5,8   |
| 8                   | 8                    | 64                          | -5,3                          | -4,8                          | 28,0                                       | 22,9                                       | 25,3  | 0,5                               | 0,3   |
| 10                  | 9                    | 100                         | -3,3                          | -3,8                          | 10,8                                       | 14,3                                       | 12,4  | -0,5                              | 0,2   |
| 15                  | 13                   | 225                         | 1,7                           | 0,2                           | 2,9  | 0,0  | 0,4   | -1,5                              | 2,3   |
| 22                  | 17                   | 484                         | 8,7                           | 4,2                           | 75,8                                       | 17,8                                       | 36,7  | -4,5                              | 20,7  |
| 15                  | 12                   | 225                         | 1,7                           | -0,8                          | 2,9  | 0,6  | -1,3  | -2,5                              | 6,3   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -4,3                          | -4,8                          | 18,4                                       | 22,9                                       | 20,5  | -0,5                              | 0,2   |
| 10                  | 9                    | 100                         | -3,3                          | -3,8                          | 10,8                                       | 14,3                                       | 12,4  | -0,5                              | 0,2   |
| 11                  | 10                   | 121                         | -2,3                          | -2,8                          | 5,2  | 7,7  | 6,4   | -0,5                              | 0,2   |
| 17                  | 18                   | 289                         | 3,7                           | 5,2                           | 13,8                                       | 27,2                                       | 19,4  | 1,5                               | 2,2   |
| 24                  | 18                   | 576                         | 10,7                          | 5,2                           | 114,7                                      | 27,2                                       | 55,9  | -5,6                              | 30,9  |
| 16                  | 17                   | 256                         | 2,7                           | 4,2                           | 7,3  | 17,8                                       | 11,4  | 1,5                               | 2,2   |
| 17                  | 17                   | 289                         | 3,7                           | 4,2                           | 13,8                                       | 17,8                                       | 15,6  | 0,5                               | 0,2   |
| 16                  | 15                   | 256                         | 2,7                           | 2,2                           | 7,3  | 4,9  | 6,0   | -0,5                              | 0,3   |
| 5                   | 4                    | 25                          | -8,3                          | -8,8                          | 68,7                                       | 77,1                                       | 72,8  | -0,4                              | 0,2   |
| 8                   | 7                    | 64                          | -5,3                          | -5,8                          | 28,0                                       | 33,4                                       | 30,6  | -0,5                              | 0,2   |
| 9                   | 7                    | 81                          | -4,3                          | -5,8                          | 18,4                                       | 33,4                                       | 24,8  | -1,5                              | 2,1   |
| 10                  | 9                    | 100                         | -3,3                          | -3,8                          | 10,8                                       | 14,3                                       | 12,4  | -0,5                              | 0,2   |
| 14                  | 15                   | 196                         | 0,7                           | 2,2                           | 0,5  | 4,9  | 1,6   | 1,5                               | 2,3   |
| 6                   | 7                    | 36                          | -7,3                          | -5,8                          | 53,2                                       | 33,4                                       | 42,2  | 1,6                               | 2,4   |
| 8                   | 8                    | 64                          | -5,3                          | -4,8                          | 28,0                                       | 22,9                                       | 25,3  | 0,5                               | 0,3   |
| 12                  | 16                   | 144                         | -1,3                          | 3,2                           | 1,7  | 10,4                                       | -4,2  | 4,5                               | 20,4  |

Tabla 61. Cálculo función corrección

| MR( $x_i$ ) | MC ( $y_i$ ) | $x_i^2$ | $(x_i - \bar{x})$ | $(y_i - \bar{y})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $(y_i - \bar{y})^2$ | $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ | $y_i - a - bx_i$ | $(y_i - a - bx_i)^2$ |
|-------------|--------------|---------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|------------------|----------------------|
| 19          | 20           | 361     | 5,7               | 7,2               | 32,6                | 52,1                | 41,2                             | 1,5              | 2,2                  |
| 17          | 16           | 289     | 3,7               | 3,2               | 13,8                | 10,4                | 11,9                             | -0,5             | 0,3                  |
| 14          | 13           | 196     | 0,7               | 0,2               | 0,5                 | 0,0                 | 0,2                              | -0,5             | 0,2                  |
| 14          | 11           | 196     | 0,7               | -1,8              | 0,5                 | 3,2                 | -1,3                             | -2,5             | 6,2                  |
| 10          | 8            | 100     | -3,3              | -4,8              | 10,8                | 22,9                | 15,7                             | -1,5             | 2,2                  |
| 20          | 19           | 400     | 6,7               | 6,2               | 45,0                | 38,7                | 41,7                             | -0,5             | 0,3                  |
| 33          | 35           | 1089    | 19,7              | 22,2              | 388,4               | 493,6               | 437,9                            | 2,4              | 5,7                  |
| 10          | 11           | 100     | -3,3              | -1,8              | 10,8                | 3,2                 | 5,9                              | 1,5              | 2,3                  |
| 6           | 6            | 36      | -7,3              | -6,8              | 53,2                | 46,0                | 49,4                             | 0,6              | 0,3                  |
| 5           | 8            | 25      | -8,3              | -4,8              | 68,7                | 22,9                | 39,6                             | 3,6              | 12,7                 |
| 5           | 6            | 25      | -8,3              | -6,8              | 68,7                | 46,0                | 56,2                             | 1,6              | 2,4                  |
| 7           | 6            | 49      | -6,3              | -6,8              | 39,6                | 46,0                | 42,7                             | -0,5             | 0,2                  |
| 14          | 12           | 196     | 0,7               | -0,8              | 0,5                 | 0,6                 | -0,6                             | -1,5             | 2,2                  |
| 7           | 4            | 49      | -6,3              | -8,8              | 39,6                | 77,1                | 55,2                             | -2,5             | 6,0                  |
| 8           | 6            | 64      | -5,3              | -6,8              | 28,0                | 46,0                | 35,9                             | -1,5             | 2,1                  |
| 10          | 9            | 100     | -3,3              | -3,8              | 10,8                | 14,3                | 12,4                             | -0,5             | 0,2                  |
| 6           | 4            | 36      | -7,3              | -8,8              | 53,2                | 77,1                | 64,0                             | -1,4             | 2,1                  |
| 7           | 7            | 49      | -6,3              | -5,8              | 39,6                | 33,4                | 36,4                             | 0,5              | 0,3                  |
| 10          | 6            | 100     | -3,3              | -6,8              | 10,8                | 46,0                | 22,3                             | -3,5             | 12,0                 |
| 31          | 26           | 961     | 17,7              | 13,2              | 313,6               | 174,7               | 234,1                            | -4,6             | 21,2                 |
| 11          | 16           | 121     | -2,3              | 3,2               | 5,2                 | 10,4                | -7,4                             | 5,5              | 30,5                 |
| 8           | 13           | 64      | -5,3              | 0,2               | 28,0                | 0,0                 | -1,2                             | 5,5              | 30,7                 |
| 17          | 20           | 289     | 3,7               | 7,2               | 13,8                | 52,1                | 26,8                             | 3,5              | 12,1                 |
| 13          | 16           | 169     | -0,3              | 3,2               | 0,1                 | 10,4                | -0,9                             | 3,5              | 12,3                 |
| 12          | 12           | 144     | -1,3              | -0,8              | 1,7                 | 0,6                 | 1,0                              | 0,5              | 0,3                  |

Tabla 61. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup>      | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 7                   | 6                    | 49                               | -6,3                          | -6,8                          | 39,6                                       | 46,0                                       | 42,7  | -0,5                              | 0,2   |
| 10                  | 8                    | 100                              | -3,3                          | -4,8                          | 10,8                                       | 22,9                                       | 15,7  | -1,5                              | 2,2   |
| 12                  | 10                   | 144                              | -1,3                          | -2,8                          | 1,7  | 7,7  | 3,6   | -1,5                              | 2,2   |
| 12                  | 12                   | 144                              | -1,3                          | -0,8                          | 1,7  | 0,6  | 1,0   | 0,5                               | 0,3   |
| 15                  | 16                   | 225                              | 1,7                           | 3,2                           | 2,9  | 10,4                                       | 5,5   | 1,5                               | 2,2   |
| $\bar{x}$           | $\bar{y}$            | suma x <sub>i</sub> <sup>2</sup> |                               |                               | <b>Sxx</b>                                 | <b>Syy</b>                                 | <b>Sxy</b>  |                                   | <b>RSS</b>  |
| <b>13,3</b>         | <b>12,8</b>          | <b>12179</b>                     |                               |                               | <b>2463</b>                                | <b>2493</b>                                | <b>2340</b>   |                                   | <b>277</b>  |

### Ecuación 1

n= número de pares de datos=55

$$Sxx = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$Syy = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$Sxy = \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i$$

### Eq 2

$$b = \frac{Syy - Sxx + \sqrt{(Syy - Sxx)^2 + 4(Sxx)^2}}{2Sxy}$$

$$b = \frac{2493 - 2340 + \sqrt{(2493 - 2340)^2 + 4(2340)^2}}{2 \times 2340} = 1,006$$

### Eq 3

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$a = 12,8 - 1,006 \times 13,3 = -0,595$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE A Y LA ORDENADA EN ORIGEN B: $U_{(B)}$ Y $U_{(A)}$

Eq 4

$$u^2(b) = \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} = \frac{2493 - (2340^2 / 2463)}{(55-2) \cdot 2463} = 0,002$$

$u(b) = 0,045$

Eq 5

$$u^2(a) = u^2(b) \frac{\sum x^2}{n} = 0,002 \frac{12179}{55} = 0,457$$

$u(a) = 0,676$

### INCERTIDUMBRE COMBINADA $U_{(CR)}$

Eq 10

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{R_{SS}}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (a + (b-1)x_i)^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{565}{(55-2)} - 1,5^2 + (-0,595 + (1,006-1)30)^2$$

$$u_{CR}(y_{i,cal}) = 1,8$$

n= número de pares de datos=55

$R_{SS} = \sum_{i=1}^n (y_i - c - dx_i)^2$  la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia=1,50

a= término independiente

b=pendiente

$u_{(a)}$ = incertidumbre de la ordenada en origen

$u_{(b)}$ =incertidumbre de la pendiente

L= valor límite de la medida establecido en la normativa (PM2,5: 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA

### Eq 14

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L}$$

$$\omega_{sam} = \frac{1,8}{30} = 5,9\%$$

$u_{CR}$  = incertidumbre combinada

$L$  = valor límite de la medida establecido en la normativa (PM2,5: 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

### Eq 15

$$U_{sam} = k \omega_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 5,9\% = 11,8\%$$

**ANEXO III: CAMPAÑA HERNANI PM10**

**CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN**  $y = a + bx$

**Tabla 62. Cálculo función corrección**

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 28                  | 26                   | 784                         | 9,9                           | 8,4                           | 98,5                                       | 70,7                                       | 83,5  | -2,1                              | 4,6   |
| 28                  | 29                   | 784                         | 9,9                           | 11,4                          | 98,5                                       | 130,2                                      | 113,2   | 0,9                               | 0,7   |
| 23                  | 27                   | 529                         | 4,9                           | 9,4                           | 24,2                                       | 88,6                                       | 46,3  | 4,2                               | 17,4  |
| 9                   | 8                    | 81                          | -9,1                          | -9,6                          | 82,4                                       | 92,0                                       | 87,0  | 0,1                               | 0,0   |
| 16                  | 15                   | 256                         | -2,1                          | -2,6                          | 4,3  | 6,7  | 5,4   | -0,4                              | 0,1   |
| 21                  | 17                   | 441                         | 2,9                           | -0,6                          | 8,5  | 0,3  | -1,7  | -3,7                              | 13,7  |
| 18                  | 18                   | 324                         | -0,1                          | 0,4                           | 0,0  | 0,2  | 0,0   | 0,5                               | 0,2   |
| 21                  | 19                   | 441                         | 2,9                           | 1,4                           | 8,5  | 2,0  | 4,1   | -1,7                              | 2,9   |
| 12                  | 11                   | 144                         | -6,1                          | -6,6                          | 36,9                                       | 43,4                                       | 40,0  | -0,1                              | 0,0   |
| 14                  | 12                   | 196                         | -4,1                          | -5,6                          | 16,6                                       | 31,2                                       | 22,8  | -1,3                              | 1,6   |
| 28                  | 26                   | 784                         | 9,9                           | 8,4                           | 98,5                                       | 70,7                                       | 83,5  | -2,1                              | 4,6   |
| 31                  | 28                   | 961                         | 12,9                          | 10,4                          | 167,0                                      | 108,4                                      | 134,5   | -3,3                              | 11,1  |
| 28                  | 23                   | 784                         | 9,9                           | 5,4                           | 98,5                                       | 29,3                                       | 53,7  | -5,1                              | 26,5  |
| 24                  | 21                   | 576                         | 5,9                           | 3,4                           | 35,1                                       | 11,6                                       | 20,2  | -2,9                              | 8,4   |
| 17                  | 16                   | 289                         | -1,1                          | -1,6                          | 1,2  | 2,5  | 1,7   | -0,4                              | 0,2   |
| 15                  | 13                   | 225                         | -3,1                          | -4,6                          | 9,5  | 21,1                                       | 14,1  | -1,3                              | 1,7   |
| 27                  | 26                   | 729                         | 8,9                           | 8,4                           | 79,6                                       | 70,7                                       | 75,0  | -1,1                              | 1,2   |
| 36                  | 38                   | 1296                        | 17,9                          | 20,4                          | 321,2                                      | 416,6                                      | 365,8   | 1,3                               | 1,8   |
| 17                  | 17                   | 289                         | -1,1                          | -0,6                          | 1,2  | 0,3  | 0,6   | 0,6                               | 0,3   |
| 9                   | 9                    | 81                          | -9,1                          | -8,6                          | 82,4                                       | 73,8                                       | 78,0  | 1,1                               | 1,1   |
| 12                  | 12                   | 144                         | -6,1                          | -5,6                          | 36,9                                       | 31,2                                       | 34,0  | 0,9                               | 0,8   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -9,1                          | -9,6                          | 82,4                                       | 92,0                                       | 87,0  | 0,1                               | 0,0   |
| 12                  | 12                   | 144                         | -6,1                          | -5,6                          | 36,9                                       | 31,2                                       | 34,0  | 0,9                               | 0,8   |
| 17                  | 17                   | 289                         | -1,1                          | -0,6                          | 1,2  | 0,3  | 0,6   | 0,6                               | 0,3   |

**Tabla 62. Cálculo función corrección**

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup>         | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 9                   | 7                    | 81                                  | -9,1                          | -10,6                         | 82,4                                       | 112,1                                      | 96,1  | -0,9                              | 0,9   |
| 9                   | 8                    | 81                                  | -9,1                          | -9,6                          | 82,4                                       | 92,0                                       | 87,0  | 0,1                               | 0,0   |
| 12                  | 11                   | 144                                 | -6,1                          | -6,6                          | 36,9                                       | 43,4                                       | 40,0  | -0,1                              | 0,0   |
| 7                   | 6                    | 49                                  | -11,1                         | -11,6                         | 122,7                                      | 134,3                                      | 128,4   | 0,2                               | 0,0   |
| 11                  | 10                   | 121                                 | -7,1                          | -7,6                          | 50,1                                       | 57,6                                       | 53,7  | -0,1                              | 0,0   |
| 11                  | 10                   | 121                                 | -7,1                          | -7,6                          | 50,1                                       | 57,6                                       | 53,7  | -0,1                              | 0,0   |
| 18                  | 19                   | 324                                 | -0,1                          | 1,4                           | 0,0  | 2,0  | -0,1  | 1,5                               | 2,2   |
| 29                  | 31                   | 841                                 | 10,9                          | 13,4                          | 119,3                                      | 179,8                                      | 146,5   | 1,8                               | 3,2   |
| 22                  | 26                   | 484                                 | 3,9                           | 8,4                           | 15,4                                       | 70,7                                       | 33,0  | 4,2                               | 17,9  |
| 22                  | 24                   | 484                                 | 3,9                           | 6,4                           | 15,4                                       | 41,1                                       | 25,1  | 2,2                               | 5,0   |
| 11                  | 11                   | 121                                 | -7,1                          | -6,6                          | 50,1                                       | 43,4                                       | 46,6  | 0,9                               | 0,9   |
| 14                  | 13                   | 196                                 | -4,1                          | -4,6                          | 16,6                                       | 21,1                                       | 18,7  | -0,3                              | 0,1   |
| 15                  | 15                   | 225                                 | -3,1                          | -2,6                          | 9,5  | 6,7  | 8,0   | 0,7                               | 0,5   |
| 16                  | 17                   | 256                                 | -2,1                          | -0,6                          | 4,3  | 0,3  | 1,2   | 1,6                               | 2,6   |
| 27                  | 30                   | 729                                 | 8,9                           | 12,4                          | 79,6                                       | 154,0                                      | 110,7   | 2,9                               | 8,5   |
| $\bar{x}$           | $\bar{y}$            | suma<br>x <sub>i</sub> <sup>2</sup> |                               |                               | Sxx  | Syy  | Sxy   |                                   | RSS   |
| <b>18,1</b>         | <b>17,6</b>          | <b>14909</b>                        |                               |                               | <b>2165</b>                                | <b>2441</b>                                | <b>2232</b>   |                                   | <b>142</b>  |

**Ecuación 1**

n= número de pares de datos=39

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i$$

**Eq 2**

$$b = \frac{Syy - Sxx + \sqrt{(Syy - Sxx)^2 + 4(Sxx)^2}}{2Sxy}$$

$$b = \frac{2441 - 2165 + \sqrt{(2441 - 2165)^2 + 4(2165)^2}}{2 \times 2232} = 1,064$$

**Eq 3**

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$a = 17,6 - 1,064 \times 18,1 = -1,642$$

**CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCION CORREGIDA**

$$y_{ical} = c + d x_i$$

**Tabla 63. Cálculo función corrección corregida**

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> -a | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 28                  | 27,6                                 | 784                         | 9,9                           | 8,4                           | 98,5                                       | 70,7                                       | 83,5  | -2,1                              | 4,6   |
| 28                  | 30,6                                 | 784                         | 9,9                           | 11,4                          | 98,5                                       | 130,2                                      | 113,2   | 0,9                               | 0,7   |
| 23                  | 28,6                                 | 529                         | 4,9                           | 9,4                           | 24,2                                       | 88,6                                       | 46,3  | 4,2                               | 17,4  |
| 9                   | 9,6                                  | 81                          | -9,1                          | -9,6                          | 82,4                                       | 92,0                                       | 87,0  | 0,1                               | 0,0   |
| 16                  | 16,6                                 | 256                         | -2,1                          | -2,6                          | 4,3  | 6,7  | 5,4   | -0,4                              | 0,1   |
| 21                  | 18,6                                 | 441                         | 2,9                           | -0,6                          | 8,5  | 0,3  | -1,7  | -3,7                              | 13,7  |
| 18                  | 19,6                                 | 324                         | -0,1                          | 0,4                           | 0,0  | 0,2  | 0,0   | 0,5                               | 0,2   |
| 21                  | 20,6                                 | 441                         | 2,9                           | 1,4                           | 8,5  | 2,0  | 4,1   | -1,7                              | 2,9   |
| 12                  | 12,6                                 | 144                         | -6,1                          | -6,6                          | 36,9                                       | 43,4                                       | 40,0  | -0,1                              | 0,0   |
| 14                  | 13,6                                 | 196                         | -4,1                          | -5,6                          | 16,6                                       | 31,2                                       | 22,8  | -1,3                              | 1,6   |
| 28                  | 27,6                                 | 784                         | 9,9                           | 8,4                           | 98,5                                       | 70,7                                       | 83,5  | -2,1                              | 4,6   |
| 31                  | 29,6                                 | 961                         | 12,9                          | 10,4                          | 167,0                                      | 108,4                                      | 134,5   | -3,3                              | 11,1  |
| 28                  | 24,6                                 | 784                         | 9,9                           | 5,4                           | 98,5                                       | 29,3                                       | 53,7  | -5,1                              | 26,5  |
| 24                  | 22,6                                 | 576                         | 5,9                           | 3,4                           | 35,1                                       | 11,6                                       | 20,2  | -2,9                              | 8,4   |
| 17                  | 17,6                                 | 289                         | -1,1                          | -1,6                          | 1,2  | 2,5  | 1,7   | -0,4                              | 0,2   |
| 15                  | 14,6                                 | 225                         | -3,1                          | -4,6                          | 9,5  | 21,1                                       | 14,1  | -1,3                              | 1,7   |
| 27                  | 27,6                                 | 729                         | 8,9                           | 8,4                           | 79,6                                       | 70,7                                       | 75,0  | -1,1                              | 1,2   |

Tabla 63. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> -a | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 36                  | 39,6                                 | 1296                        | 17,9                          | 20,4                          | 321,2                                      | 416,6                                      | 365,8   | 1,3                               | 1,8   |
| 17                  | 18,6                                 | 289                         | -1,1                          | -0,6                          | 1,2  | 0,3  | 0,6   | 0,6                               | 0,3   |
| 9                   | 10,6                                 | 81                          | -9,1                          | -8,6                          | 82,4                                       | 73,8                                       | 78,0  | 1,1                               | 1,1   |
| 12                  | 13,6                                 | 144                         | -6,1                          | -5,6                          | 36,9                                       | 31,2                                       | 34,0  | 0,9                               | 0,8   |
| 9                   | 9,6                                  | 81                          | -9,1                          | -9,6                          | 82,4                                       | 92,0                                       | 87,0  | 0,1                               | 0,0   |
| 12                  | 13,6                                 | 144                         | -6,1                          | -5,6                          | 36,9                                       | 31,2                                       | 34,0  | 0,9                               | 0,8   |
| 17                  | 18,6                                 | 289                         | -1,1                          | -0,6                          | 1,2  | 0,3  | 0,6   | 0,6                               | 0,3   |
| 9                   | 8,6                                  | 81                          | -9,1                          | -10,6                         | 82,4                                       | 112,1                                      | 96,1  | -0,9                              | 0,9   |
| 9                   | 9,6                                  | 81                          | -9,1                          | -9,6                          | 82,4                                       | 92,0                                       | 87,0  | 0,1                               | 0,0   |
| 12                  | 12,6                                 | 144                         | -6,1                          | -6,6                          | 36,9                                       | 43,4                                       | 40,0  | -0,1                              | 0,0   |
| 7                   | 7,6                                  | 49                          | -11,1                         | -11,6                         | 122,7                                      | 134,3                                      | 128,4   | 0,2                               | 0,0   |
| 11                  | 11,6                                 | 121                         | -7,1                          | -7,6                          | 50,1                                       | 57,6                                       | 53,7  | -0,1                              | 0,0   |
| 11                  | 11,6                                 | 121                         | -7,1                          | -7,6                          | 50,1                                       | 57,6                                       | 53,7  | -0,1                              | 0,0   |
| 18                  | 20,6                                 | 324                         | -0,1                          | 1,4                           | 0,0  | 2,0  | -0,1  | 1,5                               | 2,2   |
| 29                  | 32,6                                 | 841                         | 10,9                          | 13,4                          | 119,3                                      | 179,8                                      | 146,5   | 1,8                               | 3,2   |
| 22                  | 27,6                                 | 484                         | 3,9                           | 8,4                           | 15,4                                       | 70,7                                       | 33,0  | 4,2                               | 17,9  |
| 22                  | 25,6                                 | 484                         | 3,9                           | 6,4                           | 15,4                                       | 41,1                                       | 25,1  | 2,2                               | 5,0   |
| 11                  | 12,6                                 | 121                         | -7,1                          | -6,6                          | 50,1                                       | 43,4                                       | 46,6  | 0,9                               | 0,9   |
| 14                  | 14,6                                 | 196                         | -4,1                          | -4,6                          | 16,6                                       | 21,1                                       | 18,7  | -0,3                              | 0,1   |
| 15                  | 16,6                                 | 225                         | -3,1                          | -2,6                          | 9,5  | 6,7  | 8,0   | 0,7                               | 0,5   |
| 16                  | 18,6                                 | 256                         | -2,1                          | -0,6                          | 4,3  | 0,3  | 1,2   | 1,6                               | 2,6   |
| 27                  | 31,6                                 | 729                         | 8,9                           | 12,4                          | 79,6                                       | 154,0                                      | 110,7   | 2,9                               | 8,5   |
| $\bar{x}_i$         | $\bar{y}_{ical}$                     | $\sum x_i^2$                |                               |                               | <b>Sxx</b>                                 | <b>Syy</b>                                 | <b>Sxy</b>  |                                   | <b>RSS</b>  |
| 18,1                | 19,2                                 | 14909                       |                               |                               | 2165                                       | 2441                                       | 2232  |                                   | 142   |

### Ecuación 1

$$\begin{aligned}
 S_{xx} &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\
 S_{yy} &= \sum (y_i - \bar{y})^2 \\
 S_{xy} &= \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \\
 \bar{x} &= 1/n \sum x_i \\
 \bar{y} &= 1/n \sum y_i
 \end{aligned}$$

### Eq 6

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xy})^2}}{2S_{xy}} \\
 d &= \frac{2441 - 2165 + \sqrt{(2441 - 2165)^2 + 4(2165)^2}}{2 \times 2232} = 1,064
 \end{aligned}$$

### Eq 7

$$\begin{aligned}
 c &= \bar{y} - d \cdot \bar{x} \\
 c &= 18,1 - 1,064 \times 18,1 = 0
 \end{aligned}$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE A Y LA ORDENADA EN ORIGEN B: U<sub>(B)</sub> Y U<sub>(A)</sub>

#### Eq 4

$$\begin{aligned}
 u^2(\mathbf{b}) &= \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} = \frac{2441 - (2232^2 / 2165)}{(39-2) \cdot 2165} = 0,002 \\
 u(\mathbf{b}) &= 0,042
 \end{aligned}$$

#### Eq 5

$$\begin{aligned}
 u^2(\mathbf{a}) &= u^2(\mathbf{b}) \frac{\sum x^2}{n} = 0,002 \frac{16134}{40} = 0,666 \\
 u(\mathbf{a}) &= 0,816
 \end{aligned}$$

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE D Y LA ORDENADA EN ORIGEN C: $U_{(D)}$ Y $U_{(C)}$

Eq 8

$$u^2(d) = \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} = \frac{2441 - (2232^2 / 2165)}{(39-2) \cdot 2165} = 0,002$$

**$u(d)=0,042$**

Eq 9

$$u^2(c) = u^2(d) \frac{\sum x^2}{n} = 0,002 \frac{14909}{39} = 0,666$$

**$u(c)=0,82$**

### INCERTIDUMBRE COMBINADA $U_{(CR)}$

Eq 11

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{R_{ss}}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (c + (d-1)x_i)^2 + u_{(a)}^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{142}{(39-2)} - 1,5^2 + (0 + (1,064 - 1)50)^2 + 0,666$$

$$u_{CR}(y_{i,cal}) = 3,53$$

n= número de pares de datos=39

$R_{ss} = \sum_{i=1}^n (y_i - c - dx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia=1,5

c= término independiente

d=pendiente

$u_{(b)}$ =incertidumbre de la pendiente original (valor empleado para calcular la  $y_{i,cal}$ )

## INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA

Eq 14

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L} = \frac{3,53}{30}$$

$$\omega_{sam} = 7,1\%$$

$u_{CR}$  = incertidumbre combinada

$L$  = valor límite de la medida establecido en la normativa (PM2,5: 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

Eq 15

$$U_{sam} = k \omega_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 7,1\% = 14,1\%$$

**ANEXO IV: CAMPAÑA HERNANI PM2,5**

**CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN  $y = a + bx$**

**Tabla 64. Cálculo función corrección**

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 18                  | 18                   | 324                         | 7,2                           | 7,4                           | 51,8                                       | 54,8                                       | 53,3  | -0,4                              | 0,2   |
| 20                  | 21                   | 400                         | 9,2                           | 10,4                          | 84,6                                       | 108,2                                      | 95,7  | 0,4                               | 0,1   |
| 15                  | 16                   | 225                         | 4,2                           | 5,4                           | 17,6                                       | 29,2                                       | 22,7  | 0,8                               | 0,7   |
| 6                   | 4                    | 36                          | -4,8                          | -6,6                          | 23,0                                       | 43,6                                       | 31,7  | -1,4                              | 1,9   |
| 9                   | 9                    | 81                          | -1,8                          | -1,6                          | 3,2  | 2,6  | 2,9   | 0,4                               | 0,1   |
| 13                  | 10                   | 169                         | 2,2                           | -0,6                          | 4,8  | 0,4  | -1,3  | -3,0                              | 9,0   |
| 10                  | 9                    | 100                         | -0,8                          | -1,6                          | 0,6  | 2,6  | 1,3   | -0,7                              | 0,5   |
| 12                  | 11                   | 144                         | 1,2                           | 0,4                           | 1,4  | 0,2  | 0,5   | -0,9                              | 0,8   |
| 7                   | 7                    | 49                          | -3,8                          | -3,6                          | 14,4                                       | 13,0                                       | 13,7  | 0,5                               | 0,3   |
| 10                  | 9                    | 100                         | -0,8                          | -1,6                          | 0,6  | 2,6  | 1,3   | -0,7                              | 0,5   |
| 13                  | 15                   | 169                         | 2,2                           | 4,4                           | 4,8  | 19,4                                       | 9,7   | 2,0                               | 4,0   |
| 16                  | 15                   | 256                         | 5,2                           | 4,4                           | 27,0                                       | 19,4                                       | 22,9  | -1,3                              | 1,6   |
| 15                  | 14                   | 225                         | 4,2                           | 3,4                           | 17,6                                       | 11,6                                       | 14,3  | -1,2                              | 1,4   |
| 13                  | 11                   | 169                         | 2,2                           | 0,4                           | 4,8  | 0,2  | 0,9   | -2,0                              | 4,0   |
| 11                  | 9                    | 121                         | 0,2                           | -1,6                          | 0,0  | 2,6  | -0,3  | -1,8                              | 3,3   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -1,8                          | -2,6                          | 3,2  | 6,8  | 4,7   | -0,6                              | 0,4   |
| 16                  | 15                   | 256                         | 5,2                           | 4,4                           | 27,0                                       | 19,4                                       | 22,9  | -1,3                              | 1,6   |
| 22                  | 21                   | 484                         | 11,2                          | 10,4                          | 125,4                                      | 108,2                                      | 116,5   | -1,8                              | 3,3   |
| 11                  | 10                   | 121                         | 0,2                           | -0,6                          | 0,0  | 0,4  | -0,1  | -0,8                              | 0,7   |
| 6                   | 6                    | 36                          | -4,8                          | -4,6                          | 23,0                                       | 21,2                                       | 22,1  | 0,6                               | 0,4   |
| 4                   | 6                    | 16                          | -6,8                          | -4,6                          | 46,2                                       | 21,2                                       | 31,3  | 2,8                               | 7,9   |
| 5                   | 5                    | 25                          | -5,8                          | -5,6                          | 33,6                                       | 31,4                                       | 32,5  | 0,7                               | 0,5   |
| 8                   | 8                    | 64                          | -2,8                          | -2,6                          | 7,8  | 6,8  | 7,3   | 0,5                               | 0,2   |
| 13                  | 12                   | 169                         | 2,2                           | 1,4                           | 4,8  | 2,0  | 3,1   | -1,0                              | 1,0   |

Tabla 64. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup>      | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 6                   | 5                    | 36                               | -4,8                          | -5,6                          | 23,0                                       | 31,4                                       | 26,9  | -0,4                              | 0,1   |
| 8                   | 6                    | 64                               | -2,8                          | -4,6                          | 7,8  | 21,2                                       | 12,9  | -1,5                              | 2,4   |
| 8                   | 7                    | 64                               | -2,8                          | -3,6                          | 7,8  | 13,0                                       | 10,1  | -0,5                              | 0,3   |
| 5                   | 3                    | 25                               | -5,8                          | -7,6                          | 33,6                                       | 57,8                                       | 44,1  | -1,3                              | 1,6   |
| 5                   | 6                    | 25                               | -5,8                          | -4,6                          | 33,6                                       | 21,2                                       | 26,7  | 1,7                               | 3,0   |
| 8                   | 5                    | 64                               | -2,8                          | -5,6                          | 7,8  | 31,4                                       | 15,7  | -2,5                              | 6,5   |
| 11                  | 14                   | 121                              | 0,2                           | 3,4                           | 0,0  | 11,6                                       | 0,7   | 3,2                               | 10,1  |
| 6                   | 11                   | 36                               | -4,8                          | 0,4                           | 23,0                                       | 0,2  | -1,9  | 5,6                               | 31,7  |
| 17                  | 20                   | 289                              | 6,2                           | 9,4                           | 38,4                                       | 88,4                                       | 58,3  | 2,6                               | 7,0   |
| 14                  | 15                   | 196                              | 3,2                           | 4,4                           | 10,2                                       | 19,4                                       | 14,1  | 0,9                               | 0,8   |
| 12                  | 12                   | 144                              | 1,2                           | 1,4                           | 1,4  | 2,0  | 1,7   | 0,1                               | 0,0   |
| 6                   | 6                    | 36                               | -4,8                          | -4,6                          | 23,0                                       | 21,2                                       | 22,1  | 0,6                               | 0,4   |
| 9                   | 8                    | 81                               | -1,8                          | -2,6                          | 3,2  | 6,8  | 4,7   | -0,6                              | 0,4   |
| 10                  | 10                   | 100                              | -0,8                          | -0,6                          | 0,6  | 0,4  | 0,5   | 0,3                               | 0,1   |
| 10                  | 10                   | 100                              | -0,8                          | -0,6                          | 0,6  | 0,4  | 0,5   | 0,3                               | 0,1   |
| 15                  | 17                   | 225                              | 4,2                           | 6,4                           | 17,6                                       | 41,0                                       | 26,9  | 1,8                               | 3,3   |
| $\bar{x}$           | $\bar{y}$            | suma x <sub>i</sub> <sup>2</sup> |                               |                               | Sxx  | Syy  | Sxy   |                                   | RSS   |
| 10,8                | 10,6                 | 5426                             |                               |                               | 760  | 894  | 773   |                                   | 112   |

Ecuación 1

n= número de pares de datos=40

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i$$

Eq 2

$$b = \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xy})^2}}{2S_{xy}}$$

$$b = \frac{894 - 760 + \sqrt{(894 - 760)^2 + 4(773)^2}}{2 \times 773} = 1,090$$

**Eq 3**

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$a = 10,6 - 1,090 \times 10,8 = -1,171$$

**CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE**

**INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE A Y LA ORDENADA EN ORIGEN B:  $U_{(B)}$  Y  $U_{(A)}$**

**Eq 4**

$$u^2(b) = \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} = \frac{894 - (773^2 / 760)}{(40-2) \cdot 760} = 0,004$$

$$u(b) = 0,061$$

**Eq 5**

$$u^2(a) = u^2(b) \frac{\sum x^2}{n} = 0,004 \frac{5426}{40} = 0,508$$

$$u(a) = 0,713$$

## INCERTIDUMBRE COMBINADA $U_{(CR)}$

Eq 10

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{Rss}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (a + (b-1)x_i)^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{112}{(40-2)} - 1,5^2 + (-1,171 + (1,090 - 1)30)^2$$

n= número de pares de datos=40

$Rss = \sum_{i=1}^n (y_i - c - dx_i)^2$  la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia=1,50

a= término independiente

b=pendiente

$u_{(a)}$ = incertidumbre de la ordenada en origen

$u_{(b)}$ =incertidumbre de la pendiente

$x_i$ = valor límite de la medida establecido en la normativa (PM10: 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$$u_{CR}(y_{i,cal}) = 1,7$$

## INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA

Eq 14

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L} = \frac{1,7}{30} = 5,8\%$$

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

Eq 15

$$U_{sam} = k \cdot u_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 5,8\% = 11,6\%$$

**ANEXO V: CAMPAÑA MAZARREDO PM10**

**CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN**  $y = a + bx$

**Tabla 65. Cálculo función corrección**

| MR( $x_i$ ) | MC ( $y_i$ ) | $x_i^2$ | $(x_i - \bar{x})$ | $(y_i - \bar{y})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $(y_i - \bar{y})^2$ | $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ | $y_i - a - bx_i$ | $(y_i - a - bx_i)^2$ |
|-------------|--------------|---------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|------------------|----------------------|
| 39          | 34           | 1521    | 19,1              | 14,7              | 363,8               | 217,0               | 281,0                            | -4,8             | 23,5                 |
| 20          | 20           | 400     | 0,1               | 0,7               | 0,0                 | 0,5                 | 0,1                              | 0,7              | 0,4                  |
| 28          | 29           | 784     | 8,1               | 9,7               | 65,2                | 94,7                | 78,6                             | 1,4              | 2,1                  |
| 28          | 24           | 784     | 8,1               | 4,7               | 65,2                | 22,4                | 38,2                             | -3,6             | 12,6                 |
| 8           | 7            | 64      | -11,9             | -12,3             | 142,2               | 150,5               | 146,3                            | 0,0              | 0,0                  |
| 16          | 14           | 256     | -3,9              | -5,3              | 15,4                | 27,8                | 20,7                             | -1,2             | 1,5                  |
| 18          | 14           | 324     | -1,9              | -5,3              | 3,7                 | 27,8                | 10,2                             | -3,3             | 10,8                 |
| 26          | 23           | 676     | 6,1               | 3,7               | 36,9                | 13,9                | 22,7                             | -2,5             | 6,3                  |
| 26          | 22           | 676     | 6,1               | 2,7               | 36,9                | 7,5                 | 16,6                             | -3,5             | 12,3                 |
| 14          | 13           | 196     | -5,9              | -6,3              | 35,1                | 39,3                | 37,2                             | -0,2             | 0,0                  |
| 18          | 16           | 324     | -1,9              | -3,3              | 3,7                 | 10,7                | 6,3                              | -1,3             | 1,7                  |
| 30          | 28           | 900     | 10,1              | 8,7               | 101,5               | 76,2                | 88,0                             | -1,6             | 2,6                  |
| 34          | 31           | 1156    | 14,1              | 11,7              | 198,1               | 137,6               | 165,1                            | -2,7             | 7,4                  |
| 35          | 33           | 1225    | 15,1              | 13,7              | 227,2               | 188,6               | 207,0                            | -1,7             | 3,0                  |
| 27          | 26           | 729     | 7,1               | 6,7               | 50,0                | 45,3                | 47,6                             | -0,5             | 0,3                  |
| 16          | 15           | 256     | -3,9              | -4,3              | 15,4                | 18,2                | 16,8                             | -0,2             | 0,1                  |
| 25          | 25           | 625     | 5,1               | 5,7               | 25,7                | 32,9                | 29,1                             | 0,5              | 0,3                  |
| 17          | 15           | 289     | -2,9              | -4,3              | 8,6                 | 18,2                | 12,5                             | -1,3             | 1,6                  |
| 29          | 31           | 841     | 9,1               | 11,7              | 82,3                | 137,6               | 106,4                            | 2,4              | 5,9                  |
| 39          | 41           | 1521    | 19,1              | 21,7              | 363,8               | 472,3               | 414,5                            | 2,2              | 4,6                  |
| 14          | 14           | 196     | -5,9              | -5,3              | 35,1                | 27,8                | 31,2                             | 0,8              | 0,7                  |
| 11          | 10           | 121     | -8,9              | -9,3              | 79,7                | 85,9                | 82,7                             | -0,1             | 0,0                  |
| 12          | 11           | 144     | -7,9              | -8,3              | 62,8                | 68,4                | 65,5                             | -0,1             | 0,0                  |
| 8           | 7            | 64      | -11,9             | -12,3             | 142,2               | 150,5               | 146,3                            | 0,0              | 0,0                  |

Tabla 65. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup>      | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 9                   | 8                    | 81                               | -10,9                         | -11,3                         | 119,4                                      | 127,0                                      | 123,1   | -0,1                              | 0,0   |
| 18                  | 19                   | 324                              | -1,9                          | -0,3                          | 3,7  | 0,1  | 0,5   | 1,7                               | 2,9   |
| 13                  | 11                   | 169                              | -6,9                          | -8,3                          | 48,0                                       | 68,4                                       | 57,3  | -1,2                              | 1,3   |
| 12                  | 11                   | 144                              | -7,9                          | -8,3                          | 62,8                                       | 68,4                                       | 65,5  | -0,1                              | 0,0   |
| 8                   | 8                    | 64                               | -11,9                         | -11,3                         | 142,2                                      | 127,0                                      | 134,4   | 1,0                               | 0,9   |
| 9                   | 7                    | 81                               | -10,9                         | -12,3                         | 119,4                                      | 150,5                                      | 134,1   | -1,1                              | 1,1   |
| 9                   | 8                    | 81                               | -10,9                         | -11,3                         | 119,4                                      | 127,0                                      | 123,1   | -0,1                              | 0,0   |
| 18                  | 17                   | 324                              | -1,9                          | -2,3                          | 3,7  | 5,1  | 4,4   | -0,3                              | 0,1   |
| 30                  | 32                   | 900                              | 10,1                          | 12,7                          | 101,5                                      | 162,1                                      | 128,2   | 2,4                               | 5,7   |
| 26                  | 30                   | 676                              | 6,1                           | 10,7                          | 36,9                                       | 115,2                                      | 65,2  | 4,5                               | 20,2  |
| 20                  | 22                   | 400                              | 0,1                           | 2,7                           | 0,0  | 7,5  | 0,2   | 2,7                               | 7,1   |
| 12                  | 12                   | 144                              | -7,9                          | -7,3                          | 62,8                                       | 52,8                                       | 57,6  | 0,9                               | 0,8   |
| 17                  | 17                   | 289                              | -2,9                          | -2,3                          | 8,6  | 5,1  | 6,6   | 0,7                               | 0,5   |
| 16                  | 16                   | 256                              | -3,9                          | -3,3                          | 15,4                                       | 10,7                                       | 12,8  | 0,8                               | 0,6   |
| 15                  | 16                   | 225                              | -4,9                          | -3,3                          | 24,3                                       | 10,7                                       | 16,1  | 1,8                               | 3,2   |
| 23                  | 26                   | 529                              | 3,1                           | 6,7                           | 9,4  | 45,3                                       | 20,7  | 3,6                               | 12,8  |
| 24                  | 27                   | 576                              | 4,1                           | 7,7                           | 16,6                                       | 59,8                                       | 31,5  | 3,6                               | 12,6  |
| $\bar{x}$           | $\bar{y}$            | suma x <sub>i</sub> <sup>2</sup> |                               |                               | <b>Sxx</b>                                 | <b>Syy</b>                                 | <b>Sxy</b>  |                                   | <b>RSS</b>  |
| 19,9                | 19,3                 | 19335                            |                               |                               | 3055                                       | 3214                                       | 3052  |                                   | 168   |

**Ecuación 1**

n= número de pares de datos=41

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i$$

Eq 2

$$b = \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xx})^2}}{2S_{xy}}$$
$$b = \frac{3214 - 3055 + \sqrt{(3214 - 3055)^2 + 4(3055)^2}}{2 \times 3055} = 1,026$$

Eq 3

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$
$$a = 19,2 - 1,026 \times 19,9 = -1,185$$

### CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE A Y LA ORDENADA EN ORIGEN B:  $U_{(B)}$  Y  $U_{(A)}$

Eq 4

$$u^2(b) = \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} = \frac{3214 - (3052^2 / 3055)}{(41-2) \cdot 3055} = 0,001$$
$$u(b) = 0,037$$

Eq 5

$$u^2(a) = u^2(b) \frac{\sum x^2}{n} = 0,001 \frac{19335}{41} = 0,654$$
$$u(a) = 0,809$$

## INCERTIDUMBRE COMBINADA $u_{(CR)}$

### Eq 10

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{Rss}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (a + (b-1)x_i)^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{168}{(41-2)} - 1,5^2 + (-1,185 + (1,026 - 1)1,5)^2 = 2,1$$

$$u_{CR}(y_{i,cal}) = 1,4$$

n= número de pares de datos

$Rss = \sum_{i=1}^n (y_i - c - dx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia

a= término independiente

b=pendiente

$x_i$ = es el Valor límite del parámetro medido PM10: 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA

### Eq 14

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L}$$

$$\omega_{sam} = \frac{1,4}{50}$$

$$\omega_{sam} = 2,9\%$$

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

### Eq 15

$$U_{sam} = k \cdot u_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 2,9\% = 5,7\%$$

## ANEXO VI: CAMPAÑA MAZARREDO PM2,5

### CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

$$y = a + bx$$

Tabla 66. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 17                  | 13                   | 289                         | 3,386                         | 0,471                         | 11,463                                     | 0,222                                      | 1,596   | -2,682                            | 7,193   |
| 28                  | 21                   | 784                         | 14,386                        | 8,471                         | 206,949                                    | 71,765                                     | 121,868   | -4,928                            | 24,281  |
| 8                   | 13                   | 64                          | -5,614                        | 0,471                         | 31,520                                     | 0,222                                      | -2,647  | 5,701                             | 32,497  |
| 10                  | 10                   | 100                         | -3,614                        | -2,529                        | 13,063                                     | 6,394                                      | 9,139   | 0,838                             | 0,702   |
| 15                  | 14                   | 225                         | 1,386                         | 1,471                         | 1,920                                      | 2,165                                      | 2,039   | 0,181                             | 0,033   |
| 22                  | 19                   | 484                         | 8,386                         | 6,471                         | 70,320                                     | 41,879                                     | 54,268  | -1,339                            | 1,793   |
| 15                  | 15                   | 225                         | 1,386                         | 2,471                         | 1,920                                      | 6,108                                      | 3,425   | 1,181                             | 1,394   |
| 14                  | 13                   | 196                         | 0,386                         | 0,471                         | 0,149                                      | 0,222                                      | 0,182   | 0,112                             | 0,013   |
| 20                  | 14                   | 400                         | 6,386                         | 1,471                         | 40,777                                     | 2,165                                      | 9,396   | -4,476                            | 20,037  |
| 19                  | 15                   | 361                         | 5,386                         | 2,471                         | 29,006                                     | 6,108                                      | 13,310  | -2,545                            | 6,476   |
| 7                   | 6                    | 49                          | -6,614                        | -6,529                        | 43,749                                     | 42,622                                     | 43,182  | -0,368                            | 0,135   |
| 13                  | 14                   | 169                         | -0,614                        | 1,471                         | 0,377                                      | 2,165                                      | -0,904  | 2,044                             | 4,176   |
| 14                  | 11                   | 196                         | 0,386                         | -1,529                        | 0,149                                      | 2,337                                      | -0,590  | -1,888                            | 3,564   |
| 20                  | 16                   | 400                         | 6,386                         | 3,471                         | 40,777                                     | 12,051                                     | 22,168  | -2,476                            | 6,132   |
| 18                  | 13                   | 324                         | 4,386                         | 0,471                         | 19,234                                     | 0,222                                      | 2,068   | -3,613                            | 13,057  |
| 23                  | 20                   | 529                         | 9,386                         | 7,471                         | 88,092                                     | 55,822                                     | 70,125  | -1,271                            | 1,614   |
| 17                  | 15                   | 289                         | 3,386                         | 2,471                         | 11,463                                     | 6,108                                      | 8,368   | -0,682                            | 0,465   |
| 21                  | 20                   | 441                         | 7,386                         | 7,471                         | 54,549                                     | 55,822                                     | 55,182  | 0,592                             | 0,351   |
| 17                  | 14                   | 289                         | 3,386                         | 1,471                         | 11,463                                     | 2,165                                      | 4,982   | -1,682                            | 2,829   |
| 5                   | 4                    | 25                          | -8,614                        | -8,529                        | 74,206                                     | 72,737                                     | 73,468  | -0,505                            | 0,255   |
| 10                  | 7                    | 100                         | -3,614                        | -5,529                        | 13,063                                     | 30,565                                     | 19,982  | -2,162                            | 4,675   |

Tabla 66. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 14                  | 12                   | 196                         | 0,386                         | -0,529                        | 0,149                                      | 0,279                                      | -0,204  | -0,888                            | 0,788   |
| 13                  | 12                   | 169                         | -0,614                        | -0,529                        | 0,377                                      | 0,279                                      | 0,325   | 0,044                             | 0,002   |
| 6                   | 6                    | 36                          | -7,614                        | -6,529                        | 57,977                                     | 42,622                                     | 49,710  | 0,563                             | 0,317   |
| 11                  | 11                   | 121                         | -2,614                        | -1,529                        | 6,834                                      | 2,337                                      | 3,996   | 0,906                             | 0,822   |
| 15                  | 16                   | 225                         | 1,386                         | 3,471                         | 1,920                                      | 12,051                                     | 4,810   | 2,181                             | 4,756   |
| 20                  | 17                   | 400                         | 6,386                         | 4,471                         | 40,777                                     | 19,994                                     | 28,553  | -1,476                            | 2,179   |
| 17                  | 14                   | 289                         | 3,386                         | 1,471                         | 11,463                                     | 2,165                                      | 4,982   | -1,682                            | 2,829   |
| 7                   | 8                    | 49                          | -6,614                        | -4,529                        | 43,749                                     | 20,508                                     | 29,953  | 1,632                             | 2,664   |
| 15                  | 14                   | 225                         | 1,386                         | 1,471                         | 1,920                                      | 2,165                                      | 2,039   | 0,181                             | 0,033   |
| 10                  | 9                    | 100                         | -3,614                        | -3,529                        | 13,063                                     | 12,451                                     | 12,753  | -0,162                            | 0,026   |
| 18                  | 16                   | 324                         | 4,386                         | 3,471                         | 19,234                                     | 12,051                                     | 15,225  | -0,613                            | 0,376   |
| 24                  | 22                   | 576                         | 10,386                        | 9,471                         | 107,863                                    | 89,708                                     | 98,368  | -0,202                            | 0,041   |
| 7                   | 6                    | 49                          | -6,614                        | -6,529                        | 43,749                                     | 42,622                                     | 43,182  | -0,368                            | 0,135   |
| 5                   | 5                    | 25                          | -8,614                        | -7,529                        | 74,206                                     | 56,679                                     | 64,853  | 0,495                             | 0,245   |
| 7                   | 5                    | 49                          | -6,614                        | -7,529                        | 43,749                                     | 56,679                                     | 49,796  | -1,368                            | 1,871   |
| 8                   | 6                    | 64                          | -5,614                        | -6,529                        | 31,520                                     | 42,622                                     | 36,653  | -1,299                            | 1,688   |
| 14                  | 14                   | 196                         | 0,386                         | 1,471                         | 0,149                                      | 2,165                                      | 0,568   | 1,112                             | 1,237   |
| 7                   | 6                    | 49                          | -6,614                        | -6,529                        | 43,749                                     | 42,622                                     | 43,182  | -0,368                            | 0,135   |
| 6                   | 6                    | 36                          | -7,614                        | -6,529                        | 57,977                                     | 42,622                                     | 49,710  | 0,563                             | 0,317   |
| 5                   | 5                    | 25                          | -8,614                        | -7,529                        | 74,206                                     | 56,679                                     | 64,853  | 0,495                             | 0,245   |
| 4                   | 4                    | 16                          | -9,614                        | -8,529                        | 92,434                                     | 72,737                                     | 81,996  | 0,426                             | 0,182   |
| 5                   | 5                    | 25                          | -8,614                        | -7,529                        | 74,206                                     | 56,679                                     | 64,853  | 0,495                             | 0,245   |

Tabla 66. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 37                  | 36                   | 1369                        | 23,386                        | 23,471                        | 546,892                                    | 550,908                                    | 548,896   | 1,690                             | 2,855   |
| 16                  | 20                   | 256                         | 2,386                         | 7,471                         | 5,692                                      | 55,822                                     | 17,825  | 5,249                             | 27,556  |
| 16                  | 17                   | 256                         | 2,386                         | 4,471                         | 5,692                                      | 19,994                                     | 10,668  | 2,249                             | 5,060   |
| 10                  | 11                   | 100                         | -3,614                        | -1,529                        | 13,063                                     | 2,337                                      | 5,525   | 1,838                             | 3,378   |
| 6                   | 6                    | 36                          | -7,614                        | -6,529                        | 57,977                                     | 42,622                                     | 49,710  | 0,563                             | 0,317   |
| 6                   | 7                    | 36                          | -7,614                        | -5,529                        | 57,977                                     | 30,565                                     | 42,096  | 1,563                             | 2,444   |
| 7                   | 7                    | 49                          | -6,614                        | -5,529                        | 43,749                                     | 30,565                                     | 36,568  | 0,632                             | 0,399   |
| 8                   | 8                    | 64                          | -5,614                        | -4,529                        | 31,520                                     | 20,508                                     | 25,425  | 0,701                             | 0,491   |
| 3                   | 3                    | 9                           | -10,614                       | -9,529                        | 112,663                                    | 90,794                                     | 101,139   | 0,358                             | 0,128   |
| 7                   | 5                    | 49                          | -6,614                        | -7,529                        | 43,749                                     | 56,679                                     | 49,796  | -1,368                            | 1,871   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -4,614                        | -4,529                        | 21,292                                     | 20,508                                     | 20,896  | -0,231                            | 0,053   |
| 16                  | 16                   | 256                         | 2,386                         | 3,471                         | 5,692                                      | 12,051                                     | 8,282   | 1,249                             | 1,561   |
| 19                  | 23                   | 361                         | 5,386                         | 10,471                        | 29,006                                     | 109,651                                    | 56,396  | 5,455                             | 29,758  |
| 13                  | 13                   | 169                         | -0,614                        | 0,471                         | 0,377                                      | 0,222                                      | -0,290  | 1,044                             | 1,089   |
| 11                  | 11                   | 121                         | -2,614                        | -1,529                        | 6,834                                      | 2,337                                      | 3,996   | 0,906                             | 0,822   |
| 4                   | 4                    | 16                          | -9,614                        | -8,529                        | 92,434                                     | 72,737                                     | 81,996  | 0,426                             | 0,182   |
| $\bar{x}_i$         | $\bar{y}_{ical}$     | $\sum x_i^2$                |                               |                               | <b>Sxx</b>                                 | <b>Syy</b>                                 | <b>Sxy</b>  |                                   | <b>RSS</b>  |
| 13,6                | 12,5                 | 16095                       |                               |                               | 3121                                       | 2725                                       | 2778  |                                   | 257   |

### Ecuación 1

n= número de pares de datos=70

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i$$

**Eq 2**

$$b = \frac{Syy - Sxx + \sqrt{(Syy - Sxx)^2 + 4(Sxx)^2}}{2Sxy}$$

$$b = \frac{2725 - 3121 + \sqrt{(2725 - 3121)^2 + 4(3121)^2}}{2 \times 2778} = 0,931$$

**Eq 3**

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$a = 12,5 - 0,931 \times 13,6 = -0,152$$

**CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE**

**INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE A Y LA ORDENADA EN ORIGEN B: U<sub>(B)</sub> Y U<sub>(A)</sub>**

**Eq 4**

$$u^2(b) = \frac{Syy - ((Sxy)^2 / Sxx) - 2725 - (2778^2 / 3121)}{(n-2) \cdot Sxx} = 0,001$$

$$u(b) = 0,034$$

**Eq 5**

$$u^2(a) = u^2(b) \frac{\sum x^2}{n} = 0,001 \frac{16095}{70} = 0,273$$

$$u(a) = 0,522$$

**INCERTIDUMBRE COMBINADA U<sub>(CR)</sub>**

**Eq 10**

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{Rss}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (a + (b-1)x_i)^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{257}{(70-2)} - 1,5^2 + (-0,152 + (0,931-1)30)^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = 2,5$$

n= número de pares de datos=70

Rss =  $\sum_{i=1}^n (y_i - c - dx_i)^2$  la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

u<sub>(xi)</sub>=incertidumbre de los resultados del método de referencia=1,50

a= término independiente

b=pendiente

$u_{(a)}$  = incertidumbre de la ordenada en origen

$u_{(b)}$  = incertidumbre de la pendiente

$x_i$  = valor límite de la medida establecido en la normativa (PM2,5: 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA

### Eq 14

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L}$$

$$\omega_{sam} = \frac{2,5}{30}$$

$$\omega_{sam} = 8,3\%$$

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

### Eq 15

$$U_{sam} = k \cdot u_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 8,3\% = 16,6\%$$

**ANEXO VII: CAMPAÑA BASAURI PM10**

**CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN 1**

$$y = a + bx$$

**Tabla 67. Cálculo función corrección**

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 20                  | 17                   | 400                         | -3,6                          | -2,6                          | 13,2                                       | 7,0  | 9,6   | 0,6                               | 0,3   |
| 21                  | 19                   | 441                         | -2,6                          | -0,6                          | 7,0  | 0,4  | 1,7   | 1,7                               | 2,9   |
| 33                  | 25                   | 1089                        | 9,4                           | 5,4                           | 87,7                                       | 28,8                                       | 50,2  | -2,9                              | 8,5   |
| 30                  | 25                   | 900                         | 6,4                           | 5,4                           | 40,5                                       | 28,8                                       | 34,1  | -0,3                              | 0,1   |
| 35                  | 28                   | 1225                        | 11,4                          | 8,4                           | 129,1                                      | 70,0                                       | 95,0  | -1,7                              | 2,8   |
| 43                  | 33                   | 1849                        | 19,4                          | 13,4                          | 375,0                                      | 178,6                                      | 258,8   | -3,8                              | 14,1  |
| 27                  | 21                   | 729                         | 3,4                           | 1,4                           | 11,3                                       | 1,9  | 4,6   | -1,6                              | 2,6   |
| 34                  | 30                   | 1156                        | 10,4                          | 10,4                          | 107,4                                      | 107,4                                      | 107,4   | 1,2                               | 1,4   |
| 15                  | 10                   | 225                         | -8,6                          | -9,6                          | 74,6                                       | 92,9                                       | 83,2  | -2,0                              | 4,0   |
| 19                  | 15                   | 361                         | -4,6                          | -4,6                          | 21,5                                       | 21,5                                       | 21,5  | -0,5                              | 0,3   |
| 30                  | 25                   | 900                         | 6,4                           | 5,4                           | 40,5                                       | 28,8                                       | 34,1  | -0,3                              | 0,1   |
| 27                  | 20                   | 729                         | 3,4                           | 0,4                           | 11,3                                       | 0,1  | 1,2   | -2,6                              | 6,8   |
| 16                  | 12                   | 256                         | -7,6                          | -7,6                          | 58,3                                       | 58,3                                       | 58,3  | -0,9                              | 0,8   |
| 18                  | 15                   | 324                         | -5,6                          | -4,6                          | 31,8                                       | 21,5                                       | 26,1  | 0,3                               | 0,1   |
| 30                  | 26                   | 900                         | 6,4                           | 6,4                           | 40,5                                       | 40,5                                       | 40,5  | 0,7                               | 0,5   |
| 38                  | 32                   | 1444                        | 14,4                          | 12,4                          | 206,3                                      | 152,9                                      | 177,6   | -0,3                              | 0,1   |
| 33                  | 29                   | 1089                        | 9,4                           | 9,4                           | 87,7                                       | 87,7                                       | 87,7  | 1,1                               | 1,2   |
| 31                  | 27                   | 961                         | 7,4                           | 7,4                           | 54,2                                       | 54,2                                       | 54,2  | 0,9                               | 0,7   |
| 19                  | 15                   | 361                         | -4,6                          | -4,6                          | 21,5                                       | 21,5                                       | 21,5  | -0,5                              | 0,3   |
| 28                  | 27                   | 784                         | 4,4                           | 7,4                           | 19,0                                       | 54,2                                       | 32,1  | 3,5                               | 12,3  |
| 20                  | 16                   | 400                         | -3,6                          | -3,6                          | 13,2                                       | 13,2                                       | 13,2  | -0,4                              | 0,2   |
| 32                  | 30                   | 1024                        | 8,4                           | 10,4                          | 70,0                                       | 107,4                                      | 86,7  | 3,0                               | 8,8   |

Tabla 67. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup>      | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 42                  | 38                   | 1764                             | 18,4                          | 18,4                          | 337,2                                      | 337,2                                      | 337,2   | 2,1                               | 4,5   |
| 16                  | 12                   | 256                              | -7,6                          | -7,6                          | 58,3                                       | 58,3                                       | 58,3  | -0,9                              | 0,8   |
| 15                  | 12                   | 225                              | -8,6                          | -7,6                          | 74,6                                       | 58,3                                       | 66,0  | 0,0                               | 0,0   |
| 20                  | 17                   | 400                              | -3,6                          | -2,6                          | 13,2                                       | 7,0  | 9,6   | 0,6                               | 0,3   |
| 16                  | 12                   | 256                              | -7,6                          | -7,6                          | 58,3                                       | 58,3                                       | 58,3  | -0,9                              | 0,8   |
| 15                  | 13                   | 225                              | -8,6                          | -6,6                          | 74,6                                       | 44,0                                       | 57,3  | 1,0                               | 1,0   |
| 11                  | 9                    | 121                              | -12,6                         | -10,6                         | 159,7                                      | 113,1                                      | 134,4   | 0,5                               | 0,3   |
| 9                   | 7                    | 81                               | -14,6                         | -12,6                         | 214,2                                      | 159,7                                      | 185,0   | 0,3                               | 0,1   |
| 11                  | 9                    | 121                              | -12,6                         | -10,6                         | 159,7                                      | 113,1                                      | 134,4   | 0,5                               | 0,3   |
| 13                  | 11                   | 169                              | -10,6                         | -8,6                          | 113,1                                      | 74,6                                       | 91,9  | 0,8                               | 0,6   |
| 13                  | 11                   | 169                              | -10,6                         | -8,6                          | 113,1                                      | 74,6                                       | 91,9  | 0,8                               | 0,6   |
| $\bar{x}$           | $\bar{y}$            | suma x <sub>i</sub> <sup>2</sup> |                               |                               | Sxx  | Syy  | Sxy   |                                   | RSS   |
| 23,6                | 19,6                 | 21334                            |                               |                               | 2898                                       | 2276                                       | 2524  |                                   | 78  |

Ecuación 1

$$\begin{aligned}
 S_{xx} &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\
 S_{yy} &= \sum (y_i - \bar{y})^2 \\
 S_{xy} &= \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y}) \\
 \bar{x} &= 1/n \sum x_i \\
 \bar{y} &= 1/n \sum y_i
 \end{aligned}$$

Eq 2

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xy})^2}}{2S_{xy}} \\
 b &= \frac{2276 - 2898 + \sqrt{(2276 - 2898)^2 + 4(2898)^2}}{2 \times 2524} = 0,884
 \end{aligned}$$

Eq 3

$$\begin{aligned}
 a &= \bar{y} - b \cdot \bar{x} \\
 a &= 19,6 - 0,884 \times 23,6 = -1,266 \\
 a &= -1,266
 \end{aligned}$$

**CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCION CORREGIDA**

$$y_{ical} = c + d x_i$$

**Tabla 68. Cálculo función corrección corregida**

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> /b | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 20                  | 19,2                                 | 400                         | -3,6                          | -3,0                          | 13,2                                       | 8,9  | 10,8  | 0,7                               | 0,4   |
| 21                  | 21,5                                 | 441                         | -2,6                          | -0,7                          | 7,0  | 0,5  | 1,9   | 1,9                               | 3,7   |
| 33                  | 28,3                                 | 1089                        | 9,4                           | 6,1                           | 87,7                                       | 36,8                                       | 56,8  | -3,3                              | 11,0  |
| 30                  | 28,3                                 | 900                         | 6,4                           | 6,1                           | 40,5                                       | 36,8                                       | 38,6  | -0,3                              | 0,1   |
| 35                  | 31,7                                 | 1225                        | 11,4                          | 9,5                           | 129,1                                      | 89,4                                       | 107,5   | -1,9                              | 3,7   |
| 43                  | 37,3                                 | 1849                        | 19,4                          | 15,1                          | 375,0                                      | 228,4                                      | 292,6   | -4,3                              | 18,4  |
| 27                  | 23,7                                 | 729                         | 3,4                           | 1,5                           | 11,3                                       | 2,4  | 5,2   | -1,8                              | 3,3   |
| 34                  | 33,9                                 | 1156                        | 10,4                          | 11,7                          | 107,4                                      | 137,3                                      | 121,5   | 1,3                               | 1,8   |
| 15                  | 11,3                                 | 225                         | -8,6                          | -10,9                         | 74,6                                       | 118,7                                      | 94,1  | -2,2                              | 5,0   |
| 19                  | 17,0                                 | 361                         | -4,6                          | -5,2                          | 21,5                                       | 27,5                                       | 24,3  | -0,6                              | 0,4   |
| 30                  | 28,3                                 | 900                         | 6,4                           | 6,1                           | 40,5                                       | 36,8                                       | 38,6  | -0,3                              | 0,1   |
| 27                  | 22,6                                 | 729                         | 3,4                           | 0,4                           | 11,3                                       | 0,2  | 1,4   | -3,0                              | 8,8   |
| 16                  | 13,6                                 | 256                         | -7,6                          | -8,6                          | 58,3                                       | 74,6                                       | 65,9  | -1,0                              | 1,0   |
| 18                  | 17,0                                 | 324                         | -5,6                          | -5,2                          | 31,8                                       | 27,5                                       | 29,6  | 0,4                               | 0,2   |
| 30                  | 29,4                                 | 900                         | 6,4                           | 7,2                           | 40,5                                       | 51,8                                       | 45,8  | 0,8                               | 0,7   |
| 38                  | 36,2                                 | 1444                        | 14,4                          | 14,0                          | 206,3                                      | 195,5                                      | 200,8   | -0,4                              | 0,2   |
| 33                  | 32,8                                 | 1089                        | 9,4                           | 10,6                          | 87,7                                       | 112,1                                      | 99,1  | 1,2                               | 1,5   |
| 31                  | 30,5                                 | 961                         | 7,4                           | 8,3                           | 54,2                                       | 69,3                                       | 61,3  | 0,9                               | 0,9   |
| 19                  | 17,0                                 | 361                         | -4,6                          | -5,2                          | 21,5                                       | 27,5                                       | 24,3  | -0,6                              | 0,4   |
| 28                  | 30,5                                 | 784                         | 4,4                           | 8,3                           | 19,0                                       | 69,3                                       | 36,3  | 4,0                               | 15,6  |
| 20                  | 18,1                                 | 400                         | -3,6                          | -4,1                          | 13,2                                       | 16,9                                       | 15,0  | -0,5                              | 0,2   |
| 32                  | 33,9                                 | 1024                        | 8,4                           | 11,7                          | 70,0                                       | 137,3                                      | 98,0  | 3,3                               | 11,1  |
| 42                  | 43,0                                 | 1764                        | 18,4                          | 20,8                          | 337,2                                      | 431,2                                      | 381,3   | 2,4                               | 5,6   |

Tabla 68. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> /b | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 16                  | 13,6                                 | 256                         | -7,6                          | -8,6                          | 58,3                                       | 74,6                                       | 65,9  | -1,0                              | 1,0   |
| 15                  | 13,6                                 | 225                         | -8,6                          | -8,6                          | 74,6                                       | 74,6                                       | 74,6  | 0,0                               | 0,0   |
| 20                  | 19,2                                 | 400                         | -3,6                          | -3,0                          | 13,2                                       | 8,9  | 10,8  | 0,7                               | 0,4   |
| 16                  | 13,6                                 | 256                         | -7,6                          | -8,6                          | 58,3                                       | 74,6                                       | 65,9  | -1,0                              | 1,0   |
| 15                  | 14,7                                 | 225                         | -8,6                          | -7,5                          | 74,6                                       | 56,3                                       | 64,8  | 1,2                               | 1,3   |
| 11                  | 10,2                                 | 121                         | -12,6                         | -12,0                         | 159,7                                      | 144,7                                      | 152,0   | 0,6                               | 0,4   |
| 9                   | 7,9                                  | 81                          | -14,6                         | -14,3                         | 214,2                                      | 204,2                                      | 209,1   | 0,4                               | 0,1   |
| 11                  | 10,2                                 | 121                         | -12,6                         | -12,0                         | 159,7                                      | 144,7                                      | 152,0   | 0,6                               | 0,4   |
| 13                  | 12,4                                 | 169                         | -10,6                         | -9,8                          | 113,1                                      | 95,4                                       | 103,9   | 0,9                               | 0,8   |
| 13                  | 12,4                                 | 169                         | -10,6                         | -9,8                          | 113,1                                      | 95,4                                       | 103,9   | 0,9                               | 0,8   |
| $\bar{x}_i$         | $\bar{y}_{ical}$                     | $\sum x_i^2$                |                               |                               | <b>Sxx</b>                                 | <b>Syy</b>                                 | <b>Sxy</b>  |                                   | <b>RSS</b>  |
| 23,6                | 22,2                                 | 21334                       |                               |                               | 2898                                       | 4903                                       | 2854  |                                   | 100   |

Ecuación 1

$$\begin{aligned}
 S_{xx} &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\
 S_{yy} &= \sum (y_i - \bar{y})^2 \\
 S_{xy} &= \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y}) \\
 \bar{x} &= 1/n \sum x_i \\
 \bar{y} &= 1/n \sum y_i
 \end{aligned}$$

Eq 6

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xy})^2}}{2S_{xy}} \\
 d &= \frac{2910 - 2898 + \sqrt{(2910 - 2898)^2 + 4(2898)^2}}{2 \times 2854} = 1,002
 \end{aligned}$$

Eq 7

$$\begin{aligned}
 c &= \bar{y} - d \cdot \bar{x} \\
 c &= 22,2 - 1,002 \times 23,6 = -1,482
 \end{aligned}$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE B Y LA ORDENADA EN ORIGEN A: $U_{(B)}$ Y $U_{(A)}$

Eq 8

$$u^2(b) = \frac{Syy - ((Sxy)^2 / Sxx)}{(n-2) \cdot Sxx} = \frac{2276 - (2524^2 / 2898)}{(33-2) \cdot 2898} = 0,001$$

$$u(b) = 0,029$$

Eq 9

$$u^2(a) = u^2(b) \frac{\sum x^2}{n} = 0,001 \frac{21334}{33} = 0,559$$

$$u(a) = 0,748$$

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE D Y LA ORDENADA EN ORIGEN C: $U_{(D)}$ Y $U_{(C)}$

Eq 8

$$u^2(d) = \frac{Syy - ((Sxy)^2 / Sxx)}{(n-2) \cdot Sxx} = \frac{2910 - (2854^2 / 2898)}{(33-2) \cdot 2898} = 0,001$$

$$u(d) = 0,033$$

Eq 9

$$u^2(c) = u^2(d) \frac{\sum x^2}{n} = 0,001 \frac{21334}{33} = 0,715$$

$$u(c) = 0,846$$

## INCERTIDUMBRE COMBINADA $u_{(CR)}$

Eq 12

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{Rss}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (c + (d-1)x_i)^2 + x_i^2 u_{(b)}^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{100}{(33-2)} - 1,5^2 + (-1,482 + (1,002 - 1)50)^2 + 50^2 \cdot 0,001$$

$$u_{CR}(y_{i,cal}) = 2,2$$

n= número de pares de datos=33

$Rss = \sum_{i=1}^n (y_i - c - dx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal de los datos calibrados

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia=1,5

c= término independiente

d=pendiente

$x_i$ = es el Valor límite del parámetro medido PM10: 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$u_{(b)}$ =incertidumbre de la pendiente original (valor empleado para calcular la  $y_{i,cal}$ )

## INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA

Eq 14

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L}$$

$$\omega_{sam} = \frac{2,2}{50} = 0,045 = 4,5\%$$

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

Eq 15

$$U_{sam} = k \cdot u_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 4,5\% = 9,0\%$$

### ANEXO VIII: CAMPAÑA BASAURI PM2,5

#### CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

$$y = a + bx$$

Tabla 69. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 8                   | 9                    | 64                          | -4,082                        | -1,429                        | 16,660                                     | 2,041                                      | 5,831   | 2,274                             | 5,171   |
| 13                  | 12                   | 169                         | 0,918                         | 1,571                         | 0,843                                      | 2,469                                      | 1,443   | 0,738                             | 0,545   |
| 19                  | 14                   | 361                         | 6,918                         | 3,571                         | 47,864                                     | 12,755                                     | 24,708  | -2,705                            | 7,315   |
| 21                  | 16                   | 441                         | 8,918                         | 5,571                         | 79,537                                     | 31,041                                     | 49,688  | -2,519                            | 6,345   |
| 17                  | 12                   | 289                         | 4,918                         | 1,571                         | 24,190                                     | 2,469                                      | 7,729   | -2,890                            | 8,354   |
| 23                  | 19                   | 529                         | 10,918                        | 8,571                         | 119,211                                    | 73,469                                     | 93,586  | -1,333                            | 1,777   |
| 17                  | 15                   | 289                         | 4,918                         | 4,571                         | 24,190                                     | 20,898                                     | 22,484  | 0,110                             | 0,012   |
| 21                  | 21                   | 441                         | 8,918                         | 10,571                        | 79,537                                     | 111,755                                    | 94,280  | 2,481                             | 6,156   |
| 20                  | 13                   | 400                         | 7,918                         | 2,571                         | 62,701                                     | 6,612                                      | 20,362  | -4,612                            | 21,268  |
| 7                   | 6                    | 49                          | -5,082                        | -4,429                        | 25,823                                     | 19,612                                     | 22,504  | 0,181                             | 0,033   |
| 11                  | 7                    | 121                         | -1,082                        | -3,429                        | 1,170                                      | 11,755                                     | 3,708   | -2,447                            | 5,990   |
| 14                  | 13                   | 196                         | 1,918                         | 2,571                         | 3,680                                      | 6,612                                      | 4,933   | 0,831                             | 0,691   |
| 16                  | 11                   | 256                         | 3,918                         | 0,571                         | 15,354                                     | 0,327                                      | 2,239   | -2,983                            | 8,899   |
| 7                   | 6                    | 49                          | -5,082                        | -4,429                        | 25,823                                     | 19,612                                     | 22,504  | 0,181                             | 0,033   |
| 10                  | 10                   | 100                         | -2,082                        | -0,429                        | 4,333                                      | 0,184                                      | 0,892   | 1,460                             | 2,131   |
| 13                  | 15                   | 169                         | 0,918                         | 4,571                         | 0,843                                      | 20,898                                     | 4,198   | 3,738                             | 13,975  |
| 18                  | 15                   | 324                         | 5,918                         | 4,571                         | 35,027                                     | 20,898                                     | 27,055  | -0,797                            | 0,636   |
| 17                  | 14                   | 289                         | 4,918                         | 3,571                         | 24,190                                     | 12,755                                     | 17,566  | -0,890                            | 0,793   |
| 14                  | 13                   | 196                         | 1,918                         | 2,571                         | 3,680                                      | 6,612                                      | 4,933   | 0,831                             | 0,691   |
| 8                   | 8                    | 64                          | -4,082                        | -2,429                        | 16,660                                     | 5,898                                      | 9,913   | 1,274                             | 1,623   |
| 16                  | 13                   | 256                         | 3,918                         | 2,571                         | 15,354                                     | 6,612                                      | 10,076  | -0,983                            | 0,966   |
| 10                  | 8                    | 100                         | -2,082                        | -2,429                        | 4,333                                      | 5,898                                      | 5,055   | -0,540                            | 0,292   |
| 16                  | 15                   | 256                         | 3,918                         | 4,571                         | 15,354                                     | 20,898                                     | 17,913  | 1,017                             | 1,034   |

Tabla 69. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup>      | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 23                  | 20                   | 529                              | 10,918                        | 9,571                         | 119,211                                    | 91,612                                     | 104,504   | -0,333                            | 0,111   |
| 9                   | 8                    | 81                               | -3,082                        | -2,429                        | 9,496                                      | 5,898                                      | 7,484   | 0,367                             | 0,135   |
| 9                   | 8                    | 81                               | -3,082                        | -2,429                        | 9,496                                      | 5,898                                      | 7,484   | 0,367                             | 0,135   |
| 14                  | 13                   | 196                              | 1,918                         | 2,571                         | 3,680                                      | 6,612                                      | 4,933   | 0,831                             | 0,691   |
| 8                   | 6                    | 64                               | -4,082                        | -4,429                        | 16,660                                     | 19,612                                     | 18,076  | -0,726                            | 0,527   |
| 8                   | 6                    | 64                               | -4,082                        | -4,429                        | 16,660                                     | 19,612                                     | 18,076  | -0,726                            | 0,527   |
| 6                   | 5                    | 36                               | -6,082                        | -5,429                        | 36,986                                     | 29,469                                     | 33,015  | 0,088                             | 0,008   |
| 5                   | 4                    | 25                               | -7,082                        | -6,429                        | 50,150                                     | 41,327                                     | 45,525  | -0,004                            | 0,000   |
| 6                   | 5                    | 36                               | -6,082                        | -5,429                        | 36,986                                     | 29,469                                     | 33,015  | 0,088                             | 0,008   |
| 7                   | 6                    | 49                               | -5,082                        | -4,429                        | 25,823                                     | 19,612                                     | 22,504  | 0,181                             | 0,033   |
| 9                   | 5                    | 81                               | -3,082                        | -5,429                        | 9,496                                      | 29,469                                     | 16,729  | -2,633                            | 6,933   |
| 19                  | 20                   | 361                              | 6,918                         | 9,571                         | 47,864                                     | 91,612                                     | 66,219  | 3,295                             | 10,860  |
| 8                   | 7                    | 64                               | -4,082                        | -3,429                        | 16,660                                     | 11,755                                     | 13,994  | 0,274                             | 0,075   |
| 8                   | 6                    | 64                               | -4,082                        | -4,429                        | 16,660                                     | 19,612                                     | 18,076  | -0,726                            | 0,527   |
| 9                   | 7                    | 81                               | -3,082                        | -3,429                        | 9,496                                      | 11,755                                     | 10,566  | -0,633                            | 0,401   |
| 6                   | 3                    | 36                               | -6,082                        | -7,429                        | 36,986                                     | 55,184                                     | 45,178  | -1,912                            | 3,654   |
| 7                   | 5                    | 49                               | -5,082                        | -5,429                        | 25,823                                     | 29,469                                     | 27,586  | -0,819                            | 0,670   |
| 8                   | 8                    | 64                               | -4,082                        | -2,429                        | 16,660                                     | 5,898                                      | 9,913   | 1,274                             | 1,623   |
| 15                  | 16                   | 225                              | 2,918                         | 5,571                         | 8,517                                      | 31,041                                     | 16,259  | 2,924                             | 8,550   |
| 20                  | 19                   | 400                              | 7,918                         | 8,571                         | 62,701                                     | 73,469                                     | 67,872  | 1,388                             | 1,927   |
| 13                  | 12                   | 169                              | 0,918                         | 1,571                         | 0,843                                      | 2,469                                      | 1,443   | 0,738                             | 0,545   |
| 11                  | 12                   | 121                              | -1,082                        | 1,571                         | 1,170                                      | 2,469                                      | -1,700  | 2,553                             | 6,516   |
| 4                   | 4                    | 16                               | -8,082                        | -6,429                        | 65,313                                     | 41,327                                     | 51,953  | 0,903                             | 0,815   |
| 4                   | 5                    | 16                               | -8,082                        | -5,429                        | 65,313                                     | 29,469                                     | 43,872  | 1,903                             | 3,620   |
| 9                   | 8                    | 81                               | -3,082                        | -2,429                        | 9,496                                      | 5,898                                      | 7,484   | 0,367                             | 0,135   |
| 11                  | 8                    | 121                              | -1,082                        | -2,429                        | 1,170                                      | 5,898                                      | 2,627   | -1,447                            | 2,095   |
| $\bar{x}$           | $\bar{y}$            | suma x <sub>i</sub> <sup>2</sup> |                               |                               | Sxx  | Syy  | Sxy   |                                   | RSS   |
| <b>11,0</b>         | <b>11,2</b>          | <b>7011</b>                      |                               |                               | <b>1148</b>                                | <b>793</b>                                 | <b>824</b>  |                                   | <b>210</b>  |

### Ecuación 1

$$\begin{aligned}
 S_{xx} &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\
 S_{yy} &= \sum (y_i - \bar{y})^2 \\
 S_{xy} &= \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \\
 \bar{x} &= 1/n \sum x_i \\
 \bar{y} &= 1/n \sum y_i
 \end{aligned}$$

### Eq 2

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xy})^2}}{2S_{xy}} \\
 b &= \frac{793 - 1148 + \sqrt{(793 - 1148)^2 + 4(1148)^2}}{2 \times 824} = 0,808
 \end{aligned}$$

### Eq 3

$$\begin{aligned}
 a &= \bar{y} - b \cdot \bar{x} \\
 a &= 11,2 - 0,887 \times 13,1 = 2,288
 \end{aligned}$$

## CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCION CORREGIDA

$$y_{ical} = c + d x_i$$

Tabla 70. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =(y <sub>i</sub> -a)/b | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ )(y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|--|-----------------------------------|---|
| 8                   | 8,3                                      | 64,0                        | -5,1                          | -2,7                          | 26,2                                       | 7,2  | 13,8   | 3,0                               | 9,1   |
| 13                  | 12,0                                     | 169,0                       | -0,1                          | 1,0                           | 0,0  | 1,1  | -0,1   | 1,2                               | 1,3   |
| 19                  | 14,5                                     | 361,0                       | 5,9                           | 3,5                           | 34,6                                       | 12,3                                       | 20,6   | -3,1                              | 9,4   |
| 21                  | 17,0                                     | 441,0                       | 7,9                           | 6,0                           | 62,2                                       | 35,7                                       | 47,1   | -2,8                              | 8,0   |
| 17                  | 12,0                                     | 289,0                       | 3,9                           | 1,0                           | 15,1                                       | 1,1  | 4,0  | -3,3                              | 11,0  |
| 23                  | 20,7                                     | 529,0                       | 9,9                           | 9,7                           | 97,7                                       | 94,0                                       | 95,8   | -1,3                              | 1,8   |
| 17                  | 15,7                                     | 289,0                       | 3,9                           | 4,7                           | 15,1                                       | 22,5                                       | 18,4   | 0,4                               | 0,2   |
| 21                  | 23,2                                     | 441,0                       | 7,9                           | 12,2                          | 62,2                                       | 148,1                                      | 96,0   | 3,4                               | 11,4  |
| 20                  | 13,3                                     | 400,0                       | 6,9                           | 2,3                           | 47,4                                       | 5,1  | 15,6   | -5,4                              | 29,4  |
| 7                   | 4,6                                      | 49,0                        | -6,1                          | -6,4                          | 37,4                                       | 41,0                                       | 39,2   | 0,4                               | 0,2   |
| 11                  | 5,8                                      | 121,0                       | -2,1                          | -5,2                          | 4,5  | 26,7                                       | 10,9   | -2,8                              | 7,9   |

Anexos

Alumno: Jon Olaeta Txintxurreta

Tabla 70. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =(y <sub>i</sub> -a)/b | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 14                  | 13,3                                     | 196,0                       | 0,9                           | 2,3                           | 0,8  | 5,1  | 2,0   | 1,3                               | 1,6   |
| 16                  | 10,8                                     | 256,0                       | 2,9                           | -0,2                          | 8,3  | 0,0  | -0,6  | -3,4                              | 11,8  |
| 7                   | 4,6                                      | 49,0                        | -6,1                          | -6,4                          | 37,4                                       | 41,0                                       | 39,2  | 0,4                               | 0,2   |
| 10                  | 9,5                                      | 100,0                       | -3,1                          | -1,5                          | 9,7  | 2,1  | 4,5   | 2,0                               | 4,1   |
| 13                  | 15,7                                     | 169,0                       | -0,1                          | 4,7                           | 0,0  | 22,5                                       | -0,5  | 4,9                               | 23,7  |
| 18                  | 15,7                                     | 324,0                       | 4,9                           | 4,7                           | 23,9                                       | 22,5                                       | 23,2  | -0,7                              | 0,5   |
| 17                  | 14,5                                     | 289,0                       | 3,9                           | 3,5                           | 15,1                                       | 12,3                                       | 13,6  | -0,8                              | 0,7   |
| 14                  | 13,3                                     | 196,0                       | 0,9                           | 2,3                           | 0,8  | 5,1  | 2,0   | 1,3                               | 1,6   |
| 8                   | 7,1                                      | 64,0                        | -5,1                          | -3,9                          | 26,2                                       | 15,4                                       | 20,1  | 1,8                               | 3,2   |
| 16                  | 13,3                                     | 256,0                       | 2,9                           | 2,3                           | 8,3  | 5,1  | 6,5   | -1,0                              | 0,9   |
| 10                  | 7,1                                      | 100,0                       | -3,1                          | -3,9                          | 9,7  | 15,4                                       | 12,2  | -0,5                              | 0,2   |
| 16                  | 15,7                                     | 256,0                       | 2,9                           | 4,7                           | 8,3  | 22,5                                       | 13,7  | 1,5                               | 2,3   |
| 23                  | 21,9                                     | 529,0                       | 9,9                           | 10,9                          | 97,7                                       | 119,5                                      | 108,1   | -0,1                              | 0,0   |
| 9                   | 7,1                                      | 81,0                        | -4,1                          | -3,9                          | 16,9                                       | 15,4                                       | 16,2  | 0,7                               | 0,4   |
| 9                   | 7,1                                      | 81,0                        | -4,1                          | -3,9                          | 16,9                                       | 15,4                                       | 16,2  | 0,7                               | 0,4   |
| 14                  | 13,3                                     | 196,0                       | 0,9                           | 2,3                           | 0,8  | 5,1  | 2,0   | 1,3                               | 1,6   |
| 8                   | 4,6                                      | 64,0                        | -5,1                          | -6,4                          | 26,2                                       | 41,0                                       | 32,8  | -0,7                              | 0,5   |
| 8                   | 4,6                                      | 64,0                        | -5,1                          | -6,4                          | 26,2                                       | 41,0                                       | 32,8  | -0,7                              | 0,5   |
| 6                   | 3,4                                      | 36,0                        | -7,1                          | -7,6                          | 50,6                                       | 58,4                                       | 54,4  | 0,3                               | 0,1   |
| 5                   | 2,1                                      | 25,0                        | -8,1                          | -8,9                          | 65,8                                       | 78,9                                       | 72,1  | 0,2                               | 0,0   |
| 6                   | 3,4                                      | 36,0                        | -7,1                          | -7,6                          | 50,6                                       | 58,4                                       | 54,4  | 0,3                               | 0,1   |
| 7                   | 4,6                                      | 49,0                        | -6,1                          | -6,4                          | 37,4                                       | 41,0                                       | 39,2  | 0,4                               | 0,2   |
| 9                   | 3,4                                      | 81,0                        | -4,1                          | -7,6                          | 16,9                                       | 58,4                                       | 31,4  | -3,1                              | 9,3   |
| 19                  | 21,9                                     | 361,0                       | 5,9                           | 10,9                          | 34,6                                       | 119,5                                      | 64,3  | 4,4                               | 19,0  |
| $\bar{x}_i$         | $\bar{y}_{ical}$                         | $\sum x_i^2$                |                               |                               | Sxx  | Syy  | Sxy   |                                   | RSS   |
| 13,1                | 11,0                                     | 7011                        |                               |                               | 992  | 1216                                       | 1021  |                                   | 173   |

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE A Y LA ORDENADA EN ORIGEN B: $U_{(B)}$ Y $U_{(A)}$

Eq 4

$$u^2(\mathbf{b}) = \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} = \frac{793 - (824^2 / 1148)}{(35-2) \cdot 1148} = 0,005$$

$u(\mathbf{b})=0,073$

Eq 5

$$u^2(\mathbf{a}) = u^2(\mathbf{b}) \frac{\sum x^2}{n} = 0,005 \frac{7011}{35} = 1,063$$

$u(\mathbf{a})=1,031$

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE D Y LA ORDENADA EN ORIGEN C: $U_{(D)}$ Y $U_{(C)}$

Eq 8

$$u^2(\mathbf{d}) = \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} = \frac{1216 - (1021^2 / 992)}{(35-2) \cdot 992} = 0,005$$

$u(\mathbf{d}) = 0,071$

Eq 9

$$u^2(\mathbf{c}) = u^2(\mathbf{d}) \frac{\sum x^2}{n} = 0,005 \frac{7011}{35} = 1,011$$

$u(\mathbf{c})= 1,005$

## INCERTIDUMBRE COMBINADA $U_{(CR)}$

### Eq 13

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{Rss}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (c + (d-1)x_i)^2 + x_i^2 u_{(b)}^2 + u_{(a)}^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{111}{(35-2)} - 1,5^2 + (-3,634 + (1,116-1)30)^2 + 30^2 0,073^2 + 1,031^2 = 8,8$$

$$u_{CR} = 3,0$$

n= número de pares de datos

$Rss = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia=1,5

c= término independiente

d=pendiente

$x_i$ = es el Valor límite del parámetro medido PM2,5: 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA

### Eq 14

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L}$$

$$\omega_{sam} = \frac{3,0}{30} = 9,9\%$$

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

### Eq 15

$$U_{sam} = k u_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 9,9\% = 19,8\%$$

**ANEXO IX: CAMPAÑA DURANGO PM10**

**CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN**

$$y = a + bx$$

**Tabla 71. Cálculo función corrección**

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 28                  | 24                   | 784                         | 7,2                           | 6,4                           | 51,4                                       | 41,1                                       | 46,0  | 0,2                               | 0,0   |
| 22                  | 20                   | 484                         | 1,2                           | 2,4                           | 1,4  | 5,8  | 2,8   | 1,4                               | 1,9   |
| 22                  | 22                   | 484                         | 1,2                           | 4,4                           | 1,4  | 19,5                                       | 5,2   | 3,4                               | 11,5  |
| 18                  | 13                   | 324                         | -2,8                          | -4,6                          | 8,0  | 21,0                                       | 13,0  | -2,1                              | 4,5   |
| 22                  | 16                   | 484                         | 1,2                           | -1,6                          | 1,4  | 2,5  | -1,9  | -2,6                              | 6,8   |
| 29                  | 25                   | 841                         | 8,2                           | 7,4                           | 66,8                                       | 55,0                                       | 60,6  | 0,3                               | 0,1   |
| 14                  | 10                   | 196                         | -6,8                          | -7,6                          | 46,6                                       | 57,6                                       | 51,8  | -1,6                              | 2,7   |
| 14                  | 11                   | 196                         | -6,8                          | -6,6                          | 46,6                                       | 43,4                                       | 45,0  | -0,6                              | 0,4   |
| 30                  | 24                   | 900                         | 9,2                           | 6,4                           | 84,1                                       | 41,1                                       | 58,8  | -1,6                              | 2,5   |
| 30                  | 23                   | 900                         | 9,2                           | 5,4                           | 84,1                                       | 29,3                                       | 49,7  | -2,6                              | 6,7   |
| 28                  | 21                   | 784                         | 7,2                           | 3,4                           | 51,4                                       | 11,7                                       | 24,5  | -2,8                              | 8,1   |
| 37                  | 27                   | 1369                        | 16,2                          | 9,4                           | 261,5                                      | 88,6                                       | 152,2   | -4,7                              | 21,9  |
| 18                  | 14                   | 324                         | -2,8                          | -3,6                          | 8,0  | 12,9                                       | 10,1  | -1,1                              | 1,3   |
| 12                  | 9                    | 144                         | -8,8                          | -8,6                          | 77,9                                       | 73,7                                       | 75,8  | -0,9                              | 0,8   |
| 26                  | 21                   | 676                         | 5,2                           | 3,4                           | 26,8                                       | 11,7                                       | 17,7  | -1,1                              | 1,2   |
| 38                  | 32                   | 1444                        | 17,2                          | 14,4                          | 294,9                                      | 207,8                                      | 247,5   | -0,6                              | 0,3   |
| 18                  | 15                   | 324                         | -2,8                          | -2,6                          | 8,0  | 6,7  | 7,3   | -0,1                              | 0,0   |
| 17                  | 16                   | 289                         | -3,8                          | -1,6                          | 14,7                                       | 2,5  | 6,1   | 1,8                               | 3,1   |
| 18                  | 15                   | 324                         | -2,8                          | -2,6                          | 8,0  | 6,7  | 7,3   | -0,1                              | 0,0   |
| 14                  | 12                   | 196                         | -6,8                          | -5,6                          | 46,6                                       | 31,2                                       | 38,1  | 0,4                               | 0,1   |
| 16                  | 13                   | 256                         | -4,8                          | -4,6                          | 23,3                                       | 21,0                                       | 22,1  | -0,4                              | 0,1   |
| 16                  | 14                   | 256                         | -4,8                          | -3,6                          | 23,3                                       | 12,9                                       | 17,3  | 0,6                               | 0,4   |
| 6                   | 4                    | 36                          | -14,8                         | -13,6                         | 219,9                                      | 184,6                                      | 201,5   | -0,7                              | 0,4   |

Tabla 71. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup>      | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 7                   | 6                    | 49                               | -13,8                         | -11,6                         | 191,2                                      | 134,2                                      | 160,2   | 0,5                               | 0,2   |
| 11                  | 10                   | 121                              | -9,8                          | -7,6                          | 96,6                                       | 57,6                                       | 74,6  | 1,0                               | 1,0   |
| 19                  | 17                   | 361                              | -1,8                          | -0,6                          | 3,3  | 0,3  | 1,1   | 1,0                               | 1,0   |
| 27                  | 27                   | 729                              | 6,2                           | 9,4                           | 38,1                                       | 88,6                                       | 58,1  | 4,0                               | 16,3  |
| 20                  | 20                   | 400                              | -0,8                          | 2,4                           | 0,7  | 5,8  | -2,0  | 3,1                               | 9,8   |
| 27                  | 29                   | 729                              | 6,2                           | 11,4                          | 38,1                                       | 130,3                                      | 70,5  | 6,0                               | 36,4  |
| $\bar{x}$           | $\bar{y}$            | suma x <sub>i</sub> <sup>2</sup> |                               |                               | Sxx  | Syy  | Sxy   |                                   | RSS   |
| <b>20,8</b>         | <b>17,6</b>          | <b>14404</b>                     |                               |                               | <b>1824</b>                                | <b>1405</b>                                | <b>1521</b>   |                                   | <b>140</b>  |

### Ecuación 1

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i$$

### Eq 2

$$b = \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xx})^2}}{2S_{xy}}$$

$$b = \frac{1405 - 1824 + \sqrt{(1405 - 1824)^2 + 4(1824)^2}}{2 \times 1521} = 0,872$$

### Eq 3

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$a = 17,6 - 0,872 \times 20,8 = -0,569$$

### CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCION CORREGIDA

$$y_{ical} = c + d x_i$$

Tabla 72. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> /b | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 28                  | 27,5                                 | 784                         | 7,2                           | 7,4                           | 51,4                                       | 54,1                                       | 52,8  | 0,1                               | 0,0   |
| 22                  | 22,9                                 | 484                         | 1,2                           | 2,8                           | 1,4  | 7,7  | 3,2   | 1,6                               | 2,5   |
| 22                  | 25,2                                 | 484                         | 1,2                           | 5,1                           | 1,4  | 25,6                                       | 5,9   | 3,9                               | 15,1  |
| 18                  | 14,9                                 | 324                         | -2,8                          | -5,3                          | 8,0  | 27,7                                       | 14,9  | -2,4                              | 5,8   |
| 22                  | 18,4                                 | 484                         | 1,2                           | -1,8                          | 1,4  | 3,3  | -2,1  | -3,0                              | 9,0   |
| 29                  | 28,7                                 | 841                         | 8,2                           | 8,5                           | 66,8                                       | 72,3                                       | 69,5  | 0,3                               | 0,1   |
| 14                  | 11,5                                 | 196                         | -6,8                          | -8,7                          | 46,6                                       | 75,7                                       | 59,4  | -1,8                              | 3,3   |
| 14                  | 12,6                                 | 196                         | -6,8                          | -7,6                          | 46,6                                       | 57,1                                       | 51,6  | -0,7                              | 0,5   |
| 30                  | 27,5                                 | 900                         | 9,2                           | 7,4                           | 84,1                                       | 54,1                                       | 67,5  | -1,9                              | 3,5   |
| 30                  | 26,4                                 | 900                         | 9,2                           | 6,2                           | 84,1                                       | 38,6                                       | 57,0  | -3,0                              | 9,2   |
| 28                  | 24,1                                 | 784                         | 7,2                           | 3,9                           | 51,4                                       | 15,3                                       | 28,1  | -3,3                              | 10,9  |
| 37                  | 31,0                                 | 1369                        | 16,2                          | 10,8                          | 261,5                                      | 116,6                                      | 174,7   | -5,5                              | 30,1  |
| 18                  | 16,1                                 | 324                         | -2,8                          | -4,1                          | 8,0  | 16,9                                       | 11,6  | -1,3                              | 1,6   |
| 12                  | 10,3                                 | 144                         | -8,8                          | -9,9                          | 77,9                                       | 97,0                                       | 87,0  | -1,0                              | 0,9   |
| 26                  | 24,1                                 | 676                         | 5,2                           | 3,9                           | 26,8                                       | 15,3                                       | 20,3  | -1,3                              | 1,7   |
| 38                  | 36,7                                 | 1444                        | 17,2                          | 16,5                          | 294,9                                      | 273,4                                      | 284,0   | -0,8                              | 0,6   |
| 18                  | 17,2                                 | 324                         | -2,8                          | -3,0                          | 8,0  | 8,8  | 8,4   | -0,1                              | 0,0   |
| 17                  | 18,4                                 | 289                         | -3,8                          | -1,8                          | 14,7                                       | 3,3  | 7,0   | 2,0                               | 4,1   |

Tabla 72. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> /b | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 18                  | 17,2                                 | 324                         | -2,8                          | -3,0                          | 8,0  | 8,8  | 8,4   | -0,1                              | 0,0   |
| 14                  | 13,8                                 | 196                         | -6,8                          | -6,4                          | 46,6                                       | 41,1                                       | 43,8  | 0,5                               | 0,2   |
| 16                  | 14,9                                 | 256                         | -4,8                          | -5,3                          | 23,3                                       | 27,7                                       | 25,4  | -0,4                              | 0,2   |
| 16                  | 16,1                                 | 256                         | -4,8                          | -4,1                          | 23,3                                       | 16,9                                       | 19,9  | 0,7                               | 0,6   |
| 6                   | 4,6                                  | 36                          | -14,8                         | -15,6                         | 219,9                                      | 242,9                                      | 231,1   | -0,7                              | 0,4   |
| 7                   | 6,9                                  | 49                          | -13,8                         | -13,3                         | 191,2                                      | 176,7                                      | 183,8   | 0,6                               | 0,4   |
| 11                  | 11,5                                 | 121                         | -9,8                          | -8,7                          | 96,6                                       | 75,7                                       | 85,5  | 1,2                               | 1,4   |
| 19                  | 19,5                                 | 361                         | -1,8                          | -0,7                          | 3,3  | 0,5  | 1,2   | 1,2                               | 1,4   |
| 27                  | 31,0                                 | 729                         | 6,2                           | 10,8                          | 38,1                                       | 116,6                                      | 66,7  | 4,6                               | 21,0  |
| 20                  | 22,9                                 | 400                         | -0,8                          | 2,8                           | 0,7  | 7,7  | -2,3  | 3,6                               | 13,0  |
| 27                  | 33,3                                 | 729                         | 6,2                           | 13,1                          | 38,1                                       | 171,5                                      | 80,8  | 6,9                               | 47,3  |
| $\bar{x}_i$         | $\bar{y}_{ical}$                     | $\sum x_i^2$                |                               |                               | Sxx  | Syy  | Sxy   |                                   | RSS   |
| 20,8                | 20,2                                 | 14404                       |                               |                               | 1824                                       | 1849                                       | 1745  |                                   | 185   |

Ecuación 1

$$\begin{aligned}
 S_{xx} &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\
 S_{yy} &= \sum (y_i - \bar{y})^2 \\
 S_{xy} &= \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y}) \\
 \bar{x} &= 1/n \sum x_i \\
 \bar{y} &= 1/n \sum y_i
 \end{aligned}$$

Eq 6

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xx})^2}}{2S_{xy}} \\
 d &= \frac{1849 - 1824 + \sqrt{(1849 - 1824)^2 + 4(1824)^2}}{2 \times 1745} = 1,007
 \end{aligned}$$

Eq 7

$$\begin{aligned}
 c &= \bar{y} - d \cdot \bar{x} \\
 c &= 20,2 - 1,007 \times 20,8 = -0,802
 \end{aligned}$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE A Y LA ORDENADA EN ORIGEN B: $U_{(B)}$ Y $U_{(A)}$

Eq 4

$$u^2(\mathbf{b}) = \frac{Syy - ((Sxy)^2 / Sxx)}{(n-2) \cdot Sxx} = \frac{1405 - (1521^2 / 1824)}{(29-2) \cdot 1824} = 0,003$$

$u(\mathbf{b})=0,053$

Eq 5

$$u^2(\mathbf{a}) = u^2(\mathbf{b}) \frac{\sum x^2}{n} = 0,003 \frac{14404}{29} = 1,381$$

$u(\mathbf{a})=1,175$

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE D Y LA ORDENADA EN ORIGEN C: $U_{(D)}$ Y $U_{(C)}$

Eq 8

$$u^2(\mathbf{d}) = \frac{Syy - ((Sxy)^2 / Sxx)}{(n-2) \cdot Sxx} = \frac{1849 - (1745^2 / 1824)}{(29-2) \cdot 1824} = 0,060$$

$u(\mathbf{d}) = 0,004$

Eq 9

$$u^2(\mathbf{c}) = u^2(\mathbf{d}) \frac{\sum x^2}{n} = 0,004 \frac{14404}{29} = 1,817$$

$u(\mathbf{c}) = 1,348$

### INCERTIDUMBRE COMBINADA $U_{(CR)}$

Eq 11

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{Rss}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (c + (d-1)x_i)^2 + x_i^2 u_{(b)}^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{185}{(29-2)} - 1,5^2 + (-0,802 + (1,007-1)50)^2 + 50^2 \cdot 0,053^2$$

$$u_{CR}(y_{i,cal}) = 3,4$$

n= número de pares de datos=29

$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - c - dx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal de los datos calibrados

$u_{(x_i)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia=1,5

c= término independiente

d=pendiente

$x_i$ = es el Valor límite del parámetro medido PM10: 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$u_{(b)}$ =incertidumbre de la pendiente original (valor empleado para calcular la  $y_{i,cal}$ )

### INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA

Eq 14

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L}$$

$$\omega_{sam} = \frac{3,4}{50} = 6,9\%$$

### INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

Eq 15

$$U_{sam} = k \cdot u_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 6,9\% = 13,7\%$$

**ANEXO X: CAMPAÑA DURANGO PM2,5**

**CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN**

$$y = a + bx$$

**Tabla 73. Cálculo función corrección**

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 19                  | 17                   | 361                         | 6,825                         | 7,250                         | 46,58063                                   | 52,5625                                    | 49,48125  | 0,811279                          | 0,658173  |
| 15                  | 13                   | 225                         | 2,825                         | 3,250                         | 7,981                                      | 10,563                                     | 9,181   | 0,585                             | 0,342   |
| 15                  | 13                   | 225                         | 2,825                         | 3,250                         | 7,981                                      | 10,563                                     | 9,181   | 0,585                             | 0,342   |
| 7                   | 5                    | 49                          | -5,175                        | -4,750                        | 26,781                                     | 22,563                                     | 24,581  | 0,132                             | 0,017   |
| 10                  | 7                    | 100                         | -2,175                        | -2,750                        | 4,731                                      | 7,563                                      | 5,981   | -0,698                            | 0,487   |
| 13                  | 9                    | 169                         | 0,825                         | -0,750                        | 0,681                                      | 0,563                                      | -0,619  | -1,528                            | 2,336   |
| 16                  | 14                   | 256                         | 3,825                         | 4,250                         | 14,631                                     | 18,063                                     | 16,256  | 0,641                             | 0,412   |
| 18                  | 15                   | 324                         | 5,825                         | 5,250                         | 33,931                                     | 27,563                                     | 30,581  | -0,245                            | 0,060   |
| 8                   | 6                    | 64                          | -4,175                        | -3,750                        | 17,431                                     | 14,063                                     | 15,656  | 0,189                             | 0,036   |
| 11                  | 8                    | 121                         | -1,175                        | -1,750                        | 1,381                                      | 3,063                                      | 2,056   | -0,642                            | 0,412   |
| 15                  | 15                   | 225                         | 2,825                         | 5,250                         | 7,981                                      | 27,563                                     | 14,831  | 2,585                             | 6,682   |
| 16                  | 13                   | 256                         | 3,825                         | 3,250                         | 14,631                                     | 10,563                                     | 12,431  | -0,359                            | 0,129   |
| 17                  | 11                   | 289                         | 4,825                         | 1,250                         | 23,281                                     | 1,563                                      | 6,031   | -3,302                            | 10,903  |
| 20                  | 15                   | 400                         | 7,825                         | 5,250                         | 61,231                                     | 27,563                                     | 41,081  | -2,132                            | 4,546   |
| 10                  | 7                    | 100                         | -2,175                        | -2,750                        | 4,731                                      | 7,563                                      | 5,981   | -0,698                            | 0,487   |
| 8                   | 5                    | 64                          | -4,175                        | -4,750                        | 17,431                                     | 22,563                                     | 19,831  | -0,811                            | 0,658   |
| 15                  | 11                   | 225                         | 2,825                         | 1,250                         | 7,981                                      | 1,563                                      | 3,531   | -1,415                            | 2,003   |
| 22                  | 18                   | 484                         | 9,825                         | 8,250                         | 96,531                                     | 68,063                                     | 81,056  | -1,019                            | 1,038   |
| 12                  | 10                   | 144                         | -0,175                        | 0,250                         | 0,031                                      | 0,063                                      | -0,044  | 0,415                             | 0,172   |
| 12                  | 10                   | 144                         | -0,175                        | 0,250                         | 0,031                                      | 0,063                                      | -0,044  | 0,415                             | 0,172   |
| 10                  | 8                    | 100                         | -2,175                        | -1,750                        | 4,731                                      | 3,063                                      | 3,806   | 0,302                             | 0,091   |
| 11                  | 9                    | 121                         | -1,175                        | -0,750                        | 1,381                                      | 0,563                                      | 0,881   | 0,358                             | 0,129   |
| 13                  | 10                   | 169                         | 0,825                         | 0,250                         | 0,681                                      | 0,063                                      | 0,206   | -0,528                            | 0,279   |
| 12                  | 11                   | 144                         | -0,175                        | 1,250                         | 0,031                                      | 1,563                                      | -0,219  | 1,415                             | 2,002   |

Tabla 73. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup>      | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 8                   | 5                    | 64                               | -4,175                        | -4,750                        | 17,431                                     | 22,563                                     | 19,831  | -0,811                            | 0,658   |
| 7                   | 5                    | 49                               | -5,175                        | -4,750                        | 26,781                                     | 22,563                                     | 24,581  | 0,132                             | 0,017   |
| 8                   | 7                    | 64                               | -4,175                        | -2,750                        | 17,431                                     | 7,563                                      | 11,481  | 1,189                             | 1,413   |
| 4                   | 3                    | 16                               | -8,175                        | -6,750                        | 66,831                                     | 45,563                                     | 55,181  | 0,962                             | 0,926   |
| 4                   | 4                    | 16                               | -8,175                        | -5,750                        | 66,831                                     | 33,063                                     | 47,006  | 1,962                             | 3,851   |
| 8                   | 4                    | 64                               | -4,175                        | -5,750                        | 17,431                                     | 33,063                                     | 24,006  | -1,811                            | 3,281   |
| 16                  | 17                   | 256                              | 3,825                         | 7,250                         | 14,631                                     | 52,563                                     | 27,731  | 3,641                             | 13,260  |
| 9                   | 9                    | 81                               | -3,175                        | -0,750                        | 10,081                                     | 0,563                                      | 2,381   | 2,245                             | 5,041   |
| 16                  | 15                   | 256                              | 3,825                         | 5,250                         | 14,631                                     | 27,563                                     | 20,081  | 1,641                             | 2,694   |
| 12                  | 11                   | 144                              | -0,175                        | 1,250                         | 0,031                                      | 1,563                                      | -0,219  | 1,415                             | 2,002   |
| 11                  | 10                   | 121                              | -1,175                        | 0,250                         | 1,381                                      | 0,063                                      | -0,294  | 1,358                             | 1,846   |
| 8                   | 5                    | 64                               | -4,175                        | -4,750                        | 17,431                                     | 22,563                                     | 19,831  | -0,811                            | 0,658   |
| 14                  | 8                    | 196                              | 1,825                         | -1,750                        | 3,331                                      | 3,063                                      | -3,194  | -3,472                            | 12,053  |
| 14                  | 9                    | 196                              | 1,825                         | -0,750                        | 3,331                                      | 0,563                                      | -1,369  | -2,472                            | 6,109   |
| 10                  | 8                    | 100                              | -2,175                        | -1,750                        | 4,731                                      | 3,063                                      | 3,806   | 0,302                             | 0,091   |
| 13                  | 10                   | 169                              | 0,825                         | 0,250                         | 0,681                                      | 0,063                                      | 0,206   | -0,528                            | 0,279   |
| $\bar{x}$           | $\bar{y}$            | suma x <sub>i</sub> <sup>2</sup> |                               |                               | Sxx  | Syy  | Sxy   |                                   | RSS   |
| 12,2                | 9,8                  | 6615                             |                               |                               | 686  | 616  | 603   |                                   | 89  |

Ecuación 1

$$\begin{aligned}
 S_{xx} &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\
 S_{yy} &= \sum (y_i - \bar{y})^2 \\
 S_{xy} &= \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y}) \\
 \bar{x} &= 1/n \sum x_i \\
 \bar{y} &= 1/n \sum y_i
 \end{aligned}$$

Eq 2

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xy})^2}}{2S_{xy}} \\
 b &= \frac{616 - 686 + \sqrt{(616 - 686)^2 + 4(603)^2}}{2 \times 603} = 0,943
 \end{aligned}$$

**Eq 3**

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$a = 9,8 - 0,943 \times 12,2 = -1,736$$

**CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCION CORREGIDA**

$$y_{ical} = c + d x_i$$

**Tabla 74. Cálculo función corrección corregida**

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 19                  | 18,7                 | 361                         | 6,825                         | 7,250                         | 46,581                                     | 52,562                                     | 49,481  | 0,811                             | 0,658   |
| 15                  | 14,7                 | 225                         | 2,825                         | 3,250                         | 7,981                                      | 10,562                                     | 9,181   | 0,585                             | 0,342   |
| 15                  | 14,7                 | 225                         | 2,825                         | 3,250                         | 7,981                                      | 10,562                                     | 9,181   | 0,585                             | 0,342   |
| 7                   | 6,7                  | 49                          | -5,175                        | -4,750                        | 26,781                                     | 22,563                                     | 24,581  | 0,132                             | 0,017   |
| 10                  | 8,7                  | 100                         | -2,175                        | -2,750                        | 4,731                                      | 7,563                                      | 5,981   | -0,698                            | 0,487   |
| 13                  | 10,7                 | 169                         | 0,825                         | -0,750                        | 0,681                                      | 0,563                                      | -0,619  | -1,528                            | 2,336   |
| 16                  | 15,7                 | 256                         | 3,825                         | 4,250                         | 14,631                                     | 18,062                                     | 16,256  | 0,641                             | 0,412   |
| 18                  | 16,7                 | 324                         | 5,825                         | 5,250                         | 33,931                                     | 27,562                                     | 30,581  | -0,245                            | 0,060   |
| 8                   | 7,7                  | 64                          | -4,175                        | -3,750                        | 17,431                                     | 14,063                                     | 15,656  | 0,189                             | 0,036   |
| 11                  | 9,7                  | 121                         | -1,175                        | -1,750                        | 1,381                                      | 3,063                                      | 2,056   | -0,642                            | 0,412   |
| 15                  | 16,7                 | 225                         | 2,825                         | 5,250                         | 7,981                                      | 27,562                                     | 14,831  | 2,585                             | 6,682   |
| 16                  | 14,7                 | 256                         | 3,825                         | 3,250                         | 14,631                                     | 10,562                                     | 12,431  | -0,359                            | 0,129   |
| 17                  | 12,7                 | 289                         | 4,825                         | 1,250                         | 23,281                                     | 1,562                                      | 6,031   | -3,302                            | 10,903  |
| 20                  | 16,7                 | 400                         | 7,825                         | 5,250                         | 61,231                                     | 27,562                                     | 41,081  | -2,132                            | 4,546   |
| 10                  | 8,7                  | 100                         | -2,175                        | -2,750                        | 4,731                                      | 7,563                                      | 5,981   | -0,698                            | 0,487   |
| 8                   | 6,7                  | 64                          | -4,175                        | -4,750                        | 17,431                                     | 22,563                                     | 19,831  | -0,811                            | 0,658   |
| 15                  | 12,7                 | 225                         | 2,825                         | 1,250                         | 7,981                                      | 1,562                                      | 3,531   | -1,415                            | 2,003   |

Tabla 74. Cálculo función corrección corregida

| MR( $x_i$ ) | MC ( $y_i$ ) | $x_i^2$      | $(x_i - \bar{x})$ | $(y_i - \bar{y})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $(y_i - \bar{y})^2$ | $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ | $y_i - a - bx_i$ | $(y_i - a - bx_i)^2$ |
|-------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|------------------|----------------------|
| 22          | 19,7         | 484          | 9,825             | 8,250             | 96,531              | 68,062              | 81,056                           | -1,019           | 1,038                |
| 12          | 11,7         | 144          | -0,175            | 0,250             | 0,031               | 0,062               | -0,044                           | 0,415            | 0,172                |
| 12          | 11,7         | 144          | -0,175            | 0,250             | 0,031               | 0,062               | -0,044                           | 0,415            | 0,172                |
| 10          | 9,7          | 100          | -2,175            | -1,750            | 4,731               | 3,063               | 3,806                            | 0,302            | 0,091                |
| 11          | 10,7         | 121          | -1,175            | -0,750            | 1,381               | 0,563               | 0,881                            | 0,358            | 0,129                |
| 13          | 11,7         | 169          | 0,825             | 0,250             | 0,681               | 0,062               | 0,206                            | -0,528           | 0,279                |
| 12          | 12,7         | 144          | -0,175            | 1,250             | 0,031               | 1,562               | -0,219                           | 1,415            | 2,002                |
| 8           | 6,7          | 64           | -4,175            | -4,750            | 17,431              | 22,563              | 19,831                           | -0,811           | 0,658                |
| 7           | 6,7          | 49           | -5,175            | -4,750            | 26,781              | 22,563              | 24,581                           | 0,132            | 0,017                |
| 8           | 8,7          | 64           | -4,175            | -2,750            | 17,431              | 7,563               | 11,481                           | 1,189            | 1,413                |
| 4           | 4,7          | 16           | -8,175            | -6,750            | 66,831              | 45,563              | 55,181                           | 0,962            | 0,926                |
| 4           | 5,7          | 16           | -8,175            | -5,750            | 66,831              | 33,063              | 47,006                           | 1,962            | 3,851                |
| 8           | 5,7          | 64           | -4,175            | -5,750            | 17,431              | 33,063              | 24,006                           | -1,811           | 3,281                |
| 16          | 18,7         | 256          | 3,825             | 7,250             | 14,631              | 52,562              | 27,731                           | 3,641            | 13,260               |
| 9           | 10,7         | 81           | -3,175            | -0,750            | 10,081              | 0,563               | 2,381                            | 2,245            | 5,041                |
| 16          | 16,7         | 256          | 3,825             | 5,250             | 14,631              | 27,562              | 20,081                           | 1,641            | 2,694                |
| 12          | 12,7         | 144          | -0,175            | 1,250             | 0,031               | 1,562               | -0,219                           | 1,415            | 2,002                |
| 11          | 11,7         | 121          | -1,175            | 0,250             | 1,381               | 0,062               | -0,294                           | 1,358            | 1,846                |
| 8           | 6,7          | 64           | -4,175            | -4,750            | 17,431              | 22,563              | 19,831                           | -0,811           | 0,658                |
| 14          | 9,7          | 196          | 1,825             | -1,750            | 3,331               | 3,063               | -3,194                           | -3,472           | 12,053               |
| 14          | 10,7         | 196          | 1,825             | -0,750            | 3,331               | 0,563               | -1,369                           | -2,472           | 6,109                |
| 10          | 9,7          | 100          | -2,175            | -1,750            | 4,731               | 3,063               | 3,806                            | 0,302            | 0,091                |
| 13          | 11,7         | 169          | 0,825             | 0,250             | 0,681               | 0,062               | 0,206                            | -0,528           | 0,279                |
| $\bar{x}$   | $\bar{y}$    | suma $x_i^2$ |                   |                   | <b>Sxx</b>          | <b>Syy</b>          | <b>Sxy</b>                       |                  | <b>RSS</b>           |
| 12,2        | 11,5         | 6615         |                   |                   | 686                 | 616                 | 603                              |                  | 89                   |

**Ecuación 1**

$$\begin{aligned}
 S_{xx} &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\
 S_{yy} &= \sum (y_i - \bar{y})^2 \\
 S_{xy} &= \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \\
 \bar{x} &= 1/n \sum x_i \\
 \bar{y} &= 1/n \sum y_i
 \end{aligned}$$

**Eq 8**

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xy})^2}}{2S_{xy}} \\
 d &= \frac{616 - 686 + \sqrt{(616 - 686)^2 + 4(686)^2}}{2 \times 603} = \mathbf{0,943}
 \end{aligned}$$

**Eq 9**

$$\begin{aligned}
 c &= \bar{y} - d \cdot \bar{x} \\
 c &= 11,5 - 0,943 \times 12,2 = \mathbf{0,000}
 \end{aligned}$$

**CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE**

**INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE A Y LA ORDENADA EN ORIGEN B: U<sub>(B)</sub> Y U<sub>(A)</sub>**

**Eq 4**

$$\begin{aligned}
 u^2(\mathbf{b}) &= \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} = \frac{616 - (603^2 / 686)}{(40-2) \cdot 686} = 0,003 \\
 u(\mathbf{b}) &= \mathbf{0,057}
 \end{aligned}$$

**Eq 5**

$$\begin{aligned}
 u^2(\mathbf{a}) &= u^2(\mathbf{b}) \frac{\sum x^2}{n} = 0,003 \frac{6615}{40} = 0,544 \\
 u(\mathbf{a}) &= \mathbf{0,738}
 \end{aligned}$$

**INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE D Y LA ORDENADA EN ORIGEN C: U<sub>(D)</sub> Y U<sub>(C)</sub>**

**Eq 8**

$$\begin{aligned}
 u^2(\mathbf{d}) &= \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} = \frac{616 - (603^2 / 686)}{(40-2) \cdot 686} = 0,003 \\
 u(\mathbf{d}) &= \mathbf{0,057}
 \end{aligned}$$

**Eq 9**

$$u^2(c) = u^2(b) \frac{\sum x^2}{n} = 0,003 \frac{6615}{40} = 0,544$$

$$u(c) = 0,738$$

**INCERTIDUMBRE COMBINADA  $U_{(CR)}$**

**Eq 11**

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{RSS}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (c + (d-1)x_i)^2 + u_{(a)}^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{RSS}{(40-2)} - 1,5^2 + (0 + (0,943-1)30)^2 + 0,738$$

$$u_{CR}(y_{i,cal}) = 1,9$$

Donde:

n= número de pares de datos

$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia

c= término independiente

d=pendiente

$x_i$ = es el Valor límite del parámetro medido PM2,5: 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$u_{(a)}$ = incertidumbre de la ordenada en origen original (valor usado para calcular la  $y_{i,cal}$ )

**INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA**

**Eq 14**

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L}$$

$$\omega_{sam} = \frac{1,9}{30} = 6,2\%$$

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

Eq 15

$$U_{sam} = k u_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 6,2\% = 12,4\%$$

## ANEXO XI: CAMPAÑA GLOBAL PM10

### CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN

$$y = a + bx$$

Tabla 75. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 39                  | 34                   | 1521                        | 17,5                          | 14,2                          | 306,0                                      | 201,1                                      | 248,0   | -3,1                              | 9,3   |
| 39                  | 34                   | 1521                        | 17,5                          | 14,2                          | 306,0                                      | 201,1                                      | 248,0   | -3,1                              | 9,3   |
| 20                  | 20                   | 400                         | -1,5                          | 0,2                           | 2,3  | 0,0  | -0,3  | 1,7                               | 2,8   |
| 28                  | 29                   | 784                         | 6,5                           | 9,2                           | 42,2                                       | 84,3                                       | 59,6  | 2,8                               | 7,8   |
| 28                  | 24                   | 784                         | 6,5                           | 4,2                           | 42,2                                       | 17,5                                       | 27,1  | -2,2                              | 4,9   |
| 8                   | 7                    | 64                          | -13,5                         | -12,8                         | 182,5                                      | 164,4                                      | 173,2   | 0,5                               | 0,2   |
| 16                  | 14                   | 256                         | -5,5                          | -5,8                          | 30,3                                       | 33,9                                       | 32,1  | -0,4                              | 0,2   |
| 18                  | 14                   | 324                         | -3,5                          | -5,8                          | 12,3                                       | 33,9                                       | 20,4  | -2,4                              | 5,6   |
| 26                  | 23                   | 676                         | 4,5                           | 3,2                           | 20,2                                       | 10,1                                       | 14,3  | -1,2                              | 1,6   |
| 26                  | 22                   | 676                         | 4,5                           | 2,2                           | 20,2                                       | 4,8  | 9,8   | -2,2                              | 5,0   |
| 14                  | 13                   | 196                         | -7,5                          | -6,8                          | 56,4                                       | 46,5                                       | 51,2  | 0,6                               | 0,3   |
| 18                  | 16                   | 324                         | -3,5                          | -3,8                          | 12,3                                       | 14,6                                       | 13,4  | -0,4                              | 0,1   |
| 30                  | 28                   | 900                         | 8,5                           | 8,2                           | 72,1                                       | 66,9                                       | 69,5  | -0,2                              | 0,0   |
| 34                  | 31                   | 1156                        | 12,5                          | 11,2                          | 156,1                                      | 125,0                                      | 139,7   | -1,1                              | 1,3   |
| 35                  | 33                   | 1225                        | 13,5                          | 13,2                          | 182,0                                      | 173,7                                      | 177,8   | -0,1                              | 0,0   |
| 27                  | 26                   | 729                         | 5,5                           | 6,2                           | 30,2                                       | 38,2                                       | 33,9  | 0,8                               | 0,6   |
| 16                  | 15                   | 256                         | -5,5                          | -4,8                          | 30,3                                       | 23,2                                       | 26,5  | 0,6                               | 0,4   |
| 25                  | 25                   | 625                         | 3,5                           | 5,2                           | 12,2                                       | 26,8                                       | 18,1  | 1,7                               | 3,0   |
| 17                  | 15                   | 289                         | -4,5                          | -4,8                          | 20,3                                       | 23,2                                       | 21,7  | -0,4                              | 0,1   |
| 29                  | 31                   | 841                         | 7,5                           | 11,2                          | 56,1                                       | 125,0                                      | 83,8  | 3,8                               | 14,4  |
| 39                  | 41                   | 1521                        | 17,5                          | 21,2                          | 306,0                                      | 448,6                                      | 370,5   | 3,9                               | 15,6  |
| 14                  | 14                   | 196                         | -7,5                          | -5,8                          | 56,4                                       | 33,9                                       | 43,7  | 1,6                               | 2,5   |
| 11                  | 10                   | 121                         | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 12                  | 11                   | 144                         | -9,5                          | -8,8                          | 90,4                                       | 77,8                                       | 83,9  | 0,5                               | 0,3   |

Tabla 75. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 8                   | 7                    | 64                          | -13,5                         | -12,8                         | 182,5                                      | 164,4                                      | 173,2   | 0,5                               | 0,2   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 18                  | 19                   | 324                         | -3,5                          | -0,8                          | 12,3                                       | 0,7  | 2,9   | 2,6                               | 6,9   |
| 13                  | 11                   | 169                         | -8,5                          | -8,8                          | 72,4                                       | 77,8                                       | 75,0  | -0,4                              | 0,2   |
| 12                  | 11                   | 144                         | -9,5                          | -8,8                          | 90,4                                       | 77,8                                       | 83,9  | 0,5                               | 0,3   |
| 8                   | 8                    | 64                          | -13,5                         | -11,8                         | 182,5                                      | 139,7                                      | 159,7   | 1,5                               | 2,2   |
| 9                   | 7                    | 81                          | -12,5                         | -12,8                         | 156,4                                      | 164,4                                      | 160,4   | -0,5                              | 0,3   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 18                  | 17                   | 324                         | -3,5                          | -2,8                          | 12,3                                       | 8,0  | 9,9   | 0,6                               | 0,4   |
| 30                  | 32                   | 900                         | 8,5                           | 12,2                          | 72,1                                       | 148,3                                      | 103,4   | 3,8                               | 14,6  |
| 26                  | 30                   | 676                         | 4,5                           | 10,2                          | 20,2                                       | 103,6                                      | 45,7  | 5,8                               | 33,1  |
| 20                  | 22                   | 400                         | -1,5                          | 2,2                           | 2,3  | 4,8  | -3,3  | 3,7                               | 13,4  |
| 12                  | 12                   | 144                         | -9,5                          | -7,8                          | 90,4                                       | 61,2                                       | 74,4  | 1,5                               | 2,4   |
| 17                  | 17                   | 289                         | -4,5                          | -2,8                          | 20,3                                       | 8,0  | 12,7  | 1,6                               | 2,6   |
| 16                  | 16                   | 256                         | -5,5                          | -3,8                          | 30,3                                       | 14,6                                       | 21,0  | 1,6                               | 2,6   |
| 15                  | 16                   | 225                         | -6,5                          | -3,8                          | 42,4                                       | 14,6                                       | 24,9  | 2,6                               | 6,7   |
| 23                  | 26                   | 529                         | 1,5                           | 6,2                           | 2,2  | 38,2                                       | 9,2   | 4,7                               | 22,2  |
| 24                  | 27                   | 576                         | 2,5                           | 7,2                           | 6,2  | 51,5                                       | 17,9  | 4,7                               | 22,3  |
| 28                  | 26                   | 784                         | 6,5                           | 6,2                           | 42,2                                       | 38,2                                       | 40,1  | -0,2                              | 0,0   |
| 28                  | 29                   | 784                         | 6,5                           | 9,2                           | 42,2                                       | 84,3                                       | 59,6  | 2,8                               | 7,8   |
| 23                  | 27                   | 529                         | 1,5                           | 7,2                           | 2,2  | 51,5                                       | 10,7  | 5,7                               | 32,6  |
| 9                   | 8                    | 81                          | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 16                  | 15                   | 256                         | -5,5                          | -4,8                          | 30,3                                       | 23,2                                       | 26,5  | 0,6                               | 0,4   |
| 21                  | 17                   | 441                         | -0,5                          | -2,8                          | 0,3  | 8,0  | 1,4   | -2,3                              | 5,4   |
| 18                  | 18                   | 324                         | -3,5                          | -1,8                          | 12,3                                       | 3,3  | 6,4   | 1,6                               | 2,7   |
| 21                  | 19                   | 441                         | -0,5                          | -0,8                          | 0,3  | 0,7  | 0,4   | -0,3                              | 0,1   |
| 12                  | 11                   | 144                         | -9,5                          | -8,8                          | 90,4                                       | 77,8                                       | 83,9  | 0,5                               | 0,3   |
| 14                  | 12                   | 196                         | -7,5                          | -7,8                          | 56,4                                       | 61,2                                       | 58,7  | -0,4                              | 0,2   |

Tabla 75. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 28                  | 26                   | 784                         | 6,5                           | 6,2                           | 42,2                                       | 38,2                                       | 40,1  | -0,2                              | 0,0   |
| 31                  | 28                   | 961                         | 9,5                           | 8,2                           | 90,1                                       | 66,9                                       | 77,6  | -1,2                              | 1,4   |
| 28                  | 23                   | 784                         | 6,5                           | 3,2                           | 42,2                                       | 10,1                                       | 20,6  | -3,2                              | 10,3  |
| 24                  | 21                   | 576                         | 2,5                           | 1,2                           | 6,2  | 1,4  | 2,9   | -1,3                              | 1,6   |
| 17                  | 16                   | 289                         | -4,5                          | -3,8                          | 20,3                                       | 14,6                                       | 17,2  | 0,6                               | 0,4   |
| 15                  | 13                   | 225                         | -6,5                          | -6,8                          | 42,4                                       | 46,5                                       | 44,4  | -0,4                              | 0,2   |
| 27                  | 26                   | 729                         | 5,5                           | 6,2                           | 30,2                                       | 38,2                                       | 33,9  | 0,8                               | 0,6   |
| 36                  | 38                   | 1296                        | 14,5                          | 18,2                          | 210,0                                      | 330,5                                      | 263,5   | 3,9                               | 15,2  |
| 17                  | 17                   | 289                         | -4,5                          | -2,8                          | 20,3                                       | 8,0  | 12,7  | 1,6                               | 2,6   |
| 9                   | 9                    | 81                          | -12,5                         | -10,8                         | 156,4                                      | 117,1                                      | 135,3   | 1,5                               | 2,2   |
| 12                  | 12                   | 144                         | -9,5                          | -7,8                          | 90,4                                       | 61,2                                       | 74,4  | 1,5                               | 2,4   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 12                  | 12                   | 144                         | -9,5                          | -7,8                          | 90,4                                       | 61,2                                       | 74,4  | 1,5                               | 2,4   |
| 17                  | 17                   | 289                         | -4,5                          | -2,8                          | 20,3                                       | 8,0  | 12,7  | 1,6                               | 2,6   |
| 9                   | 7                    | 81                          | -12,5                         | -12,8                         | 156,4                                      | 164,4                                      | 160,4   | -0,5                              | 0,3   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 12                  | 11                   | 144                         | -9,5                          | -8,8                          | 90,4                                       | 77,8                                       | 83,9  | 0,5                               | 0,3   |
| 7                   | 6                    | 49                          | -14,5                         | -13,8                         | 210,5                                      | 191,0                                      | 200,5   | 0,5                               | 0,2   |
| 11                  | 10                   | 121                         | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 11                  | 10                   | 121                         | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 18                  | 19                   | 324                         | -3,5                          | -0,8                          | 12,3                                       | 0,7  | 2,9   | 2,6                               | 6,9   |
| 29                  | 31                   | 841                         | 7,5                           | 11,2                          | 56,1                                       | 125,0                                      | 83,8  | 3,8                               | 14,4  |
| 22                  | 26                   | 484                         | 0,5                           | 6,2                           | 0,2  | 38,2                                       | 3,0   | 5,7                               | 32,4  |
| 22                  | 24                   | 484                         | 0,5                           | 4,2                           | 0,2  | 17,5                                       | 2,1   | 3,7                               | 13,6  |
| 11                  | 11                   | 121                         | -10,5                         | -8,8                          | 110,4                                      | 77,8                                       | 92,7  | 1,5                               | 2,3   |
| 14                  | 13                   | 196                         | -7,5                          | -6,8                          | 56,4                                       | 46,5                                       | 51,2  | 0,6                               | 0,3   |
| 15                  | 15                   | 225                         | -6,5                          | -4,8                          | 42,4                                       | 23,2                                       | 31,4  | 1,6                               | 2,5   |
| 16                  | 17                   | 256                         | -5,5                          | -2,8                          | 30,3                                       | 8,0  | 15,5  | 2,6                               | 6,8   |

Tabla 75. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 27                  | 30                   | 729                         | 5,5                           | 10,2                          | 30,2                                       | 103,6                                      | 55,9  | 4,8                               | 22,7  |
| 20                  | 17                   | 400                         | -1,5                          | -2,8                          | 2,3  | 8,0  | 4,3   | -1,3                              | 1,8   |
| 21                  | 19                   | 441                         | -0,5                          | -0,8                          | 0,3  | 0,7  | 0,4   | -0,3                              | 0,1   |
| 33                  | 25                   | 1089                        | 11,5                          | 5,2                           | 132,1                                      | 26,8                                       | 59,5  | -6,1                              | 37,7  |
| 30                  | 25                   | 900                         | 8,5                           | 5,2                           | 72,1                                       | 26,8                                       | 44,0  | -3,2                              | 10,1  |
| 35                  | 28                   | 1225                        | 13,5                          | 8,2                           | 182,0                                      | 66,9                                       | 110,4   | -5,1                              | 26,1  |
| 43                  | 33                   | 1849                        | 21,5                          | 13,2                          | 461,9                                      | 173,7                                      | 283,3   | -8,0                              | 63,8  |
| 27                  | 21                   | 729                         | 5,5                           | 1,2                           | 30,2                                       | 1,4  | 6,5   | -4,2                              | 17,9  |
| 34                  | 30                   | 1156                        | 12,5                          | 10,2                          | 156,1                                      | 103,6                                      | 127,2   | -2,1                              | 4,5   |
| 15                  | 10                   | 225                         | -6,5                          | -9,8                          | 42,4                                       | 96,4                                       | 63,9  | -3,4                              | 11,6  |
| 19                  | 15                   | 361                         | -2,5                          | -4,8                          | 6,3  | 23,2                                       | 12,1  | -2,4                              | 5,5   |
| 30                  | 25                   | 900                         | 8,5                           | 5,2                           | 72,1                                       | 26,8                                       | 44,0  | -3,2                              | 10,1  |
| 27                  | 20                   | 729                         | 5,5                           | 0,2                           | 30,2                                       | 0,0  | 1,0   | -5,2                              | 27,4  |
| 16                  | 12                   | 256                         | -5,5                          | -7,8                          | 30,3                                       | 61,2                                       | 43,1  | -2,4                              | 5,7   |
| 18                  | 15                   | 324                         | -3,5                          | -4,8                          | 12,3                                       | 23,2                                       | 16,9  | -1,4                              | 1,9   |
| 30                  | 26                   | 900                         | 8,5                           | 6,2                           | 72,1                                       | 38,2                                       | 52,5  | -2,2                              | 4,8   |
| 38                  | 32                   | 1444                        | 16,5                          | 12,2                          | 272,0                                      | 148,3                                      | 200,9   | -4,1                              | 16,5  |
| 33                  | 29                   | 1089                        | 11,5                          | 9,2                           | 132,1                                      | 84,3                                       | 105,5   | -2,1                              | 4,6   |
| 31                  | 27                   | 961                         | 9,5                           | 7,2                           | 90,1                                       | 51,5                                       | 68,1  | -2,2                              | 4,7   |
| 19                  | 15                   | 361                         | -2,5                          | -4,8                          | 6,3  | 23,2                                       | 12,1  | -2,4                              | 5,5   |
| 28                  | 27                   | 784                         | 6,5                           | 7,2                           | 42,2                                       | 51,5                                       | 46,6  | 0,8                               | 0,6   |
| 20                  | 16                   | 400                         | -1,5                          | -3,8                          | 2,3  | 14,6                                       | 5,8   | -2,3                              | 5,5   |
| 32                  | 30                   | 1024                        | 10,5                          | 10,2                          | 110,1                                      | 103,6                                      | 106,8   | -0,2                              | 0,0   |
| 42                  | 38                   | 1764                        | 20,5                          | 18,2                          | 419,9                                      | 330,5                                      | 372,5   | -2,0                              | 4,0   |
| 16                  | 12                   | 256                         | -5,5                          | -7,8                          | 30,3                                       | 61,2                                       | 43,1  | -2,4                              | 5,7   |
| 15                  | 12                   | 225                         | -6,5                          | -7,8                          | 42,4                                       | 61,2                                       | 50,9  | -1,4                              | 2,0   |

Tabla 75. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 20                  | 17                   | 400                         | -1,5                          | -2,8                          | 2,3  | 8,0  | 4,3   | -1,3                              | 1,8   |
| 16                  | 12                   | 256                         | -5,5                          | -7,8                          | 30,3                                       | 61,2                                       | 43,1  | -2,4                              | 5,7   |
| 15                  | 13                   | 225                         | -6,5                          | -6,8                          | 42,4                                       | 46,5                                       | 44,4  | -0,4                              | 0,2   |
| 11                  | 9                    | 121                         | -10,5                         | -10,8                         | 110,4                                      | 117,1                                      | 113,7   | -0,5                              | 0,2   |
| 9                   | 7                    | 81                          | -12,5                         | -12,8                         | 156,4                                      | 164,4                                      | 160,4   | -0,5                              | 0,3   |
| 11                  | 9                    | 121                         | -10,5                         | -10,8                         | 110,4                                      | 117,1                                      | 113,7   | -0,5                              | 0,2   |
| 13                  | 11                   | 169                         | -8,5                          | -8,8                          | 72,4                                       | 77,8                                       | 75,0  | -0,4                              | 0,2   |
| 13                  | 11                   | 169                         | -8,5                          | -8,8                          | 72,4                                       | 77,8                                       | 75,0  | -0,4                              | 0,2   |
| 28                  | 24                   | 784                         | 6,5                           | 4,2                           | 42,2                                       | 17,5                                       | 27,1  | -2,2                              | 4,9   |
| 22                  | 20                   | 484                         | 0,5                           | 0,2                           | 0,2  | 0,0  | 0,1   | -0,3                              | 0,1   |
| 22                  | 22                   | 484                         | 0,5                           | 2,2                           | 0,2  | 4,8  | 1,1   | 1,7                               | 2,9   |
| 18                  | 13                   | 324                         | -3,5                          | -6,8                          | 12,3                                       | 46,5                                       | 23,9  | -3,4                              | 11,3  |
| 22                  | 16                   | 484                         | 0,5                           | -3,8                          | 0,2  | 14,6                                       | -1,9  | -4,3                              | 18,5  |
| 29                  | 25                   | 841                         | 7,5                           | 5,2                           | 56,1                                       | 26,8                                       | 38,8  | -2,2                              | 4,8   |
| 14                  | 10                   | 196                         | -7,5                          | -9,8                          | 56,4                                       | 96,4                                       | 73,7  | -2,4                              | 5,9   |
| 14                  | 11                   | 196                         | -7,5                          | -8,8                          | 56,4                                       | 77,8                                       | 66,2  | -1,4                              | 2,0   |
| 30                  | 24                   | 900                         | 8,5                           | 4,2                           | 72,1                                       | 17,5                                       | 35,5  | -4,2                              | 17,5  |
| 30                  | 23                   | 900                         | 8,5                           | 3,2                           | 72,1                                       | 10,1                                       | 27,0  | -5,2                              | 26,9  |
| 28                  | 21                   | 784                         | 6,5                           | 1,2                           | 42,2                                       | 1,4  | 7,7   | -5,2                              | 27,2  |

Tabla 75. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 37                  | 27                   | 1369                        | 15,5                          | 7,2                           | 240,0                                      | 51,5                                       | 111,2   | -8,1                              | 65,3  |
| 18                  | 14                   | 324                         | -3,5                          | -5,8                          | 12,3                                       | 33,9                                       | 20,4  | -2,4                              | 5,6   |
| 12                  | 9                    | 144                         | -9,5                          | -10,8                         | 90,4                                       | 117,1                                      | 102,9   | -1,5                              | 2,1   |
| 26                  | 21                   | 676                         | 4,5                           | 1,2                           | 20,2                                       | 1,4  | 5,3   | -3,2                              | 10,5  |
| 38                  | 32                   | 1444                        | 16,5                          | 12,2                          | 272,0                                      | 148,3                                      | 200,9   | -4,1                              | 16,5  |
| 18                  | 15                   | 324                         | -3,5                          | -4,8                          | 12,3                                       | 23,2                                       | 16,9  | -1,4                              | 1,9   |
| 17                  | 16                   | 289                         | -4,5                          | -3,8                          | 20,3                                       | 14,6                                       | 17,2  | 0,6                               | 0,4   |
| 18                  | 15                   | 324                         | -3,5                          | -4,8                          | 12,3                                       | 23,2                                       | 16,9  | -1,4                              | 1,9   |
| 14                  | 12                   | 196                         | -7,5                          | -7,8                          | 56,4                                       | 61,2                                       | 58,7  | -0,4                              | 0,2   |
| 16                  | 13                   | 256                         | -5,5                          | -6,8                          | 30,3                                       | 46,5                                       | 37,6  | -1,4                              | 1,9   |
| 16                  | 14                   | 256                         | -5,5                          | -5,8                          | 30,3                                       | 33,9                                       | 32,1  | -0,4                              | 0,2   |
| 6                   | 4                    | 36                          | -15,5                         | -15,8                         | 240,5                                      | 250,3                                      | 245,3   | -0,5                              | 0,3   |
| 7                   | 6                    | 49                          | -14,5                         | -13,8                         | 210,5                                      | 191,0                                      | 200,5   | 0,5                               | 0,2   |
| 11                  | 10                   | 121                         | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 19                  | 17                   | 361                         | -2,5                          | -2,8                          | 6,3  | 8,0  | 7,1   | -0,4                              | 0,1   |
| 27                  | 27                   | 729                         | 5,5                           | 7,2                           | 30,2                                       | 51,5                                       | 39,4  | 1,8                               | 3,1   |
| 20                  | 20                   | 400                         | -1,5                          | 0,2                           | 2,3  | 0,0  | -0,3  | 1,7                               | 2,8   |
| 27                  | 29                   | 729                         | 5,5                           | 9,2                           | 30,2                                       | 84,3                                       | 50,4  | 3,8                               | 14,2  |
| 33                  | 32                   | 1089                        | 11,5                          | 12,2                          | 132,1                                      | 148,3                                      | 140,0   | 0,9                               | 0,7   |
| 24                  | 22                   | 576                         | 2,5                           | 2,2                           | 6,2  | 4,8  | 5,4   | -0,3                              | 0,1   |
| 32                  | 32                   | 1024                        | 10,5                          | 12,2                          | 110,1                                      | 148,3                                      | 127,8   | 1,8                               | 3,4   |
| 31                  | 32                   | 961                         | 9,5                           | 12,2                          | 90,1                                       | 148,3                                      | 115,6   | 2,8                               | 8,0   |
| 13                  | 13                   | 169                         | -8,5                          | -6,8                          | 72,4                                       | 46,5                                       | 58,0  | 1,6                               | 2,4   |
| 23                  | 21                   | 529                         | 1,5                           | 1,2                           | 2,2  | 1,4  | 1,8   | -0,3                              | 0,1   |
| 28                  | 24                   | 784                         | 6,5                           | 4,2                           | 42,2                                       | 17,5                                       | 27,1  | -2,2                              | 4,9   |
| 38                  | 31                   | 1444                        | 16,5                          | 11,2                          | 272,0                                      | 125,0                                      | 184,4   | -5,1                              | 25,7  |

Tabla 75. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 24                  | 21                   | 576                         | 2,5                           | 1,2                           | 6,2  | 1,4  | 2,9   | -1,3                              | 1,6   |
| 18                  | 16                   | 324                         | -3,5                          | -3,8                          | 12,3                                       | 14,6                                       | 13,4  | -0,4                              | 0,1   |
| 18                  | 14                   | 324                         | -3,5                          | -5,8                          | 12,3                                       | 33,9                                       | 20,4  | -2,4                              | 5,6   |
| 20                  | 19                   | 400                         | -1,5                          | -0,8                          | 2,3  | 0,7  | 1,2   | 0,7                               | 0,4   |
| 33                  | 31                   | 1089                        | 11,5                          | 11,2                          | 132,1                                      | 125,0                                      | 128,5   | -0,1                              | 0,0   |
| 47                  | 40                   | 2209                        | 25,5                          | 20,2                          | 649,9                                      | 407,2                                      | 514,4   | -4,9                              | 24,3  |
| 31                  | 29                   | 961                         | 9,5                           | 9,2                           | 90,1                                       | 84,3                                       | 87,1  | -0,2                              | 0,0   |
| 28                  | 26                   | 784                         | 6,5                           | 6,2                           | 42,2                                       | 38,2                                       | 40,1  | -0,2                              | 0,0   |
| 25                  | 27                   | 625                         | 3,5                           | 7,2                           | 12,2                                       | 51,5                                       | 25,1  | 3,7                               | 14,0  |
| 11                  | 10                   | 121                         | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 18                  | 17                   | 324                         | -3,5                          | -2,8                          | 12,3                                       | 8,0  | 9,9   | 0,6                               | 0,4   |
| 16                  | 14                   | 256                         | -5,5                          | -5,8                          | 30,3                                       | 33,9                                       | 32,1  | -0,4                              | 0,2   |
| 24                  | 21                   | 576                         | 2,5                           | 1,2                           | 6,2  | 1,4  | 2,9   | -1,3                              | 1,6   |
| 29                  | 28                   | 841                         | 7,5                           | 8,2                           | 56,1                                       | 66,9                                       | 61,3  | 0,8                               | 0,6   |
| 17                  | 17                   | 289                         | -4,5                          | -2,8                          | 20,3                                       | 8,0  | 12,7  | 1,6                               | 2,6   |
| 15                  | 12                   | 225                         | -6,5                          | -7,8                          | 42,4                                       | 61,2                                       | 50,9  | -1,4                              | 2,0   |
| 34                  | 36                   | 1156                        | 12,5                          | 16,2                          | 156,1                                      | 261,8                                      | 202,1   | 3,9                               | 15,0  |
| 47                  | 44                   | 2209                        | 25,5                          | 24,2                          | 649,9                                      | 584,6                                      | 616,4   | -0,9                              | 0,9   |
| 37                  | 32                   | 1369                        | 15,5                          | 12,2                          | 240,0                                      | 148,3                                      | 188,7   | -3,1                              | 9,5   |
| 29                  | 29                   | 841                         | 7,5                           | 9,2                           | 56,1                                       | 84,3                                       | 68,8  | 1,8                               | 3,2   |
| 25                  | 21                   | 625                         | 3,5                           | 1,2                           | 12,2                                       | 1,4  | 4,1   | -2,3                              | 5,1   |
| 22                  | 17                   | 484                         | 0,5                           | -2,8                          | 0,2  | 8,0  | -1,4  | -3,3                              | 10,9  |
| 38                  | 36                   | 1444                        | 16,5                          | 16,2                          | 272,0                                      | 261,8                                      | 266,8   | -0,1                              | 0,0   |
| 68                  | 72                   | 4624                        | 46,5                          | 52,2                          | 2161,5                                     | 2722,7                                     | 2425,9  | 6,4                               | 40,8  |
| 22                  | 21                   | 484                         | 0,5                           | 1,2                           | 0,2  | 1,4  | 0,6   | 0,7                               | 0,5   |
| 14                  | 13                   | 196                         | -7,5                          | -6,8                          | 56,4                                       | 46,5                                       | 51,2  | 0,6                               | 0,3   |
| 16                  | 20                   | 256                         | -5,5                          | 0,2                           | 30,3                                       | 0,0  | -1,0  | 5,6                               | 31,4  |

Tabla 75. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 13                  | 14                   | 169                         | -8,5                          | -5,8                          | 72,4                                       | 33,9                                       | 49,5  | 2,6                               | 6,6   |
| 14                  | 12                   | 196                         | -7,5                          | -7,8                          | 56,4                                       | 61,2                                       | 58,7  | -0,4                              | 0,2   |
| 19                  | 18                   | 361                         | -2,5                          | -1,8                          | 6,3  | 3,3  | 4,6   | 0,6                               | 0,4   |
| 10                  | 8                    | 100                         | -11,5                         | -11,8                         | 132,4                                      | 139,7                                      | 136,0   | -0,5                              | 0,2   |
| 13                  | 11                   | 169                         | -8,5                          | -8,8                          | 72,4                                       | 77,8                                       | 75,0  | -0,4                              | 0,2   |
| 20                  | 19                   | 400                         | -1,5                          | -0,8                          | 2,3  | 0,7  | 1,2   | 0,7                               | 0,4   |
| 10                  | 8                    | 100                         | -11,5                         | -11,8                         | 132,4                                      | 139,7                                      | 136,0   | -0,5                              | 0,2   |
| 17                  | 16                   | 289                         | -4,5                          | -3,8                          | 20,3                                       | 14,6                                       | 17,2  | 0,6                               | 0,4   |
| 18                  | 16                   | 324                         | -3,5                          | -3,8                          | 12,3                                       | 14,6                                       | 13,4  | -0,4                              | 0,1   |
| 23                  | 28                   | 529                         | 1,5                           | 8,2                           | 2,2  | 66,9                                       | 12,2  | 6,7                               | 45,0  |
| 35                  | 38                   | 1225                        | 13,5                          | 18,2                          | 182,0                                      | 330,5                                      | 245,3   | 4,9                               | 23,9  |
| 26                  | 28                   | 676                         | 4,5                           | 8,2                           | 20,2                                       | 66,9                                       | 36,7  | 3,8                               | 14,1  |
| 23                  | 25                   | 529                         | 1,5                           | 5,2                           | 2,2  | 26,8                                       | 7,7   | 3,7                               | 13,8  |
| 14                  | 14                   | 196                         | -7,5                          | -5,8                          | 56,4                                       | 33,9                                       | 43,7  | 1,6                               | 2,5   |
| 17                  | 16                   | 289                         | -4,5                          | -3,8                          | 20,3                                       | 14,6                                       | 17,2  | 0,6                               | 0,4   |
| 20                  | 19                   | 400                         | -1,5                          | -0,8                          | 2,3  | 0,7  | 1,2   | 0,7                               | 0,4   |
| 20                  | 21                   | 400                         | -1,5                          | 1,2                           | 2,3  | 1,4  | -1,8  | 2,7                               | 7,1   |
| 28                  | 30                   | 784                         | 6,5                           | 10,2                          | 42,2                                       | 103,6                                      | 66,1  | 3,8                               | 14,3  |
| 20                  | 20                   | 400                         | -1,5                          | 0,2                           | 2,3  | 0,0  | -0,3  | 1,7                               | 2,8   |
| 28                  | 29                   | 784                         | 6,5                           | 9,2                           | 42,2                                       | 84,3                                       | 59,6  | 2,8                               | 7,8   |
| 28                  | 24                   | 784                         | 6,5                           | 4,2                           | 42,2                                       | 17,5                                       | 27,1  | -2,2                              | 4,9   |
| 8                   | 7                    | 64                          | -13,5                         | -12,8                         | 182,5                                      | 164,4                                      | 173,2   | 0,5                               | 0,2   |
| 16                  | 14                   | 256                         | -5,5                          | -5,8                          | 30,3                                       | 33,9                                       | 32,1  | -0,4                              | 0,2   |
| 18                  | 14                   | 324                         | -3,5                          | -5,8                          | 12,3                                       | 33,9                                       | 20,4  | -2,4                              | 5,6   |
| 26                  | 23                   | 676                         | 4,5                           | 3,2                           | 20,2                                       | 10,1                                       | 14,3  | -1,2                              | 1,6   |
| 26                  | 22                   | 676                         | 4,5                           | 2,2                           | 20,2                                       | 4,8  | 9,8   | -2,2                              | 5,0   |

Tabla 75. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 14                  | 13                   | 196                         | -7,5                          | -6,8                          | 56,4                                       | 46,5                                       | 51,2  | 0,6                               | 0,3   |
| 18                  | 16                   | 324                         | -3,5                          | -3,8                          | 12,3                                       | 14,6                                       | 13,4  | -0,4                              | 0,1   |
| 30                  | 28                   | 900                         | 8,5                           | 8,2                           | 72,1                                       | 66,9                                       | 69,5  | -0,2                              | 0,0   |
| 34                  | 31                   | 1156                        | 12,5                          | 11,2                          | 156,1                                      | 125,0                                      | 139,7   | -1,1                              | 1,3   |
| 35                  | 33                   | 1225                        | 13,5                          | 13,2                          | 182,0                                      | 173,7                                      | 177,8   | -0,1                              | 0,0   |
| 27                  | 26                   | 729                         | 5,5                           | 6,2                           | 30,2                                       | 38,2                                       | 33,9  | 0,8                               | 0,6   |
| 16                  | 15                   | 256                         | -5,5                          | -4,8                          | 30,3                                       | 23,2                                       | 26,5  | 0,6                               | 0,4   |
| 25                  | 25                   | 625                         | 3,5                           | 5,2                           | 12,2                                       | 26,8                                       | 18,1  | 1,7                               | 3,0   |
| 17                  | 15                   | 289                         | -4,5                          | -4,8                          | 20,3                                       | 23,2                                       | 21,7  | -0,4                              | 0,1   |
| 29                  | 31                   | 841                         | 7,5                           | 11,2                          | 56,1                                       | 125,0                                      | 83,8  | 3,8                               | 14,4  |
| 39                  | 41                   | 1521                        | 17,5                          | 21,2                          | 306,0                                      | 448,6                                      | 370,5   | 3,9                               | 15,6  |
| 14                  | 14                   | 196                         | -7,5                          | -5,8                          | 56,4                                       | 33,9                                       | 43,7  | 1,6                               | 2,5   |
| 11                  | 10                   | 121                         | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 12                  | 11                   | 144                         | -9,5                          | -8,8                          | 90,4                                       | 77,8                                       | 83,9  | 0,5                               | 0,3   |
| 8                   | 7                    | 64                          | -13,5                         | -12,8                         | 182,5                                      | 164,4                                      | 173,2   | 0,5                               | 0,2   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 18                  | 19                   | 324                         | -3,5                          | -0,8                          | 12,3                                       | 0,7  | 2,9   | 2,6                               | 6,9   |
| 13                  | 11                   | 169                         | -8,5                          | -8,8                          | 72,4                                       | 77,8                                       | 75,0  | -0,4                              | 0,2   |
| 12                  | 11                   | 144                         | -9,5                          | -8,8                          | 90,4                                       | 77,8                                       | 83,9  | 0,5                               | 0,3   |
| 8                   | 8                    | 64                          | -13,5                         | -11,8                         | 182,5                                      | 139,7                                      | 159,7   | 1,5                               | 2,2   |
| 9                   | 7                    | 81                          | -12,5                         | -12,8                         | 156,4                                      | 164,4                                      | 160,4   | -0,5                              | 0,3   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 18                  | 17                   | 324                         | -3,5                          | -2,8                          | 12,3                                       | 8,0  | 9,9   | 0,6                               | 0,4   |
| 30                  | 32                   | 900                         | 8,5                           | 12,2                          | 72,1                                       | 148,3                                      | 103,4   | 3,8                               | 14,6  |
| 26                  | 30                   | 676                         | 4,5                           | 10,2                          | 20,2                                       | 103,6                                      | 45,7  | 5,8                               | 33,1  |

Tabla 75. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 20                  | 22                   | 400                         | -1,5                          | 2,2                           | 2,3  | 4,8  | -3,3  | 3,7                               | 13,4  |
| 12                  | 12                   | 144                         | -9,5                          | -7,8                          | 90,4                                       | 61,2                                       | 74,4  | 1,5                               | 2,4   |
| 17                  | 17                   | 289                         | -4,5                          | -2,8                          | 20,3                                       | 8,0  | 12,7  | 1,6                               | 2,6   |
| 16                  | 16                   | 256                         | -5,5                          | -3,8                          | 30,3                                       | 14,6                                       | 21,0  | 1,6                               | 2,6   |
| 15                  | 16                   | 225                         | -6,5                          | -3,8                          | 42,4                                       | 14,6                                       | 24,9  | 2,6                               | 6,7   |
| 23                  | 26                   | 529                         | 1,5                           | 6,2                           | 2,2  | 38,2                                       | 9,2   | 4,7                               | 22,2  |
| 24                  | 27                   | 576                         | 2,5                           | 7,2                           | 6,2  | 51,5                                       | 17,9  | 4,7                               | 22,3  |
| 28                  | 26                   | 784                         | 6,5                           | 6,2                           | 42,2                                       | 38,2                                       | 40,1  | -0,2                              | 0,0   |
| 28                  | 29                   | 784                         | 6,5                           | 9,2                           | 42,2                                       | 84,3                                       | 59,6  | 2,8                               | 7,8   |
| 23                  | 27                   | 529                         | 1,5                           | 7,2                           | 2,2  | 51,5                                       | 10,7  | 5,7                               | 32,6  |
| 9                   | 8                    | 81                          | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 16                  | 15                   | 256                         | -5,5                          | -4,8                          | 30,3                                       | 23,2                                       | 26,5  | 0,6                               | 0,4   |
| 21                  | 17                   | 441                         | -0,5                          | -2,8                          | 0,3  | 8,0  | 1,4   | -2,3                              | 5,4   |
| 18                  | 18                   | 324                         | -3,5                          | -1,8                          | 12,3                                       | 3,3  | 6,4   | 1,6                               | 2,7   |
| 21                  | 19                   | 441                         | -0,5                          | -0,8                          | 0,3  | 0,7  | 0,4   | -0,3                              | 0,1   |
| 12                  | 11                   | 144                         | -9,5                          | -8,8                          | 90,4                                       | 77,8                                       | 83,9  | 0,5                               | 0,3   |
| 14                  | 12                   | 196                         | -7,5                          | -7,8                          | 56,4                                       | 61,2                                       | 58,7  | -0,4                              | 0,2   |
| 28                  | 26                   | 784                         | 6,5                           | 6,2                           | 42,2                                       | 38,2                                       | 40,1  | -0,2                              | 0,0   |
| 31                  | 28                   | 961                         | 9,5                           | 8,2                           | 90,1                                       | 66,9                                       | 77,6  | -1,2                              | 1,4   |
| 28                  | 23                   | 784                         | 6,5                           | 3,2                           | 42,2                                       | 10,1                                       | 20,6  | -3,2                              | 10,3  |
| 24                  | 21                   | 576                         | 2,5                           | 1,2                           | 6,2  | 1,4  | 2,9   | -1,3                              | 1,6   |
| 17                  | 16                   | 289                         | -4,5                          | -3,8                          | 20,3                                       | 14,6                                       | 17,2  | 0,6                               | 0,4   |
| 15                  | 13                   | 225                         | -6,5                          | -6,8                          | 42,4                                       | 46,5                                       | 44,4  | -0,4                              | 0,2   |
| 27                  | 26                   | 729                         | 5,5                           | 6,2                           | 30,2                                       | 38,2                                       | 33,9  | 0,8                               | 0,6   |
| 36                  | 38                   | 1296                        | 14,5                          | 18,2                          | 210,0                                      | 330,5                                      | 263,5   | 3,9                               | 15,2  |
| 17                  | 17                   | 289                         | -4,5                          | -2,8                          | 20,3                                       | 8,0  | 12,7  | 1,6                               | 2,6   |

Tabla 75. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup>      | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 9                   | 9                    | 81                               | -12,5                         | -10,8                         | 156,4                                      | 117,1                                      | 135,3   | 1,5                               | 2,2   |
| 12                  | 12                   | 144                              | -9,5                          | -7,8                          | 90,4                                       | 61,2                                       | 74,4  | 1,5                               | 2,4   |
| 9                   | 8                    | 81                               | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 12                  | 12                   | 144                              | -9,5                          | -7,8                          | 90,4                                       | 61,2                                       | 74,4  | 1,5                               | 2,4   |
| 17                  | 17                   | 289                              | -4,5                          | -2,8                          | 20,3                                       | 8,0  | 12,7  | 1,6                               | 2,6   |
| 9                   | 7                    | 81                               | -12,5                         | -12,8                         | 156,4                                      | 164,4                                      | 160,4   | -0,5                              | 0,3   |
| 9                   | 8                    | 81                               | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 12                  | 11                   | 144                              | -9,5                          | -8,8                          | 90,4                                       | 77,8                                       | 83,9  | 0,5                               | 0,3   |
| 7                   | 6                    | 49                               | -14,5                         | -13,8                         | 210,5                                      | 191,0                                      | 200,5   | 0,5                               | 0,2   |
| 11                  | 10                   | 121                              | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 11                  | 10                   | 121                              | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 18                  | 19                   | 324                              | -3,5                          | -0,8                          | 12,3                                       | 0,7  | 2,9   | 2,6                               | 6,9   |
| 29                  | 31                   | 841                              | 7,5                           | 11,2                          | 56,1                                       | 125,0                                      | 83,8  | 3,8                               | 14,4  |
| 22                  | 26                   | 484                              | 0,5                           | 6,2                           | 0,2  | 38,2                                       | 3,0   | 5,7                               | 32,4  |
| 22                  | 24                   | 484                              | 0,5                           | 4,2                           | 0,2  | 17,5                                       | 2,1   | 3,7                               | 13,6  |
| 11                  | 11                   | 121                              | -10,5                         | -8,8                          | 110,4                                      | 77,8                                       | 92,7  | 1,5                               | 2,3   |
| 14                  | 13                   | 196                              | -7,5                          | -6,8                          | 56,4                                       | 46,5                                       | 51,2  | 0,6                               | 0,3   |
| 15                  | 15                   | 225                              | -6,5                          | -4,8                          | 42,4                                       | 23,2                                       | 31,4  | 1,6                               | 2,5   |
| 16                  | 17                   | 256                              | -5,5                          | -2,8                          | 30,3                                       | 8,0  | 15,5  | 2,6                               | 6,8   |
| 27                  | 30                   | 729                              | 5,5                           | 10,2                          | 30,2                                       | 103,6                                      | 55,9  | 4,8                               | 22,7  |
| $\bar{x}$           | $\bar{y}$            | suma x <sub>i</sub> <sup>2</sup> |                               |                               | Sxx  | Syy  | Sxy   |                                   | RSS   |
| 21,5                | 19,8                 | 107306                           |                               |                               | 17103                                      | 16613                                      | 16203   |                                   | 1287  |

Ecuación 1

n= número de pares de datos=195

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i$$

Eq 2

$$b = \frac{Syy - Sxx + \sqrt{(Syy - Sxx)^2 + 4(Sxx)^2}}{2Sxy}$$

$$b = \frac{16613 - 17103 + \sqrt{(16613 - 17103)^2 + 4(17103)^2}}{2 \times 16203} = 0,985$$

Eq 3

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$a = 19,8 - 0,985 \times 21,5 = -1,364$$

CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCION CORREGIDA

$$y_{ical} = c + d x_i$$

Tabla 76. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> -a | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 39                  | 35,4                                 | 1521,0                      | 17,5                          | 14,2                          | 306,0                                      | 201,1                                      | 248,0   | -3,1                              | 9,3   |
| 20                  | 21,4                                 | 400,0                       | -1,5                          | 0,2                           | 2,3  | 0,0  | -0,3  | 1,7                               | 2,8   |
| 28                  | 30,4                                 | 784,0                       | 6,5                           | 9,2                           | 42,2                                       | 84,3                                       | 59,6  | 2,8                               | 7,8   |
| 28                  | 25,4                                 | 784,0                       | 6,5                           | 4,2                           | 42,2                                       | 17,5                                       | 27,1  | -2,2                              | 4,9   |
| 8                   | 8,4                                  | 64,0                        | -13,5                         | -12,8                         | 182,5                                      | 164,4                                      | 173,2   | 0,5                               | 0,2   |
| 16                  | 15,4                                 | 256,0                       | -5,5                          | -5,8                          | 30,3                                       | 33,9                                       | 32,1  | -0,4                              | 0,2   |
| 18                  | 15,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -5,8                          | 12,3                                       | 33,9                                       | 20,4  | -2,4                              | 5,6   |
| 26                  | 24,4                                 | 676,0                       | 4,5                           | 3,2                           | 20,2                                       | 10,1                                       | 14,3  | -1,2                              | 1,6   |
| 26                  | 23,4                                 | 676,0                       | 4,5                           | 2,2                           | 20,2                                       | 4,8  | 9,8   | -2,2                              | 5,0   |
| 14                  | 14,4                                 | 196,0                       | -7,5                          | -6,8                          | 56,4                                       | 46,5                                       | 51,2  | 0,6                               | 0,3   |
| 18                  | 17,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -3,8                          | 12,3                                       | 14,6                                       | 13,4  | -0,4                              | 0,1   |
| 30                  | 29,4                                 | 900,0                       | 8,5                           | 8,2                           | 72,1                                       | 66,9                                       | 69,5  | -0,2                              | 0,0   |
| 34                  | 32,4                                 | 1156,0                      | 12,5                          | 11,2                          | 156,1                                      | 125,0                                      | 139,7   | -1,1                              | 1,3   |
| 35                  | 34,4                                 | 1225,0                      | 13,5                          | 13,2                          | 182,0                                      | 173,7                                      | 177,8   | -0,1                              | 0,0   |
| 27                  | 27,4                                 | 729,0                       | 5,5                           | 6,2                           | 30,2                                       | 38,2                                       | 33,9  | 0,8                               | 0,6   |
| 16                  | 16,4                                 | 256,0                       | -5,5                          | -4,8                          | 30,3                                       | 23,2                                       | 26,5  | 0,6                               | 0,4   |

**Tabla 76. Cálculo función corrección corregida**

| $MR(x_i)$ | $y_{ical}=y_i-a$ | $x_i^2$ | $(x_i-\bar{x})$ | $(y_i-\bar{y})$ | $(x_i-\bar{x})^2$ | $(y_i-\bar{y})^2$ | $(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$ | $y_i-a-bx_i$ | $(y_i-a-bx_i)^2$ |
|-----------|------------------|---------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------------------|--------------|------------------|
| 25        | 26,4             | 625,0   | 3,5             | 5,2             | 12,2              | 26,8              | 18,1                         | 1,7          | 3,0              |
| 17        | 16,4             | 289,0   | -4,5            | -4,8            | 20,3              | 23,2              | 21,7                         | -0,4         | 0,1              |
| 29        | 32,4             | 841,0   | 7,5             | 11,2            | 56,1              | 125,0             | 83,8                         | 3,8          | 14,4             |
| 39        | 42,4             | 1521,0  | 17,5            | 21,2            | 306,0             | 448,6             | 370,5                        | 3,9          | 15,6             |
| 14        | 15,4             | 196,0   | -7,5            | -5,8            | 56,4              | 33,9              | 43,7                         | 1,6          | 2,5              |
| 11        | 11,4             | 121,0   | -10,5           | -9,8            | 110,4             | 96,4              | 103,2                        | 0,5          | 0,3              |
| 12        | 12,4             | 144,0   | -9,5            | -8,8            | 90,4              | 77,8              | 83,9                         | 0,5          | 0,3              |
| 8         | 8,4              | 64,0    | -13,5           | -12,8           | 182,5             | 164,4             | 173,2                        | 0,5          | 0,2              |
| 9         | 9,4              | 81,0    | -12,5           | -11,8           | 156,4             | 139,7             | 147,8                        | 0,5          | 0,2              |
| 18        | 20,4             | 324,0   | -3,5            | -0,8            | 12,3              | 0,7               | 2,9                          | 2,6          | 6,9              |
| 13        | 12,4             | 169,0   | -8,5            | -8,8            | 72,4              | 77,8              | 75,0                         | -0,4         | 0,2              |
| 12        | 12,4             | 144,0   | -9,5            | -8,8            | 90,4              | 77,8              | 83,9                         | 0,5          | 0,3              |
| 8         | 9,4              | 64,0    | -13,5           | -11,8           | 182,5             | 139,7             | 159,7                        | 1,5          | 2,2              |
| 9         | 8,4              | 81,0    | -12,5           | -12,8           | 156,4             | 164,4             | 160,4                        | -0,5         | 0,3              |
| 9         | 9,4              | 81,0    | -12,5           | -11,8           | 156,4             | 139,7             | 147,8                        | 0,5          | 0,2              |
| 18        | 18,4             | 324,0   | -3,5            | -2,8            | 12,3              | 8,0               | 9,9                          | 0,6          | 0,4              |
| 30        | 33,4             | 900,0   | 8,5             | 12,2            | 72,1              | 148,3             | 103,4                        | 3,8          | 14,6             |
| 26        | 31,4             | 676,0   | 4,5             | 10,2            | 20,2              | 103,6             | 45,7                         | 5,8          | 33,1             |
| 20        | 23,4             | 400,0   | -1,5            | 2,2             | 2,3               | 4,8               | -3,3                         | 3,7          | 13,4             |
| 12        | 13,4             | 144,0   | -9,5            | -7,8            | 90,4              | 61,2              | 74,4                         | 1,5          | 2,4              |
| 17        | 18,4             | 289,0   | -4,5            | -2,8            | 20,3              | 8,0               | 12,7                         | 1,6          | 2,6              |
| 16        | 17,4             | 256,0   | -5,5            | -3,8            | 30,3              | 14,6              | 21,0                         | 1,6          | 2,6              |
| 15        | 17,4             | 225,0   | -6,5            | -3,8            | 42,4              | 14,6              | 24,9                         | 2,6          | 6,7              |
| 23        | 27,4             | 529,0   | 1,5             | 6,2             | 2,2               | 38,2              | 9,2                          | 4,7          | 22,2             |
| 24        | 28,4             | 576,0   | 2,5             | 7,2             | 6,2               | 51,5              | 17,9                         | 4,7          | 22,3             |
| 28        | 27,4             | 784,0   | 6,5             | 6,2             | 42,2              | 38,2              | 40,1                         | -0,2         | 0,0              |
| 28        | 30,4             | 784,0   | 6,5             | 9,2             | 42,2              | 84,3              | 59,6                         | 2,8          | 7,8              |

Tabla 76. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> -a | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 23                  | 28,4                                 | 529,0                       | 1,5                           | 7,2                           | 2,2  | 51,5                                       | 10,7  | 5,7                               | 32,6  |
| 9                   | 9,4                                  | 81,0                        | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 16                  | 16,4                                 | 256,0                       | -5,5                          | -4,8                          | 30,3                                       | 23,2                                       | 26,5  | 0,6                               | 0,4   |
| 21                  | 18,4                                 | 441,0                       | -0,5                          | -2,8                          | 0,3  | 8,0  | 1,4   | -2,3                              | 5,4   |
| 18                  | 19,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -1,8                          | 12,3                                       | 3,3  | 6,4   | 1,6                               | 2,7   |
| 21                  | 20,4                                 | 441,0                       | -0,5                          | -0,8                          | 0,3  | 0,7  | 0,4   | -0,3                              | 0,1   |
| 12                  | 12,4                                 | 144,0                       | -9,5                          | -8,8                          | 90,4                                       | 77,8                                       | 83,9  | 0,5                               | 0,3   |
| 14                  | 13,4                                 | 196,0                       | -7,5                          | -7,8                          | 56,4                                       | 61,2                                       | 58,7  | -0,4                              | 0,2   |
| 28                  | 27,4                                 | 784,0                       | 6,5                           | 6,2                           | 42,2                                       | 38,2                                       | 40,1  | -0,2                              | 0,0   |
| 31                  | 29,4                                 | 961,0                       | 9,5                           | 8,2                           | 90,1                                       | 66,9                                       | 77,6  | -1,2                              | 1,4   |
| 28                  | 24,4                                 | 784,0                       | 6,5                           | 3,2                           | 42,2                                       | 10,1                                       | 20,6  | -3,2                              | 10,3  |
| 24                  | 22,4                                 | 576,0                       | 2,5                           | 1,2                           | 6,2  | 1,4  | 2,9   | -1,3                              | 1,6   |
| 17                  | 17,4                                 | 289,0                       | -4,5                          | -3,8                          | 20,3                                       | 14,6                                       | 17,2  | 0,6                               | 0,4   |
| 15                  | 14,4                                 | 225,0                       | -6,5                          | -6,8                          | 42,4                                       | 46,5                                       | 44,4  | -0,4                              | 0,2   |
| 27                  | 27,4                                 | 729,0                       | 5,5                           | 6,2                           | 30,2                                       | 38,2                                       | 33,9  | 0,8                               | 0,6   |
| 36                  | 39,4                                 | 1296,0                      | 14,5                          | 18,2                          | 210,0                                      | 330,5                                      | 263,5   | 3,9                               | 15,2  |
| 17                  | 18,4                                 | 289,0                       | -4,5                          | -2,8                          | 20,3                                       | 8,0  | 12,7  | 1,6                               | 2,6   |
| 9                   | 10,4                                 | 81,0                        | -12,5                         | -10,8                         | 156,4                                      | 117,1                                      | 135,3   | 1,5                               | 2,2   |
| 12                  | 13,4                                 | 144,0                       | -9,5                          | -7,8                          | 90,4                                       | 61,2                                       | 74,4  | 1,5                               | 2,4   |
| 9                   | 9,4                                  | 81,0                        | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 12                  | 13,4                                 | 144,0                       | -9,5                          | -7,8                          | 90,4                                       | 61,2                                       | 74,4  | 1,5                               | 2,4   |
| 17                  | 18,4                                 | 289,0                       | -4,5                          | -2,8                          | 20,3                                       | 8,0  | 12,7  | 1,6                               | 2,6   |
| 9                   | 8,4                                  | 81,0                        | -12,5                         | -12,8                         | 156,4                                      | 164,4                                      | 160,4   | -0,5                              | 0,3   |
| 9                   | 9,4                                  | 81,0                        | -12,5                         | -11,8                         | 156,4                                      | 139,7                                      | 147,8   | 0,5                               | 0,2   |
| 12                  | 12,4                                 | 144,0                       | -9,5                          | -8,8                          | 90,4                                       | 77,8                                       | 83,9  | 0,5                               | 0,3   |
| 7                   | 7,4                                  | 49,0                        | -14,5                         | -13,8                         | 210,5                                      | 191,0                                      | 200,5   | 0,5                               | 0,2   |
| 11                  | 11,4                                 | 121,0                       | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 11                  | 11,4                                 | 121,0                       | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 18                  | 20,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -0,8                          | 12,3                                       | 0,7  | 2,9   | 2,6                               | 6,9   |

Tabla 76. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> -a | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 29                  | 32,4                                 | 841,0                       | 7,5                           | 11,2                          | 56,1                                       | 125,0                                      | 83,8  | 3,8                               | 14,4  |
| 22                  | 27,4                                 | 484,0                       | 0,5                           | 6,2                           | 0,2  | 38,2                                       | 3,0   | 5,7                               | 32,4  |
| 22                  | 25,4                                 | 484,0                       | 0,5                           | 4,2                           | 0,2  | 17,5                                       | 2,1   | 3,7                               | 13,6  |
| 11                  | 12,4                                 | 121,0                       | -10,5                         | -8,8                          | 110,4                                      | 77,8                                       | 92,7  | 1,5                               | 2,3   |
| 14                  | 14,4                                 | 196,0                       | -7,5                          | -6,8                          | 56,4                                       | 46,5                                       | 51,2  | 0,6                               | 0,3   |
| 15                  | 16,4                                 | 225,0                       | -6,5                          | -4,8                          | 42,4                                       | 23,2                                       | 31,4  | 1,6                               | 2,5   |
| 16                  | 18,4                                 | 256,0                       | -5,5                          | -2,8                          | 30,3                                       | 8,0  | 15,5  | 2,6                               | 6,8   |
| 27                  | 31,4                                 | 729,0                       | 5,5                           | 10,2                          | 30,2                                       | 103,6                                      | 55,9  | 4,8                               | 22,7  |
| 20                  | 18,4                                 | 400,0                       | -1,5                          | -2,8                          | 2,3  | 8,0  | 4,3   | -1,3                              | 1,8   |
| 21                  | 20,4                                 | 441,0                       | -0,5                          | -0,8                          | 0,3  | 0,7  | 0,4   | -0,3                              | 0,1   |
| 33                  | 26,4                                 | 1089,0                      | 11,5                          | 5,2                           | 132,1                                      | 26,8                                       | 59,5  | -6,1                              | 37,7  |
| 30                  | 26,4                                 | 900,0                       | 8,5                           | 5,2                           | 72,1                                       | 26,8                                       | 44,0  | -3,2                              | 10,1  |
| 35                  | 29,4                                 | 1225,0                      | 13,5                          | 8,2                           | 182,0                                      | 66,9                                       | 110,4   | -5,1                              | 26,1  |
| 43                  | 34,4                                 | 1849,0                      | 21,5                          | 13,2                          | 461,9                                      | 173,7                                      | 283,3   | -8,0                              | 63,8  |
| 27                  | 22,4                                 | 729,0                       | 5,5                           | 1,2                           | 30,2                                       | 1,4  | 6,5   | -4,2                              | 17,9  |
| 34                  | 31,4                                 | 1156,0                      | 12,5                          | 10,2                          | 156,1                                      | 103,6                                      | 127,2   | -2,1                              | 4,5   |
| 15                  | 11,4                                 | 225,0                       | -6,5                          | -9,8                          | 42,4                                       | 96,4                                       | 63,9  | -3,4                              | 11,6  |
| 19                  | 16,4                                 | 361,0                       | -2,5                          | -4,8                          | 6,3  | 23,2                                       | 12,1  | -2,4                              | 5,5   |
| 30                  | 26,4                                 | 900,0                       | 8,5                           | 5,2                           | 72,1                                       | 26,8                                       | 44,0  | -3,2                              | 10,1  |
| 27                  | 21,4                                 | 729,0                       | 5,5                           | 0,2                           | 30,2                                       | 0,0  | 1,0   | -5,2                              | 27,4  |
| 16                  | 13,4                                 | 256,0                       | -5,5                          | -7,8                          | 30,3                                       | 61,2                                       | 43,1  | -2,4                              | 5,7   |
| 18                  | 16,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -4,8                          | 12,3                                       | 23,2                                       | 16,9  | -1,4                              | 1,9   |
| 30                  | 27,4                                 | 900,0                       | 8,5                           | 6,2                           | 72,1                                       | 38,2                                       | 52,5  | -2,2                              | 4,8   |
| 38                  | 33,4                                 | 1444,0                      | 16,5                          | 12,2                          | 272,0                                      | 148,3                                      | 200,9   | -4,1                              | 16,5  |
| 33                  | 30,4                                 | 1089,0                      | 11,5                          | 9,2                           | 132,1                                      | 84,3                                       | 105,5   | -2,1                              | 4,6   |
| 31                  | 28,4                                 | 961,0                       | 9,5                           | 7,2                           | 90,1                                       | 51,5                                       | 68,1  | -2,2                              | 4,7   |
| 19                  | 16,4                                 | 361,0                       | -2,5                          | -4,8                          | 6,3  | 23,2                                       | 12,1  | -2,4                              | 5,5   |

Tabla 76. Cálculo función corrección corregida

| $MR(x_i)$ | $y_{ical}=y_i-a$ | $x_i^2$ | $(x_i-\bar{x})$ | $(y_i-\bar{y})$ | $(x_i-\bar{x})^2$ | $(y_i-\bar{y})^2$ | $(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})$ | $y_i-a-bx_i$ | $(y_i-a-bx_i)^2$ |
|-----------|------------------|---------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------------------|--------------|------------------|
| 28        | 28,4             | 784,0   | 6,5             | 7,2             | 42,2              | 51,5              | 46,6                         | 0,8          | 0,6              |
| 20        | 17,4             | 400,0   | -1,5            | -3,8            | 2,3               | 14,6              | 5,8                          | -2,3         | 5,5              |
| 32        | 31,4             | 1024,0  | 10,5            | 10,2            | 110,1             | 103,6             | 106,8                        | -0,2         | 0,0              |
| 42        | 39,4             | 1764,0  | 20,5            | 18,2            | 419,9             | 330,5             | 372,5                        | -2,0         | 4,0              |
| 16        | 13,4             | 256,0   | -5,5            | -7,8            | 30,3              | 61,2              | 43,1                         | -2,4         | 5,7              |
| 15        | 13,4             | 225,0   | -6,5            | -7,8            | 42,4              | 61,2              | 50,9                         | -1,4         | 2,0              |
| 20        | 18,4             | 400,0   | -1,5            | -2,8            | 2,3               | 8,0               | 4,3                          | -1,3         | 1,8              |
| 16        | 13,4             | 256,0   | -5,5            | -7,8            | 30,3              | 61,2              | 43,1                         | -2,4         | 5,7              |
| 15        | 14,4             | 225,0   | -6,5            | -6,8            | 42,4              | 46,5              | 44,4                         | -0,4         | 0,2              |
| 11        | 10,4             | 121,0   | -10,5           | -10,8           | 110,4             | 117,1             | 113,7                        | -0,5         | 0,2              |
| 9         | 8,4              | 81,0    | -12,5           | -12,8           | 156,4             | 164,4             | 160,4                        | -0,5         | 0,3              |
| 11        | 10,4             | 121,0   | -10,5           | -10,8           | 110,4             | 117,1             | 113,7                        | -0,5         | 0,2              |
| 13        | 12,4             | 169,0   | -8,5            | -8,8            | 72,4              | 77,8              | 75,0                         | -0,4         | 0,2              |
| 13        | 12,4             | 169,0   | -8,5            | -8,8            | 72,4              | 77,8              | 75,0                         | -0,4         | 0,2              |
| 28        | 25,4             | 784,0   | 6,5             | 4,2             | 42,2              | 17,5              | 27,1                         | -2,2         | 4,9              |
| 22        | 21,4             | 484,0   | 0,5             | 0,2             | 0,2               | 0,0               | 0,1                          | -0,3         | 0,1              |
| 22        | 23,4             | 484,0   | 0,5             | 2,2             | 0,2               | 4,8               | 1,1                          | 1,7          | 2,9              |
| 18        | 14,4             | 324,0   | -3,5            | -6,8            | 12,3              | 46,5              | 23,9                         | -3,4         | 11,3             |
| 22        | 17,4             | 484,0   | 0,5             | -3,8            | 0,2               | 14,6              | -1,9                         | -4,3         | 18,5             |
| 29        | 26,4             | 841,0   | 7,5             | 5,2             | 56,1              | 26,8              | 38,8                         | -2,2         | 4,8              |
| 14        | 11,4             | 196,0   | -7,5            | -9,8            | 56,4              | 96,4              | 73,7                         | -2,4         | 5,9              |
| 14        | 12,4             | 196,0   | -7,5            | -8,8            | 56,4              | 77,8              | 66,2                         | -1,4         | 2,0              |
| 30        | 25,4             | 900,0   | 8,5             | 4,2             | 72,1              | 17,5              | 35,5                         | -4,2         | 17,5             |
| 30        | 24,4             | 900,0   | 8,5             | 3,2             | 72,1              | 10,1              | 27,0                         | -5,2         | 26,9             |
| 28        | 22,4             | 784,0   | 6,5             | 1,2             | 42,2              | 1,4               | 7,7                          | -5,2         | 27,2             |
| 37        | 28,4             | 1369,0  | 15,5            | 7,2             | 240,0             | 51,5              | 111,2                        | -8,1         | 65,3             |

Tabla 76. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> -a | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 18                  | 15,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -5,8                          | 12,3                                       | 33,9                                       | 20,4  | -2,4                              | 5,6   |
| 12                  | 10,4                                 | 144,0                       | -9,5                          | -10,8                         | 90,4                                       | 117,1                                      | 102,9   | -1,5                              | 2,1   |
| 26                  | 22,4                                 | 676,0                       | 4,5                           | 1,2                           | 20,2                                       | 1,4  | 5,3   | -3,2                              | 10,5  |
| 38                  | 33,4                                 | 1444,0                      | 16,5                          | 12,2                          | 272,0                                      | 148,3                                      | 200,9   | -4,1                              | 16,5  |
| 18                  | 16,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -4,8                          | 12,3                                       | 23,2                                       | 16,9  | -1,4                              | 1,9   |
| 17                  | 17,4                                 | 289,0                       | -4,5                          | -3,8                          | 20,3                                       | 14,6                                       | 17,2  | 0,6                               | 0,4   |
| 18                  | 16,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -4,8                          | 12,3                                       | 23,2                                       | 16,9  | -1,4                              | 1,9   |
| 14                  | 13,4                                 | 196,0                       | -7,5                          | -7,8                          | 56,4                                       | 61,2                                       | 58,7  | -0,4                              | 0,2   |
| 16                  | 14,4                                 | 256,0                       | -5,5                          | -6,8                          | 30,3                                       | 46,5                                       | 37,6  | -1,4                              | 1,9   |
| 16                  | 15,4                                 | 256,0                       | -5,5                          | -5,8                          | 30,3                                       | 33,9                                       | 32,1  | -0,4                              | 0,2   |
| 6                   | 5,4                                  | 36,0                        | -15,5                         | -15,8                         | 240,5                                      | 250,3                                      | 245,3   | -0,5                              | 0,3   |
| 7                   | 7,4                                  | 49,0                        | -14,5                         | -13,8                         | 210,5                                      | 191,0                                      | 200,5   | 0,5                               | 0,2   |
| 11                  | 11,4                                 | 121,0                       | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 19                  | 18,4                                 | 361,0                       | -2,5                          | -2,8                          | 6,3  | 8,0  | 7,1   | -0,4                              | 0,1   |
| 27                  | 28,4                                 | 729,0                       | 5,5                           | 7,2                           | 30,2                                       | 51,5                                       | 39,4  | 1,8                               | 3,1   |
| 20                  | 21,4                                 | 400,0                       | -1,5                          | 0,2                           | 2,3  | 0,0  | -0,3  | 1,7                               | 2,8   |
| 27                  | 30,4                                 | 729,0                       | 5,5                           | 9,2                           | 30,2                                       | 84,3                                       | 50,4  | 3,8                               | 14,2  |
| 33                  | 33,4                                 | 1089,0                      | 11,5                          | 12,2                          | 132,1                                      | 148,3                                      | 140,0   | 0,9                               | 0,7   |
| 24                  | 23,4                                 | 576,0                       | 2,5                           | 2,2                           | 6,2  | 4,8  | 5,4   | -0,3                              | 0,1   |
| 32                  | 33,4                                 | 1024,0                      | 10,5                          | 12,2                          | 110,1                                      | 148,3                                      | 127,8   | 1,8                               | 3,4   |
| 31                  | 33,4                                 | 961,0                       | 9,5                           | 12,2                          | 90,1                                       | 148,3                                      | 115,6   | 2,8                               | 8,0   |
| 13                  | 14,4                                 | 169,0                       | -8,5                          | -6,8                          | 72,4                                       | 46,5                                       | 58,0  | 1,6                               | 2,4   |
| 23                  | 22,4                                 | 529,0                       | 1,5                           | 1,2                           | 2,2  | 1,4  | 1,8   | -0,3                              | 0,1   |
| 28                  | 25,4                                 | 784,0                       | 6,5                           | 4,2                           | 42,2                                       | 17,5                                       | 27,1  | -2,2                              | 4,9   |
| 38                  | 32,4                                 | 1444,0                      | 16,5                          | 11,2                          | 272,0                                      | 125,0                                      | 184,4   | -5,1                              | 25,7  |
| 24                  | 22,4                                 | 576,0                       | 2,5                           | 1,2                           | 6,2  | 1,4  | 2,9   | -1,3                              | 1,6   |
| 18                  | 17,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -3,8                          | 12,3                                       | 14,6                                       | 13,4  | -0,4                              | 0,1   |
| 18                  | 15,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -5,8                          | 12,3                                       | 33,9                                       | 20,4  | -2,4                              | 5,6   |

Tabla 76. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> -a | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 20                  | 20,4                                 | 400,0                       | -1,5                          | -0,8                          | 2,3  | 0,7  | 1,2   | 0,7                               | 0,4   |
| 33                  | 32,4                                 | 1089,0                      | 11,5                          | 11,2                          | 132,1                                      | 125,0                                      | 128,5   | -0,1                              | 0,0   |
| 47                  | 41,4                                 | 2209,0                      | 25,5                          | 20,2                          | 649,9                                      | 407,2                                      | 514,4   | -4,9                              | 24,3  |
| 31                  | 30,4                                 | 961,0                       | 9,5                           | 9,2                           | 90,1                                       | 84,3                                       | 87,1  | -0,2                              | 0,0   |
| 28                  | 27,4                                 | 784,0                       | 6,5                           | 6,2                           | 42,2                                       | 38,2                                       | 40,1  | -0,2                              | 0,0   |
| 25                  | 28,4                                 | 625,0                       | 3,5                           | 7,2                           | 12,2                                       | 51,5                                       | 25,1  | 3,7                               | 14,0  |
| 11                  | 11,4                                 | 121,0                       | -10,5                         | -9,8                          | 110,4                                      | 96,4                                       | 103,2   | 0,5                               | 0,3   |
| 18                  | 18,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -2,8                          | 12,3                                       | 8,0  | 9,9   | 0,6                               | 0,4   |
| 16                  | 15,4                                 | 256,0                       | -5,5                          | -5,8                          | 30,3                                       | 33,9                                       | 32,1  | -0,4                              | 0,2   |
| 24                  | 22,4                                 | 576,0                       | 2,5                           | 1,2                           | 6,2  | 1,4  | 2,9   | -1,3                              | 1,6   |
| 29                  | 29,4                                 | 841,0                       | 7,5                           | 8,2                           | 56,1                                       | 66,9                                       | 61,3  | 0,8                               | 0,6   |
| 17                  | 18,4                                 | 289,0                       | -4,5                          | -2,8                          | 20,3                                       | 8,0  | 12,7  | 1,6                               | 2,6   |
| 15                  | 13,4                                 | 225,0                       | -6,5                          | -7,8                          | 42,4                                       | 61,2                                       | 50,9  | -1,4                              | 2,0   |
| 34                  | 37,4                                 | 1156,0                      | 12,5                          | 16,2                          | 156,1                                      | 261,8                                      | 202,1   | 3,9                               | 15,0  |
| 47                  | 45,4                                 | 2209,0                      | 25,5                          | 24,2                          | 649,9                                      | 584,6                                      | 616,4   | -0,9                              | 0,9   |
| 37                  | 33,4                                 | 1369,0                      | 15,5                          | 12,2                          | 240,0                                      | 148,3                                      | 188,7   | -3,1                              | 9,5   |
| 29                  | 30,4                                 | 841,0                       | 7,5                           | 9,2                           | 56,1                                       | 84,3                                       | 68,8  | 1,8                               | 3,2   |
| 25                  | 22,4                                 | 625,0                       | 3,5                           | 1,2                           | 12,2                                       | 1,4  | 4,1   | -2,3                              | 5,1   |
| 22                  | 18,4                                 | 484,0                       | 0,5                           | -2,8                          | 0,2  | 8,0  | -1,4  | -3,3                              | 10,9  |
| 38                  | 37,4                                 | 1444,0                      | 16,5                          | 16,2                          | 272,0                                      | 261,8                                      | 266,8   | -0,1                              | 0,0   |
| 68                  | 73,4                                 | 4624,0                      | 46,5                          | 52,2                          | 2161,5                                     | 2722,7                                     | 2425,9  | 6,4                               | 40,8  |
| 22                  | 22,4                                 | 484,0                       | 0,5                           | 1,2                           | 0,2  | 1,4  | 0,6   | 0,7                               | 0,5   |
| 14                  | 14,4                                 | 196,0                       | -7,5                          | -6,8                          | 56,4                                       | 46,5                                       | 51,2  | 0,6                               | 0,3   |
| 16                  | 21,4                                 | 256,0                       | -5,5                          | 0,2                           | 30,3                                       | 0,0  | -1,0  | 5,6                               | 31,4  |
| 13                  | 15,4                                 | 169,0                       | -8,5                          | -5,8                          | 72,4                                       | 33,9                                       | 49,5  | 2,6                               | 6,6   |
| 14                  | 13,4                                 | 196,0                       | -7,5                          | -7,8                          | 56,4                                       | 61,2                                       | 58,7  | -0,4                              | 0,2   |

Tabla 76. Cálculo función corrección corregida

| MR(x <sub>i</sub> ) | y <sub>ical</sub> =y <sub>i</sub> -a | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 19                  | 19,4                                 | 361,0                       | -2,5                          | -1,8                          | 6,3  | 3,3  | 4,6   | 0,6                               | 0,4   |
| 10                  | 9,4                                  | 100,0                       | -11,5                         | -11,8                         | 132,4                                      | 139,7                                      | 136,0   | -0,5                              | 0,2   |
| 13                  | 12,4                                 | 169,0                       | -8,5                          | -8,8                          | 72,4                                       | 77,8                                       | 75,0  | -0,4                              | 0,2   |
| 20                  | 20,4                                 | 400,0                       | -1,5                          | -0,8                          | 2,3  | 0,7  | 1,2   | 0,7                               | 0,4   |
| 10                  | 9,4                                  | 100,0                       | -11,5                         | -11,8                         | 132,4                                      | 139,7                                      | 136,0   | -0,5                              | 0,2   |
| 17                  | 17,4                                 | 289,0                       | -4,5                          | -3,8                          | 20,3                                       | 14,6                                       | 17,2  | 0,6                               | 0,4   |
| 18                  | 17,4                                 | 324,0                       | -3,5                          | -3,8                          | 12,3                                       | 14,6                                       | 13,4  | -0,4                              | 0,1   |
| 23                  | 29,4                                 | 529,0                       | 1,5                           | 8,2                           | 2,2  | 66,9                                       | 12,2  | 6,7                               | 45,0  |
| 35                  | 39,4                                 | 1225,0                      | 13,5                          | 18,2                          | 182,0                                      | 330,5                                      | 245,3   | 4,9                               | 23,9  |
| 26                  | 29,4                                 | 676,0                       | 4,5                           | 8,2                           | 20,2                                       | 66,9                                       | 36,7  | 3,8                               | 14,1  |
| 23                  | 26,4                                 | 529,0                       | 1,5                           | 5,2                           | 2,2  | 26,8                                       | 7,7   | 3,7                               | 13,8  |
| 14                  | 15,4                                 | 196,0                       | -7,5                          | -5,8                          | 56,4                                       | 33,9                                       | 43,7  | 1,6                               | 2,5   |
| 17                  | 17,4                                 | 289,0                       | -4,5                          | -3,8                          | 20,3                                       | 14,6                                       | 17,2  | 0,6                               | 0,4   |
| 20                  | 20,4                                 | 400,0                       | -1,5                          | -0,8                          | 2,3  | 0,7  | 1,2   | 0,7                               | 0,4   |
| 20                  | 22,4                                 | 400,0                       | -1,5                          | 1,2                           | 2,3  | 1,4  | -1,8  | 2,7                               | 7,1   |
| 28                  | 31,4                                 | 784,0                       | 6,5                           | 10,2                          | 42,2                                       | 103,6                                      | 66,1  | 3,8                               | 14,3  |
| $\bar{x}_i$         | $\bar{y}_{ical}$                     | $\sum x_i^2$                |                               |                               | <b>Sxx</b>                                 | <b>Syy</b>                                 | <b>Sxy</b>  |                                   | <b>RSS</b>  |
| <b>21,5</b>         | <b>21,2</b>                          | <b>107306</b>               |                               |                               | <b>17103</b>                               | <b>16613</b>                               | <b>16203</b>  |                                   | <b>1287</b>                                       |

**Ecuación 1**

$$\begin{aligned}
 S_{xx} &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\
 S_{yy} &= \sum (y_i - \bar{y})^2 \\
 S_{xy} &= \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \\
 \bar{x} &= 1/n \sum x_i \\
 \bar{y} &= 1/n \sum y_i
 \end{aligned}$$

**Eq 6**

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xy})^2}}{2S_{xy}} \\
 d &= \frac{16613 - 17103 + \sqrt{(16613 - 17103)^2 + 4(17103)^2}}{2 \times 16203} = \mathbf{0,985}
 \end{aligned}$$

**Eq 7**

$$\begin{aligned}
 c &= \bar{y} - d \cdot \bar{x} \\
 c &= 21,2 - 0,985 \times 21,5 = \mathbf{0,000}
 \end{aligned}$$

**CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE**

**INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE A Y LA ORDENADA EN ORIGEN B: U<sub>(B)</sub> Y U<sub>(A)</sub>**

**Eq 4**

$$\begin{aligned}
 u^2(\mathbf{b}) &= \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} = \frac{16613 - (16203^2 / 17103)}{(195-2) \cdot 17103} = 0,0004 \\
 u(\mathbf{b}) &= \mathbf{0,020}
 \end{aligned}$$

**Eq 5**

$$\begin{aligned}
 u^2(\mathbf{a}) &= u^2(\mathbf{b}) \frac{\sum x^2}{n} = 0,0004 \frac{107306}{195} = 0,210 \\
 u(\mathbf{a}) &= \mathbf{0,459}
 \end{aligned}$$

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE D Y LA ORDENADA EN ORIGEN C: $U_{(D)}$ Y $U_{(C)}$

Eq 8

$$u^2(d) = \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx}) = 16613 - (16203^2 / 17103)}{(n-2) \cdot S_{xx} \quad (195-2) \cdot 17103} = 0,0004$$

**$u(d)=0,020$**

Eq 9

$$u^2(c) = u^2(d) \frac{\sum x^2}{n} = 0,0004 \frac{107306}{195} = 0,210$$

**$u(c)=0,459$**

### INCERTIDUMBRE COMBINADA $U_{(CR)}$

Eq 11

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{R_{ss}}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (c + (d-1)x_i)^2 + u_{(a)}^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{1287}{(195-2)} - 1,5^2 + (0 + (0,985-1)50)^2 + 0,459^2$$

$$u_{CR}(y_{i,cal}) = 2,3$$

n= número de pares de datos=195

$R_{ss} = \sum_{i=1}^n (y_i - c - dx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia=1,5

c= término independiente

d=pendiente

$u_{(a)}$ =incertidumbre de la ordenada original (valor empleado para calcular la  $y_{i,cal}$ )

## INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA

Eq 14

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L} = \frac{2,3}{50}$$

$$\omega_{sam} = 4,6\%$$

$u_{CR}$  = incertidumbre combinada

$L$  = valor límite de la medida establecido en la normativa (PM10: 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

Eq 15

$$U_{sam} = k \omega_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 4,6\% = 9,1\%$$

**ANEXO XII: CAMPAÑA GLOBAL PM2,5**

**CALCULO DE LA FUNCIÓN DE CORRECCIÓN**

$$y = a + bx$$

**Tabla 77. Cálculo función corrección**

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 19                  | 20                   | 361                         | 6,7                           | 8,6                           | 44,4                                       | 74,2                                       | 57,4  | 2,1                               | 4,5   |
| 16                  | 14                   | 256                         | 3,7                           | 2,6                           | 13,4                                       | 6,8  | 9,6   | -1,0                              | 0,9   |
| 4                   | 4                    | 16                          | -8,3                          | -7,4                          | 69,5                                       | 54,6                                       | 61,6  | 0,7                               | 0,5   |
| 7                   | 6                    | 49                          | -5,3                          | -5,4                          | 28,5                                       | 29,0                                       | 28,8  | -0,2                              | 0,0   |
| 9                   | 7                    | 81                          | -3,3                          | -4,4                          | 11,1                                       | 19,3                                       | 14,6  | -1,1                              | 1,3   |
| 13                  | 12                   | 169                         | 0,7                           | 0,6                           | 0,4  | 0,4  | 0,4   | 0,0                               | 0,0   |
| 12                  | 12                   | 144                         | -0,3                          | 0,6                           | 0,1  | 0,4  | -0,2  | 0,9                               | 0,9   |
| 6                   | 6                    | 36                          | -6,3                          | -5,4                          | 40,2                                       | 29,0                                       | 34,1  | 0,8                               | 0,6   |
| 11                  | 11                   | 121                         | -1,3                          | -0,4                          | 1,8  | 0,2  | 0,5   | 0,9                               | 0,8   |
| 13                  | 16                   | 169                         | 0,7                           | 4,6                           | 0,4  | 21,3                                       | 3,1   | 4,0                               | 15,7  |
| 15                  | 15                   | 225                         | 2,7                           | 3,6                           | 7,1  | 13,0                                       | 9,6   | 1,0                               | 1,0   |
| 19                  | 17                   | 361                         | 6,7                           | 5,6                           | 44,4                                       | 31,5                                       | 37,4  | -0,9                              | 0,8   |
| 7                   | 8                    | 49                          | -5,3                          | -3,4                          | 28,5                                       | 11,5                                       | 18,1  | 1,8                               | 3,3   |
| 15                  | 14                   | 225                         | 2,7                           | 2,6                           | 7,1  | 6,8  | 7,0   | 0,0                               | 0,0   |
| 10                  | 9                    | 100                         | -2,3                          | -2,4                          | 5,5  | 5,7  | 5,6   | -0,1                              | 0,0   |
| 16                  | 16                   | 256                         | 3,7                           | 4,6                           | 13,4                                       | 21,3                                       | 16,9  | 1,0                               | 1,1   |
| 22                  | 22                   | 484                         | 9,7                           | 10,6                          | 93,4                                       | 112,6                                      | 102,5   | 1,2                               | 1,4   |
| 8                   | 9                    | 64                          | -4,3                          | -2,4                          | 18,8                                       | 5,7  | 10,4  | 1,8                               | 3,4   |
| 7                   | 6                    | 49                          | -5,3                          | -5,4                          | 28,5                                       | 29,0                                       | 28,8  | -0,2                              | 0,0   |
| 4                   | 5                    | 16                          | -8,3                          | -6,4                          | 69,5                                       | 40,8                                       | 53,3  | 1,7                               | 3,0   |
| 5                   | 5                    | 25                          | -7,3                          | -6,4                          | 53,8                                       | 40,8                                       | 46,9  | 0,8                               | 0,6   |
| 6                   | 6                    | 36                          | -6,3                          | -5,4                          | 40,2                                       | 29,0                                       | 34,1  | 0,8                               | 0,6   |
| 13                  | 14                   | 169                         | 0,7                           | 2,6                           | 0,4  | 6,8  | 1,7   | 2,0                               | 3,9   |
| 8                   | 6                    | 64                          | -4,3                          | -5,4                          | 18,8                                       | 29,0                                       | 23,4  | -1,2                              | 1,4   |

Tabla 77. Cálculo función corrección

| MR( $x_i$ ) | MC ( $y_i$ ) | $x_i^2$ | $(x_i - \bar{x})$ | $(y_i - \bar{y})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $(y_i - \bar{y})^2$ | $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ | $y_i - a - bx_i$ | $(y_i - a - bx_i)^2$ |
|-------------|--------------|---------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|------------------|----------------------|
| 7           | 6            | 49      | -5,3              | -5,4              | 28,5                | 29,0                | 28,8                             | -0,2             | 0,0                  |
| 5           | 5            | 25      | -7,3              | -6,4              | 53,8                | 40,8                | 46,9                             | 0,8              | 0,6                  |
| 5           | 5            | 25      | -7,3              | -6,4              | 53,8                | 40,8                | 46,9                             | 0,8              | 0,6                  |
| 42          | 36           | 1764    | 29,7              | 24,6              | 879,9               | 605,7               | 730,1                            | -4,3             | 18,2                 |
| 16          | 20           | 256     | 3,7               | 8,6               | 13,4                | 74,2                | 31,5                             | 5,0              | 25,4                 |
| 5           | 9            | 25      | -7,3              | -2,4              | 53,8                | 5,7                 | 17,5                             | 4,8              | 22,6                 |
| 17          | 19           | 289     | 4,7               | 7,6               | 21,7                | 57,9                | 35,5                             | 3,1              | 9,4                  |
| 14          | 15           | 196     | 1,7               | 3,6               | 2,8                 | 13,0                | 6,0                              | 2,0              | 4,0                  |
| 11          | 12           | 121     | -1,3              | 0,6               | 1,8                 | 0,4                 | -0,8                             | 1,9              | 3,7                  |
| 7           | 6            | 49      | -5,3              | -5,4              | 28,5                | 29,0                | 28,8                             | -0,2             | 0,0                  |
| 11          | 10           | 121     | -1,3              | -1,4              | 1,8                 | 1,9                 | 1,9                              | -0,1             | 0,0                  |
| 10          | 11           | 100     | -2,3              | -0,4              | 5,5                 | 0,2                 | 0,9                              | 1,9              | 3,6                  |
| 10          | 10           | 100     | -2,3              | -1,4              | 5,5                 | 1,9                 | 3,2                              | 0,9              | 0,8                  |
| 19          | 24           | 361     | 6,7               | 12,6              | 44,4                | 159,0               | 84,0                             | 6,1              | 37,5                 |
| 12          | 16           | 144     | -0,3              | 4,6               | 0,1                 | 21,3                | -1,6                             | 4,9              | 24,4                 |
| 8           | 8            | 64      | -4,3              | -3,4              | 18,8                | 11,5                | 14,7                             | 0,8              | 0,7                  |
| 18          | 18           | 324     | 5,7               | 6,6               | 32,1                | 43,7                | 37,4                             | 1,1              | 1,2                  |
| 20          | 21           | 400     | 7,7               | 9,6               | 58,7                | 92,4                | 73,7                             | 2,2              | 4,6                  |
| 15          | 16           | 225     | 2,7               | 4,6               | 7,1                 | 21,3                | 12,3                             | 2,0              | 4,1                  |
| 6           | 4            | 36      | -6,3              | -7,4              | 40,2                | 54,6                | 46,8                             | -1,2             | 1,5                  |
| 9           | 9            | 81      | -3,3              | -2,4              | 11,1                | 5,7                 | 8,0                              | 0,9              | 0,7                  |
| 13          | 10           | 169     | 0,7               | -1,4              | 0,4                 | 1,9                 | -0,9                             | -2,0             | 4,1                  |
| 10          | 9            | 100     | -2,3              | -2,4              | 5,5                 | 5,7                 | 5,6                              | -0,1             | 0,0                  |
| 12          | 11           | 144     | -0,3              | -0,4              | 0,1                 | 0,2                 | 0,1                              | -0,1             | 0,0                  |
| 7           | 7            | 49      | -5,3              | -4,4              | 28,5                | 19,3                | 23,4                             | 0,8              | 0,7                  |

Tabla 77. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 10                  | 9                    | 100                         | -2,3                          | -2,4                          | 5,5  | 5,7  | 5,6   | -0,1                              | 0,0   |
| 13                  | 15                   | 169                         | 0,7                           | 3,6                           | 0,4  | 13,0                                       | 2,4   | 3,0                               | 8,8   |
| 16                  | 15                   | 256                         | 3,7                           | 3,6                           | 13,4                                       | 13,0                                       | 13,2  | 0,0                               | 0,0   |
| 15                  | 14                   | 225                         | 2,7                           | 2,6                           | 7,1  | 6,8  | 7,0   | 0,0                               | 0,0   |
| 13                  | 11                   | 169                         | 0,7                           | -0,4                          | 0,4  | 0,2  | -0,3  | -1,0                              | 1,1   |
| 11                  | 9                    | 121                         | -1,3                          | -2,4                          | 1,8  | 5,7  | 3,2   | -1,1                              | 1,2   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -3,3                          | -3,4                          | 11,1                                       | 11,5                                       | 11,3  | -0,1                              | 0,0   |
| 16                  | 15                   | 256                         | 3,7                           | 3,6                           | 13,4                                       | 13,0                                       | 13,2  | 0,0                               | 0,0   |
| 22                  | 21                   | 484                         | 9,7                           | 9,6                           | 93,4                                       | 92,4                                       | 92,9  | 0,2                               | 0,0   |
| 11                  | 10                   | 121                         | -1,3                          | -1,4                          | 1,8  | 1,9  | 1,9   | -0,1                              | 0,0   |
| 6                   | 6                    | 36                          | -6,3                          | -5,4                          | 40,2                                       | 29,0                                       | 34,1  | 0,8                               | 0,6   |
| 4                   | 6                    | 16                          | -8,3                          | -5,4                          | 69,5                                       | 29,0                                       | 44,9  | 2,7                               | 7,4   |
| 5                   | 5                    | 25                          | -7,3                          | -6,4                          | 53,8                                       | 40,8                                       | 46,9  | 0,8                               | 0,6   |
| 8                   | 8                    | 64                          | -4,3                          | -3,4                          | 18,8                                       | 11,5                                       | 14,7  | 0,8                               | 0,7   |
| 13                  | 12                   | 169                         | 0,7                           | 0,6                           | 0,4  | 0,4  | 0,4   | 0,0                               | 0,0   |
| 6                   | 5                    | 36                          | -6,3                          | -6,4                          | 40,2                                       | 40,8                                       | 40,5  | -0,2                              | 0,0   |
| 8                   | 6                    | 64                          | -4,3                          | -5,4                          | 18,8                                       | 29,0                                       | 23,4  | -1,2                              | 1,4   |
| 8                   | 7                    | 64                          | -4,3                          | -4,4                          | 18,8                                       | 19,3                                       | 19,0  | -0,2                              | 0,0   |
| 5                   | 3                    | 25                          | -7,3                          | -8,4                          | 53,8                                       | 70,4                                       | 61,5  | -1,2                              | 1,6   |
| 5                   | 6                    | 25                          | -7,3                          | -5,4                          | 53,8                                       | 29,0                                       | 39,5  | 1,8                               | 3,1   |
| 8                   | 5                    | 64                          | -4,3                          | -6,4                          | 18,8                                       | 40,8                                       | 27,7  | -2,2                              | 4,7   |
| 30                  | 23                   | 900                         | 17,7                          | 11,6                          | 312,0                                      | 134,8                                      | 205,1   | -5,6                              | 31,2  |

Tabla 77. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 11                  | 14                   | 121                         | -1,3                          | 2,6                           | 1,8  | 6,8  | -3,5  | 3,9                               | 15,3  |
| 6                   | 11                   | 36                          | -6,3                          | -0,4                          | 40,2                                       | 0,2  | 2,5   | 5,8                               | 33,4  |
| 17                  | 20                   | 289                         | 4,7                           | 8,6                           | 21,7                                       | 74,2                                       | 40,2  | 4,1                               | 16,6  |
| 14                  | 15                   | 196                         | 1,7                           | 3,6                           | 2,8  | 13,0                                       | 6,0   | 2,0                               | 4,0   |
| 12                  | 12                   | 144                         | -0,3                          | 0,6                           | 0,1  | 0,4  | -0,2  | 0,9                               | 0,9   |
| 6                   | 6                    | 36                          | -6,3                          | -5,4                          | 40,2                                       | 29,0                                       | 34,1  | 0,8                               | 0,6   |
| 9                   | 8                    | 81                          | -3,3                          | -3,4                          | 11,1                                       | 11,5                                       | 11,3  | -0,1                              | 0,0   |
| 10                  | 10                   | 100                         | -2,3                          | -1,4                          | 5,5  | 1,9  | 3,2   | 0,9                               | 0,8   |
| 10                  | 10                   | 100                         | -2,3                          | -1,4                          | 5,5  | 1,9  | 3,2   | 0,9                               | 0,8   |
| 15                  | 17                   | 225                         | 2,7                           | 5,6                           | 7,1  | 31,5                                       | 14,9  | 3,0                               | 9,1   |
| 8                   | 9                    | 64                          | -4,3                          | -2,4                          | 18,8                                       | 5,7  | 10,4  | 1,8                               | 3,4   |
| 13                  | 12                   | 169                         | 0,7                           | 0,6                           | 0,4  | 0,4  | 0,4   | 0,0                               | 0,0   |
| 19                  | 14                   | 361                         | 6,7                           | 2,6                           | 44,4                                       | 6,8  | 17,4  | -3,9                              | 15,0  |
| 21                  | 16                   | 441                         | 8,7                           | 4,6                           | 75,1                                       | 21,3                                       | 40,0  | -3,8                              | 14,6  |
| 17                  | 12                   | 289                         | 4,7                           | 0,6                           | 21,7                                       | 0,4  | 2,9   | -3,9                              | 15,4  |
| 23                  | 19                   | 529                         | 10,7                          | 7,6                           | 113,7                                      | 57,9                                       | 81,2  | -2,8                              | 7,7   |
| 17                  | 15                   | 289                         | 4,7                           | 3,6                           | 21,7                                       | 13,0                                       | 16,8  | -0,9                              | 0,9   |
| 21                  | 21                   | 441                         | 8,7                           | 9,6                           | 75,1                                       | 92,4                                       | 83,3  | 1,2                               | 1,4   |
| 20                  | 13                   | 400                         | 7,7                           | 1,6                           | 58,7                                       | 2,6  | 12,3  | -5,8                              | 34,2  |
| 7                   | 6                    | 49                          | -5,3                          | -5,4                          | 28,5                                       | 29,0                                       | 28,8  | -0,2                              | 0,0   |
| 11                  | 7                    | 121                         | -1,3                          | -4,4                          | 1,8  | 19,3                                       | 5,9   | -3,1                              | 9,5   |
| 14                  | 13                   | 196                         | 1,7                           | 1,6                           | 2,8  | 2,6  | 2,7   | 0,0                               | 0,0   |
| 16                  | 11                   | 256                         | 3,7                           | -0,4                          | 13,4                                       | 0,2  | -1,4  | -4,0                              | 15,6  |
| 7                   | 6                    | 49                          | -5,3                          | -5,4                          | 28,5                                       | 29,0                                       | 28,8  | -0,2                              | 0,0   |
| 10                  | 10                   | 100                         | -2,3                          | -1,4                          | 5,5  | 1,9  | 3,2   | 0,9                               | 0,8   |
| 13                  | 15                   | 169                         | 0,7                           | 3,6                           | 0,4  | 13,0                                       | 2,4   | 3,0                               | 8,8   |
| 18                  | 15                   | 324                         | 5,7                           | 3,6                           | 32,1                                       | 13,0                                       | 20,5  | -1,9                              | 3,6   |

Tabla 77. Cálculo función corrección

| MR( $x_i$ ) | MC ( $y_i$ ) | $x_i^2$ | $(x_i - \bar{x})$ | $(y_i - \bar{y})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $(y_i - \bar{y})^2$ | $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ | $y_i - a - bx_i$ | $(y_i - a - bx_i)^2$ |
|-------------|--------------|---------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|------------------|----------------------|
| 17          | 14           | 289     | 4,7               | 2,6               | 21,7                | 6,8                 | 12,2                             | -1,9             | 3,7                  |
| 14          | 13           | 196     | 1,7               | 1,6               | 2,8                 | 2,6                 | 2,7                              | 0,0              | 0,0                  |
| 8           | 8            | 64      | -4,3              | -3,4              | 18,8                | 11,5                | 14,7                             | 0,8              | 0,7                  |
| 16          | 13           | 256     | 3,7               | 1,6               | 13,4                | 2,6                 | 5,9                              | -2,0             | 3,8                  |
| 10          | 8            | 100     | -2,3              | -3,4              | 5,5                 | 11,5                | 7,9                              | -1,1             | 1,2                  |
| 16          | 15           | 256     | 3,7               | 3,6               | 13,4                | 13,0                | 13,2                             | 0,0              | 0,0                  |
| 23          | 20           | 529     | 10,7              | 8,6               | 113,7               | 74,2                | 91,8                             | -1,8             | 3,1                  |
| 9           | 8            | 81      | -3,3              | -3,4              | 11,1                | 11,5                | 11,3                             | -0,1             | 0,0                  |
| 9           | 8            | 81      | -3,3              | -3,4              | 11,1                | 11,5                | 11,3                             | -0,1             | 0,0                  |
| 14          | 13           | 196     | 1,7               | 1,6               | 2,8                 | 2,6                 | 2,7                              | 0,0              | 0,0                  |
| 8           | 6            | 64      | -4,3              | -5,4              | 18,8                | 29,0                | 23,4                             | -1,2             | 1,4                  |
| 8           | 6            | 64      | -4,3              | -5,4              | 18,8                | 29,0                | 23,4                             | -1,2             | 1,4                  |
| 6           | 5            | 36      | -6,3              | -6,4              | 40,2                | 40,8                | 40,5                             | -0,2             | 0,0                  |
| 5           | 4            | 25      | -7,3              | -7,4              | 53,8                | 54,6                | 54,2                             | -0,2             | 0,1                  |
| 6           | 5            | 36      | -6,3              | -6,4              | 40,2                | 40,8                | 40,5                             | -0,2             | 0,0                  |
| 7           | 6            | 49      | -5,3              | -5,4              | 28,5                | 29,0                | 28,8                             | -0,2             | 0,0                  |
| 9           | 5            | 81      | -3,3              | -6,4              | 11,1                | 40,8                | 21,3                             | -3,1             | 9,9                  |
| 19          | 20           | 361     | 6,7               | 8,6               | 44,4                | 74,2                | 57,4                             | 2,1              | 4,5                  |
| 19          | 17           | 361     | 6,7               | 5,6               | 44,4                | 31,5                | 37,4                             | -0,9             | 0,8                  |
| 15          | 13           | 225     | 2,7               | 1,6               | 7,1                 | 2,6                 | 4,3                              | -1,0             | 1,0                  |
| 15          | 13           | 225     | 2,7               | 1,6               | 7,1                 | 2,6                 | 4,3                              | -1,0             | 1,0                  |
| 7           | 5            | 49      | -5,3              | -6,4              | 28,5                | 40,8                | 34,1                             | -1,2             | 1,4                  |
| 10          | 7            | 100     | -2,3              | -4,4              | 5,5                 | 19,3                | 10,3                             | -2,1             | 4,5                  |
| 13          | 9            | 169     | 0,7               | -2,4              | 0,4                 | 5,7                 | -1,6                             | -3,0             | 9,2                  |
| 16          | 14           | 256     | 3,7               | 2,6               | 13,4                | 6,8                 | 9,6                              | -1,0             | 0,9                  |
| 18          | 15           | 324     | 5,7               | 3,6               | 32,1                | 13,0                | 20,5                             | -1,9             | 3,6                  |

Tabla 77. Cálculo función corrección

| MR( $x_i$ ) | MC ( $y_i$ ) | $x_i^2$ | $(x_i - \bar{x})$ | $(y_i - \bar{y})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $(y_i - \bar{y})^2$ | $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ | $y_i - a - bx_i$ | $(y_i - a - bx_i)^2$ |
|-------------|--------------|---------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|------------------|----------------------|
| 8           | 6            | 64      | -4,3              | -5,4              | 18,8                | 29,0                | 23,4                             | -1,2             | 1,4                  |
| 11          | 8            | 121     | -1,3              | -3,4              | 1,8                 | 11,5                | 4,5                              | -2,1             | 4,4                  |
| 15          | 15           | 225     | 2,7               | 3,6               | 7,1                 | 13,0                | 9,6                              | 1,0              | 1,0                  |
| 16          | 13           | 256     | 3,7               | 1,6               | 13,4                | 2,6                 | 5,9                              | -2,0             | 3,8                  |
| 17          | 11           | 289     | 4,7               | -0,4              | 21,7                | 0,2                 | -1,8                             | -4,9             | 24,3                 |
| 20          | 15           | 400     | 7,7               | 3,6               | 58,7                | 13,0                | 27,7                             | -3,8             | 14,8                 |
| 10          | 7            | 100     | -2,3              | -4,4              | 5,5                 | 19,3                | 10,3                             | -2,1             | 4,5                  |
| 8           | 5            | 64      | -4,3              | -6,4              | 18,8                | 40,8                | 27,7                             | -2,2             | 4,7                  |
| 15          | 11           | 225     | 2,7               | -0,4              | 7,1                 | 0,2                 | -1,0                             | -3,0             | 8,9                  |
| 22          | 18           | 484     | 9,7               | 6,6               | 93,4                | 43,7                | 63,9                             | -2,8             | 7,8                  |
| 12          | 10           | 144     | -0,3              | -1,4              | 0,1                 | 1,9                 | 0,5                              | -1,1             | 1,1                  |
| 12          | 10           | 144     | -0,3              | -1,4              | 0,1                 | 1,9                 | 0,5                              | -1,1             | 1,1                  |
| 10          | 8            | 100     | -2,3              | -3,4              | 5,5                 | 11,5                | 7,9                              | -1,1             | 1,2                  |
| 11          | 9            | 121     | -1,3              | -2,4              | 1,8                 | 5,7                 | 3,2                              | -1,1             | 1,2                  |
| 13          | 10           | 169     | 0,7               | -1,4              | 0,4                 | 1,9                 | -0,9                             | -2,0             | 4,1                  |
| 12          | 11           | 144     | -0,3              | -0,4              | 0,1                 | 0,2                 | 0,1                              | -0,1             | 0,0                  |
| 8           | 5            | 64      | -4,3              | -6,4              | 18,8                | 40,8                | 27,7                             | -2,2             | 4,7                  |
| 7           | 5            | 49      | -5,3              | -6,4              | 28,5                | 40,8                | 34,1                             | -1,2             | 1,4                  |
| 8           | 7            | 64      | -4,3              | -4,4              | 18,8                | 19,3                | 19,0                             | -0,2             | 0,0                  |
| 4           | 3            | 16      | -8,3              | -8,4              | 69,5                | 70,4                | 69,9                             | -0,3             | 0,1                  |
| 4           | 4            | 16      | -8,3              | -7,4              | 69,5                | 54,6                | 61,6                             | 0,7              | 0,5                  |
| 8           | 4            | 64      | -4,3              | -7,4              | 18,8                | 54,6                | 32,0                             | -3,2             | 10,0                 |
| 16          | 17           | 256     | 3,7               | 5,6               | 13,4                | 31,5                | 20,6                             | 2,0              | 4,2                  |
| 9           | 9            | 81      | -3,3              | -2,4              | 11,1                | 5,7                 | 8,0                              | 0,9              | 0,7                  |
| 16          | 15           | 256     | 3,7               | 3,6               | 13,4                | 13,0                | 13,2                             | 0,0              | 0,0                  |
| 12          | 11           | 144     | -0,3              | -0,4              | 0,1                 | 0,2                 | 0,1                              | -0,1             | 0,0                  |
| 11          | 10           | 121     | -1,3              | -1,4              | 1,8                 | 1,9                 | 1,9                              | -0,1             | 0,0                  |
| 8           | 5            | 64      | -4,3              | -6,4              | 18,8                | 40,8                | 27,7                             | -2,2             | 4,7                  |

Tabla 77. Cálculo función corrección

| MR( $x_i$ ) | MC ( $y_i$ ) | $x_i^2$ | $(x_i - \bar{x})$ | $(y_i - \bar{y})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $(y_i - \bar{y})^2$ | $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ | $y_i - a - bx_i$ | $(y_i - a - bx_i)^2$ |
|-------------|--------------|---------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|------------------|----------------------|
| 14          | 8            | 196     | 1,7               | -3,4              | 2,8                 | 11,5                | -5,6                             | -5,0             | 25,1                 |
| 14          | 9            | 196     | 1,7               | -2,4              | 2,8                 | 5,7                 | -4,0                             | -4,0             | 16,1                 |
| 10          | 8            | 100     | -2,3              | -3,4              | 5,5                 | 11,5                | 7,9                              | -1,1             | 1,2                  |
| 13          | 10           | 169     | 0,7               | -1,4              | 0,4                 | 1,9                 | -0,9                             | -2,0             | 4,1                  |
| 26          | 25           | 676     | 13,7              | 13,6              | 186,7               | 185,3               | 186,0                            | 0,3              | 0,1                  |
| 17          | 15           | 289     | 4,7               | 3,6               | 21,7                | 13,0                | 16,8                             | -0,9             | 0,9                  |
| 28          | 27           | 784     | 15,7              | 15,6              | 245,3               | 243,7               | 244,5                            | 0,4              | 0,1                  |
| 28          | 30           | 784     | 15,7              | 18,6              | 245,3               | 346,4               | 291,5                            | 3,4              | 11,3                 |
| 8           | 8            | 64      | -4,3              | -3,4              | 18,8                | 11,5                | 14,7                             | 0,8              | 0,7                  |
| 10          | 9            | 100     | -2,3              | -2,4              | 5,5                 | 5,7                 | 5,6                              | -0,1             | 0,0                  |
| 15          | 13           | 225     | 2,7               | 1,6               | 7,1                 | 2,6                 | 4,3                              | -1,0             | 1,0                  |
| 22          | 17           | 484     | 9,7               | 5,6               | 93,4                | 31,5                | 54,2                             | -3,8             | 14,4                 |
| 15          | 12           | 225     | 2,7               | 0,6               | 7,1                 | 0,4                 | 1,6                              | -2,0             | 3,9                  |
| 9           | 8            | 81      | -3,3              | -3,4              | 11,1                | 11,5                | 11,3                             | -0,1             | 0,0                  |
| 10          | 9            | 100     | -2,3              | -2,4              | 5,5                 | 5,7                 | 5,6                              | -0,1             | 0,0                  |
| 11          | 10           | 121     | -1,3              | -1,4              | 1,8                 | 1,9                 | 1,9                              | -0,1             | 0,0                  |
| 17          | 18           | 289     | 4,7               | 6,6               | 21,7                | 43,7                | 30,8                             | 2,1              | 4,3                  |
| 24          | 18           | 576     | 11,7              | 6,6               | 136,0               | 43,7                | 77,1                             | -4,7             | 22,5                 |
| 16          | 17           | 256     | 3,7               | 5,6               | 13,4                | 31,5                | 20,6                             | 2,0              | 4,2                  |
| 17          | 17           | 289     | 4,7               | 5,6               | 21,7                | 31,5                | 26,2                             | 1,1              | 1,1                  |
| 16          | 15           | 256     | 3,7               | 3,6               | 13,4                | 13,0                | 13,2                             | 0,0              | 0,0                  |
| 5           | 4            | 25      | -7,3              | -7,4              | 53,8                | 54,6                | 54,2                             | -0,2             | 0,1                  |
| 8           | 7            | 64      | -4,3              | -4,4              | 18,8                | 19,3                | 19,0                             | -0,2             | 0,0                  |
| 9           | 7            | 81      | -3,3              | -4,4              | 11,1                | 19,3                | 14,6                             | -1,1             | 1,3                  |
| 10          | 9            | 100     | -2,3              | -2,4              | 5,5                 | 5,7                 | 5,6                              | -0,1             | 0,0                  |
| 14          | 15           | 196     | 1,7               | 3,6               | 2,8                 | 13,0                | 6,0                              | 2,0              | 4,0                  |

Tabla 77. Cálculo función corrección

| MR( $x_i$ ) | MC ( $y_i$ ) | $x_i^2$ | $(x_i - \bar{x})$ | $(y_i - \bar{y})$ | $(x_i - \bar{x})^2$ | $(y_i - \bar{y})^2$ | $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$ | $y_i - a - bx_i$ | $(y_i - a - bx_i)^2$ |
|-------------|--------------|---------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|------------------|----------------------|
| 6           | 7            | 36      | -6,3              | -4,4              | 40,2                | 19,3                | 27,8                             | 1,8              | 3,2                  |
| 8           | 8            | 64      | -4,3              | -3,4              | 18,8                | 11,5                | 14,7                             | 0,8              | 0,7                  |
| 12          | 16           | 144     | -0,3              | 4,6               | 0,1                 | 21,3                | -1,6                             | 4,9              | 24,4                 |
| 19          | 20           | 361     | 6,7               | 8,6               | 44,4                | 74,2                | 57,4                             | 2,1              | 4,5                  |
| 17          | 16           | 289     | 4,7               | 4,6               | 21,7                | 21,3                | 21,5                             | 0,1              | 0,0                  |
| 14          | 13           | 196     | 1,7               | 1,6               | 2,8                 | 2,6                 | 2,7                              | 0,0              | 0,0                  |
| 14          | 11           | 196     | 1,7               | -0,4              | 2,8                 | 0,2                 | -0,6                             | -2,0             | 4,0                  |
| 10          | 8            | 100     | -2,3              | -3,4              | 5,5                 | 11,5                | 7,9                              | -1,1             | 1,2                  |
| 20          | 19           | 400     | 7,7               | 7,6               | 58,7                | 57,9                | 58,3                             | 0,2              | 0,0                  |
| 33          | 35           | 1089    | 20,7              | 23,6              | 427,0               | 557,5               | 487,9                            | 3,5              | 12,2                 |
| 10          | 11           | 100     | -2,3              | -0,4              | 5,5                 | 0,2                 | 0,9                              | 1,9              | 3,6                  |
| 6           | 6            | 36      | -6,3              | -5,4              | 40,2                | 29,0                | 34,1                             | 0,8              | 0,6                  |
| 5           | 8            | 25      | -7,3              | -3,4              | 53,8                | 11,5                | 24,9                             | 3,8              | 14,1                 |
| 5           | 6            | 25      | -7,3              | -5,4              | 53,8                | 29,0                | 39,5                             | 1,8              | 3,1                  |
| 7           | 6            | 49      | -5,3              | -5,4              | 28,5                | 29,0                | 28,8                             | -0,2             | 0,0                  |
| 14          | 12           | 196     | 1,7               | 0,6               | 2,8                 | 0,4                 | 1,0                              | -1,0             | 1,0                  |
| 7           | 4            | 49      | -5,3              | -7,4              | 28,5                | 54,6                | 39,4                             | -2,2             | 4,8                  |
| 8           | 6            | 64      | -4,3              | -5,4              | 18,8                | 29,0                | 23,4                             | -1,2             | 1,4                  |
| 10          | 9            | 100     | -2,3              | -2,4              | 5,5                 | 5,7                 | 5,6                              | -0,1             | 0,0                  |
| 6           | 4            | 36      | -6,3              | -7,4              | 40,2                | 54,6                | 46,8                             | -1,2             | 1,5                  |
| 7           | 7            | 49      | -5,3              | -4,4              | 28,5                | 19,3                | 23,4                             | 0,8              | 0,7                  |
| 10          | 6            | 100     | -2,3              | -5,4              | 5,5                 | 29,0                | 12,6                             | -3,1             | 9,7                  |
| 31          | 26           | 961     | 18,7              | 14,6              | 348,3               | 213,5               | 272,7                            | -3,6             | 12,7                 |
| 11          | 16           | 121     | -1,3              | 4,6               | 1,8                 | 21,3                | -6,2                             | 5,9              | 35,0                 |
| 8           | 13           | 64      | -4,3              | 1,6               | 18,8                | 2,6                 | -7,0                             | 5,8              | 34,0                 |

Tabla 77. Cálculo función corrección

| MR(x <sub>i</sub> ) | MC (y <sub>i</sub> ) | x <sub>i</sub> <sup>2</sup>      | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) <sup>2</sup> | (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) <sup>2</sup> | (x <sub>i</sub> - $\bar{x}$ ) (y <sub>i</sub> - $\bar{y}$ ) | y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> | (y <sub>i</sub> -a-bx <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| 17                  | 20                   | 289                              | 4,7                           | 8,6                           | 21,7                                       | 74,2                                       | 40,2  | 4,1                               | 16,6  |
| 13                  | 16                   | 169                              | 0,7                           | 4,6                           | 0,4  | 21,3                                       | 3,1   | 4,0                               | 15,7  |
| 12                  | 12                   | 144                              | -0,3                          | 0,6                           | 0,1  | 0,4  | -0,2  | 0,9                               | 0,9   |
| 7                   | 6                    | 49                               | -5,3                          | -5,4                          | 28,5                                       | 29,0                                       | 28,8  | -0,2                              | 0,0   |
| 10                  | 8                    | 100                              | -2,3                          | -3,4                          | 5,5  | 11,5                                       | 7,9   | -1,1                              | 1,2   |
| 12                  | 10                   | 144                              | -0,3                          | -1,4                          | 0,1  | 1,9  | 0,5   | -1,1                              | 1,1   |
| 12                  | 12                   | 144                              | -0,3                          | 0,6                           | 0,1  | 0,4  | -0,2  | 0,9                               | 0,9   |
| 15                  | 16                   | 225                              | 2,7                           | 4,6                           | 7,1  | 21,3                                       | 12,3  | 2,0                               | 4,1   |
| $\bar{x}$           | $\bar{y}$            | suma x <sub>i</sub> <sup>2</sup> |                               |                               | Sxx  | Syy  | Sxy   |                                   | RSS   |
| 12,3                | 11,4                 | 39354                            |                               |                               | 7233                                       | 6882                                       | 6551  |                                   | 981   |

### Ecuación 1

n= número de pares de datos=211

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})$$

$$\bar{x} = 1/n \sum x_i$$

$$\bar{y} = 1/n \sum y_i$$

### Eq 2

$$b = \frac{S_{yy} - S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - S_{xx})^2 + 4(S_{xx})^2}}{2S_{xy}}$$

$$b = \frac{6882 - 7233 + \sqrt{(6882 - 7233)^2 + 4(7233)^2}}{2 \times 6551} = 0,974$$

### Eq 3

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

$$a = 11,4 - 0,974 \times 12,3 = -0,622$$

## CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE

### INCERTIDUMBRE DE LA PENDIENTE A Y LA ORDENADA EN ORIGEN B: $U_{(B)}$ Y $U_{(A)}$

Eq 4

$$u^2(\mathbf{b}) = \frac{S_{yy} - ((S_{xy})^2 / S_{xx})}{(n-2) \cdot S_{xx}} = \frac{6882 - (6551^2 / 7233)}{(211-2) \cdot 7233} = 0,025$$

$u(\mathbf{b})=0,025$

Eq 5

$$u^2(\mathbf{a}) = u^2(\mathbf{b}) \frac{\sum x^2}{n} = 0,025 \frac{661539345}{211} = 0,117$$

$u(\mathbf{a})=0,342$

### INCERTIDUMBRE COMBINADA $U_{(CR)}$

Eq 10

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{R_{ss}}{(n-2)} - u_{(xi)}^2 + (a + (b-1)x_i)^2$$

$$u_{CR}^2(y_{i,cal}) = \frac{981}{(211-2)} - 1,5^2 + (-0,622 + (0,974-1)30)^2$$

$$u_{CR}(y_{i,cal}) = 2,1$$

Donde:

n= número de pares de datos=211

$R_{ss} = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$  es la suma de los residuos relativos de la regresión ortogonal

$u_{(xi)}$ =incertidumbre de los resultados del método de referencia

a= término independiente

b=pendiente

$x_i$ = es el Valor límite del parámetro medido PM2,5: 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

## INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA

Eq 14

$$\omega_{sam} = \frac{u_{CR}}{L}$$
$$\omega_{sam} = \frac{2,1}{30} = 7,0\%$$

## INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

Eq 15

$$U_{sam} = k \cdot u_{sam}$$

$$U_{sam} = 2 \times 7,0\% = 14,1\%$$