INFORME DEL

EJERCICIO DE INTERCOMPARACIÓN

DE CALIBRACIÓN DE ANALIZADORES DE OZONO

2012

1.- INTRODUCCIÓN

Con fecha 6 de febrero de 2004, se publicó el RD 250/2004 (modificado por el RD 1578/2009, de 16 de octubre) por el que se declaraba al Centro Nacional de Sanidad Ambiental (CNSA) del Instituto de Salud Carlos III (ISCIII), laboratorio asociado al Centro Español de Metrología (CEM) y depositario del Patrón Nacional de ozono. Según el artículo 2 de dicho RD, el Centro Nacional de Sanidad Ambiental es responsable, entre otros, de la difusión del citado Patrón Nacional.

Para dar cumplimiento a dicho artículo, el CNSA ha organizado un ejercicio de intercomparación entre laboratorios de calibración de analizadores de ozono de aire ambiente.

La participación de los laboratorios de calibración en este ejercicio de intercomparación les permite controlar sus resultados, evaluar los métodos de ensayo y mostrar una evaluación de la calidad de sus servicios, dando así cumplimiento a uno de los requisitos de los sistemas de calidad, que es la demostración de la competencia técnica del laboratorio mediante la participación en ejercicios interlaboratorio.

Con el fin de lograr un mecanismo de mejora continua, se solicita a los laboratorios que envíen cualquier sugerencia o comentario que consideren oportuno.

En caso de tener alguna duda sobre la ejecución del ejercicio o de las causas de diferencias en los resultados, no duden en realizar su consulta.

2.- PARTICIPANTES

2.1.- Personal del ISCIII

D.ª Pilar Morillo Gómez

D.ª Carmen Sánchez Blaya

2.2.- Laboratorios de Calibración

AFC INGENIEROS, S.A.
Paseo Imperial, 6 – 2º
Madrid

CALIBRACION DE ANALIZADORES DE GAS, S.L.
Avda. Puente Real, 46
Soto del Real (Madrid)

CERTIO MEDIO AMBIENTE, S.L.
C/ Fragua, 4 - Bloques 2 y 9
Tres Cantos (Madrid)

INGENIEROS ASESORES, S.A.
Parque Tecnológico de Asturias, 39
Llanera (Asturias)

LABORATORIO ANDALUZ DE REFERENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE (LARCA)
Avda. Johan Gutemberg, 1 – Isla de La Cartuja
Sevilla

MCV, S.A.
Autovía A-2, km 575
Collbató (Barcelona)

En la tabla 1 se muestran las CMC declaradas en el alcance de acreditación para ozono, por los laboratorios de calibración participantes en este ejercicio de intercomparación, así como la incertidumbre de calibración de analizadores de ozono del ISCIII.

	CMC
	(2,3 % + 2,4) nmol/mol
	(2,3 % + 2,05) nmol/mol
	(2,2 % + 2,1) nmol/mol
	(3,5 % + 2,2) nmol/mol
	(2,4 % + 1,7) nmol/mol
	(3,4 % + 2,6) nmol/mol
	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DE CALIBRACION DE ANALIZADORES DE OZONO
ISCIII	(2,5 % + 2,3) nmol/mol

Tabla 1. CMC declaradas, para ozono, en los alcances de acreditación de los laboratorios de calibración participantes y la incertidumbre de calibración de analizadores de ozono del ISCIII.

El gráfico 1 muestra las CMC declaradas en los alcances de acreditación de los laboratorios de calibración participantes y la incertidumbre de calibración del ISCIII, para el ozono.

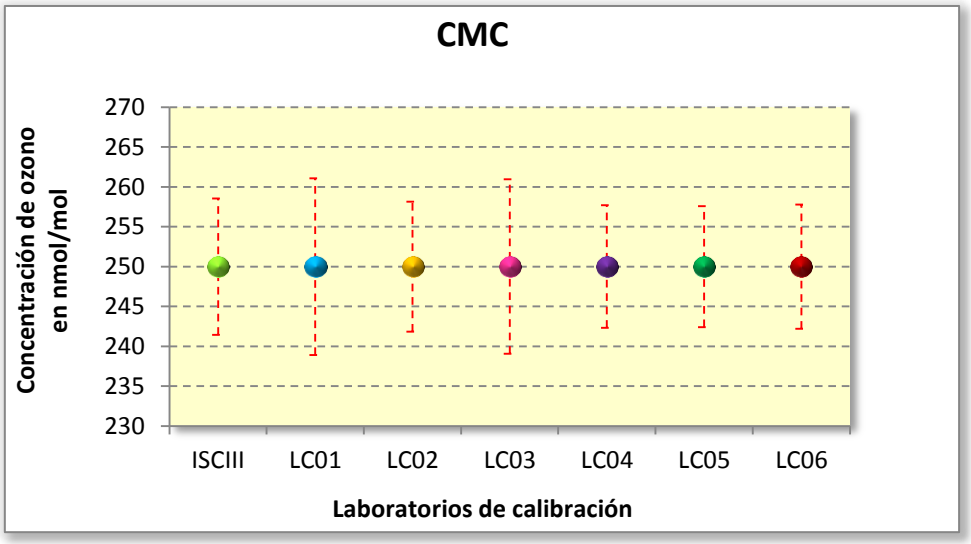

Grafico 1. CMC de los laboratorios de calibración participantes e incertidumbre de calibración del ISCIII

3.- DESARROLLO

3.1.- Equipo enviado

En esta intercomparación, el ISCIII hizo circular por los diferentes laboratorios de calibración participantes un analizador de ozono, marca Thermo Environmental, modelo 49C, n/s: 77311-385.

Se solicitó a los laboratorios participantes que realizaran la calibración ensayando las siguientes concentraciones nominales de ozono:

- para los laboratorios participantes cuyo alcance de acreditación estaba comprendido en el rango de 50 nmol/mol a 500 nmol/mol : (0, 100, 50, 250, 375, 500, 0) nmol/mol, en el orden establecido.

- los laboratorios participantes con un límite inferior del rango del alcance de su acreditación menor de 50 nmol/mol, deberían ensayar, además de las concentraciones anteriores en el orden establecido, la concentración menor a la que estaban acreditados, después de la concentración de 500 nmol/mol.

- los laboratorios de calibración participantes cuyo límite superior del rango del alcance de su acreditación fuese menor de 500 nmol/mol, no tenían que analizar las concentraciones de 375 nmol/mol y 500 nmol/mol.

NOTA: Debido a las características de los generadores de ozono se establece una inestabilidad aceptable de la generación de ± 15 nmol/mol de los valores nominales.

El analizador de ozono se envía al primer participante el 4 de junio de 2012 y regresa a las instalaciones del ISCIII el 31 de julio de 2012.

3.2.- Valores de referencia

El analizador de ozono fue calibrado por el ISCIII antes de ser enviado al primer participante. Después de la calibración de 3 de los 6 laboratorios participantes, el analizador de ozono volvió a las instalaciones del ISCIII donde se le realizó de nuevo una calibración antes de ser enviado al cuarto laboratorio. Al analizador de ozono se le realizó una última calibración después de finalizar el ejercicio.

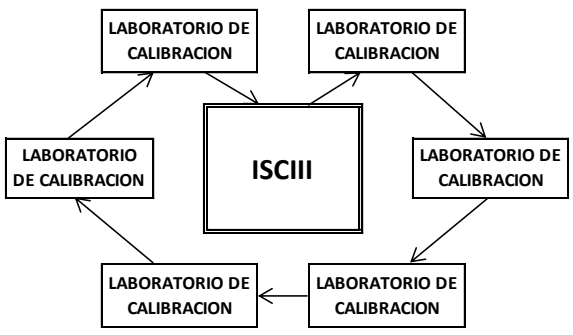

Figura 1. Esquema de pétalos de la intercomparación

La tabla 2 muestra los resultados medidos por el patrón de transferencia de ozono del ISCIII y el analizador de ozono objeto de la intercomparación, así como la incertidumbre expandida, el valor de k y los grados efectivos de libertad, para cada concentración nominal ensayada en cada una de las calibraciones realizadas en el ISCIII durante el ejercicio de intercomparación.

ISCIII	CONCENTRACION NOMINAL en nmol/mol	PATRÓN DE TRANSFERENCIA DE OZONO		ANALIZADOR DE OZONO OBJETO DE LA INTERCOMPARACIÓN				
		X_{PO} nmol/mol	S_{PO} nmol/mol	X_{AN} nmol/mol	S_{AN} nmol/mol	U_{AN} nmol/mol	k	V_{ef}
INICIAL	**5**	5,3	0,18	5,5	0,17	2,4	2	4,81E+07
	10	10,1	0,06	10,1	0,07	2,6	2	2,30E+09
	20	20,0	0,05	20,2	0,14	2,8	2	1,94E+08
	30	29,9	0,10	30,2	0,23	3,1	2	3,99E+07
	50	49,7	0,07	50,0	0,18	3,6	2	1,94E+08
	100	99,2	0,11	99,8	0,16	4,8	2	9,80E+08
	250	247,6	0,19	249,5	0,34	8,5	2	4,73E+08
	375	371	0,32	375	0,38	12	2	1,20E+09
	500	495	0,35	500	0,54	15	2	7,20E+08
FINAL	**5**	5,1	0,09	5,1	0,07	2,4	2	1,67E+09
	10	10,2	0,31	10,4	0,33	2,6	2	4,66E+06
	20	20,0	0,10	20,3	0,11	2,8	2	5,08E+08
	30	29,9	0,08	30,1	0,24	3,1	2	3,37E+07
	50	49,7	0,07	49,8	0,09	3,5	2	2,77E+09
	100	99,1	0,12	99,4	0,17	4,8	2	7,69E+08
	250	247,5	0,08	249,4	0,18	8,5	2	6,02E+09
	375	371	0,18	375	0,27	12	2	4,72E+09
	500	495	0,39	500	0,38	15	2	2,94E+09

X_{PO}	concentración de ozono medida por el patrón de transferencia de ozono
S_{PO}	desviación típica de la concentración de ozono medida por el patrón de transfertencia de ozono
X_{AN}	concentración de ozono medida por el analizador de ozono objeto de la calibración
S_{AN}	desviación típica de la concentración de ozono medida por el analizador de ozono objeto de la calibración
U_{AN}	incertidumbre expandida de la concentración de ozono medida por el analizador de ozono objeto de la calibración
k	factor de cobertura
V_{ef}	grados efectivos de libertad

Tabla 2. Resultados de las calibraciones realizadas al analizador de ozono por el ISCIII

Para obtener los valores de referencia de cada concentración nominal de ozono, se realiza el promedio de las concentraciones medidas, tanto por el patrón de transferencia de ozono del ISCIII como por el analizador objeto de la calibración, en las dos calibraciones realizadas a lo largo del ejercicio de intercomparación y se calcula la corrección existente entre la concentración de ozono real, medida por el patrón de transferencia y la concentración medida por el analizador de ozono. Los resultados se muestran en la tabla 3.

CONCENTRACION NOMINAL en nmol/mol	CALIBRACIONES REALIZADAS POR EL ISCIII CONCENTRACION DE OZONO (nmol/mol)				VALOR DE REFERENCIA nmol/mol		CORRECCIÓN nmol/mol
	INICIAL		FINAL				
	PT_i	AN_i	PT_f	AN_f	PT_{Vref}	AN_{Vref}	C_B
5	5,3	5,5	5,1	5,1	5,2	5,3	**-0,1**
10	10,1	10,1	10,2	10,4	10,2	10,3	**-0,1**
20	20,0	20,2	20,0	20,3	20,0	20,3	**-0,3**
30	29,9	30,2	29,9	30,1	29,9	30,2	**-0,3**
50	49,7	50,0	49,7	49,8	49,7	49,9	**-0,2**
100	99,2	99,8	99,1	99,4	99,2	99,6	**-0,4**
250	247,6	249,5	247,5	249,4	247,6	249,5	**-1,9**
375	371	375	371	375	371,0	375,0	**-4**
500	495	500	495	500	495	500	**-5**

PT_i	valor medido por el patrón de transferencia de ozono del ISCIII en la calibración inicial
AN_i	valor medido por el analizador de ozono en la calibración inicial
PT_f	valor medido por el patrón de transferencia de ozono del ISCIII en la calibración final
AN_f	valor medido por el analizador de ozono en la calibración final
PT_{Vref}	valor de referencia para el patrón de transferencia de ozono del ISCIII
AN_{Vref}	valor de referencia para el analizador de ozono objeto de la calibración
C_B	corrección obtenida del promedio de las dos calibraciones realizadas por el ISCIII

Tabla 3. Valores de referencia de la calibración del analizador de ozono en el ISCIII para cada concentración nominal ensayada

La incertidumbre típica del valor de referencia fue calculada combinando la incertidumbre típica de la calibración con la incertidumbre de la deriva del instrumento en el intervalo transcurrido entre las calibraciones, es decir:

$$u_B = \sqrt{u_{calibración}^2 + u_{deriva}^2}$$

donde:

u_B es la incertidumbre típica del valor de referencia, en nmol/mol

$u_{calibración}$ es la incertidumbre típica de calibración del analizador de ozono, en nmol/mol

u_{deriva} es la incertidumbre típica de la deriva entre calibraciones, en nmol/mol, que se calcula como:

$$u_{deriva} = \frac{C_i - C_f}{\sqrt{3}}$$

donde:

C_i es la corrección de la calibración inicial, en nmol/mol

C_f es la corrección de la calibración final, en nmol/mol

La incertidumbre expandida del valor de referencia para cada concentración nominal ensayada se muestra en la tabla 4:

CONCENTRACION NOMINAL nmol/mol	CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DEL VALOR DE REFERENCIA (k=2) (nmol/mol)		
	$u_{calibracion}$	u_{deriva}	U_B
5	1,2	-0,1	**2,4**
10	1,3	0,1	**2,6**
20	1,4	0,1	**2,8**
30	1,5	-0,1	**3,0**
50	1,8	-0,1	**3,6**
100	2,4	-0,2	**4,8**
250	4,3	0,0	**8,6**
375	6	0,0	**12**
500	7	0,0	**14**

Tabla 4. Incertidumbre expandida del valor de referencia para cada concentración nominal ensayada

4.- RESULTADOS ENVIADOS POR LOS PARTICIPANTES

En la tabla 5 se muestran los resultados informados por los laboratorios participantes:

CODIGO DEL LABORATORIO	CONCENTRACION NOMINAL en nmol/mol	PATRÓN DE TRANSFERENCIA DE OZONO		ANALIZADOR DE OZONO OBJETO DE LA INTERCOMPARACIÓN					
		X_{PO} nmol/mol	S_{PO} nmol/mol	X_{AN} nmol/mol	S_{AN} nmol/mol	U_{AN} nmol/mol	Nº REPETICIONES	k	V_{ef}
LC01	**5**	-	-	-	-	-		-	-
	10	-	-	-	-	-		-	-
	20	-	-	-	-	-		-	-
	30	31,2	0,1	29,7	0,2	3,7		2	> 50
	50	51,5	0,2	49,7	0,1	4,4	5	2	> 50
	100	102,7	0,2	100,5	0,5	6,1		2	> 50
	250	256	0,2	252	0,1	12		2	> 50
	375	384	0,2	378	0,7	16		2	> 50
	500	511	0,4	506	1,6	20		2	> 50
LC02	**5**	-	-	-	-	-		-	
	10	-	-	-	-	-		-	
	20	-	-	-	-	-		-	
	30	33,4	0,9	35,3	0,1	3,2		2	
	50	53,0	0,4	54,8	0,4	3,6	5	2	INFINITO
	100	101,8	0,3	102,8	0,4	4,7		2	
	250	247,6	0,7	251,0	0,7	8,1		2	
	375	374,0	0,5	377,8	1,3	11,0		2	
	500	500,5	1,2	505,2	1,3	13,9		2	
LC03	**5**	-	-	-	-	-		-	-
	10 (*)	10,0	0,09	10,2	0,1	2,6		2	5.84E+07
	20	-	-	-	-	-		-	-
	30	-	-	-	-	-		-	-
	50	50,0	0,07	49,7	0,1	3,9	10	2	1.28E+08
	100	100,0	0,07	99,0	0,23	5,6		2	1.75E+07
	250	250,1	0,07	249,5	0,13	11		2	1.87E+09
	375	375,0	0,04	374,9	0,18	15		2	2.34E+09
	500	500,0	0,08	500,8	0,1	20		2	8.33E+08

(*) concentración no amparada por el alcance de la acreditación ENAC del laboratorio de calibración participante

Tabla 5. Resultados informados por los laboratorios participantes para los diferentes valores nominales

CODIGO DEL LABORATORIO	CONCENTRACION NOMINAL en nmol/mol	PATRÓN DE TRANSFERENCIA DE OZONO		ANALIZADOR DE OZONO OBJETO DE LA INTERCOMPARACIÓN					
		X_{PO} nmol/mol	S_{PO} nmol/mol	X_{AN} nmol/mol	S_{AN} nmol/mol	U_{AN} nmol/mol	Nº REPETICIONES	k	V_{ef}
LC04	5	-	-	-	-	-		-	
	10	-	-	-	-	-		-	
	20	-	-	-	-	-		-	
	30	-	-	-	-	-		-	
	50	50,2	0,11	50,8	0,04	2,3	5	2	INFINITO
	100	100,0	0,12	101,0	0,02	3,5		2	
	250	249,2	0,06	251,4	0,08	7,01		2	
	375	-	-	-	-	-		2	
	500	-	-	-	-	-		2	
LC05	5	-	-	-	-	-		-	
	10	-	-	-	-	-		-	
	20	21,7	0,2	22,2	0,2	2,6		2	
	30	-	-	-	-	-		-	
	50	50,6	0,3	51,1	0,1	3,2	10	2	> 550
	100	101,9	0,4	102,9	0,3	4,3		2	
	250	249,5	0,4	253	0,3	7,6		2	
	375	373	0,1	378	0,2	10		2	
	500	498	0,2	504	0,2	13		2	
LC06	5	-	-	-	-	-		-	
	10	-	-	-	-	-		-	
	20	-	-	-	-	-		-	
	30	-	-	-	-	-		-	
	50	56,96	1,0	50,87	0,5	3,47	10	2	INFINITO
	100	104,68	1,0	96,30	0,19	5,57		2	
	250	254,80	0,3	246,10	0,46	12,45		2	
	375	367,78	1,0	356,10	1,91	17,48		2	
	500	486,92	1,6	475,40	2,41	23,22		2	

Tabla 5. Resultados informados por los laboratorios participantes para los diferentes valores nominales (continuación)

El laboratorio LC06 no utiliza las CMC declaradas en su alcance de acreditación para el cálculo de la incertidumbre expandida de calibración del analizador de ozono.

Los resultados de la tabla 5 se presentan tal y como aparecen en los informes de calibración proporcionado por cada uno de los laboratorios participantes, observándose una incorrecta utilización de las cifras significativas entre los resultados y las incertidumbres, en el caso de los laboratorios LC02, LC03 y LC06.

5.- EVALUACION DEL DESEMPEÑO DE LOS LABORATORIOS

La tabla 6 muestra los valores de las correcciones y las incertidumbres de cada laboratorio de calibración participante para cada concentración nominal de ozono ensayada, así como las correcciones y las incertidumbres del ISCIII, utilizados para el cálculo del índice de compatibilidad (E_n):

CODIGO DEL LABORATORIO	CONCENTRACION NOMINAL nmol/mol	C_B nmol/mol	U_B (k=2) nmol/mol	C_A nmol/mol	U_A (k=2) nmol/mol	En
LC01	5	0,0	2,4	-	-	-
	10	-0,1	2,6	-	-	-
	20	-0,2	2,8	-	-	-
	30	-0,2	3,0	1,5	3,7	0,4
	50	-0,3	3,6	1,8	4,4	0,4
	100	-0,4	4,8	2,2	6,1	0,3
	250	-1,9	8,6	4	12	0,4
	375	-4	12	6	16	0,5
	500	-5	14	5	20	0,4
LC02	5	0,0	2,4	-	-	-
	10	-0,1	2,6	-	-	-
	20	-0,2	2,8	-	-	-
	30	-0,2	3,0	-1,9	3,2	0,4
	50	-0,3	3,6	-1,8	3,6	0,3
	100	-0,4	4,8	-1,0	4,7	0,1
	250	-1,9	8,6	-3,4	8,1	0,1
	375	-4	12	-3,8	11,0	0,0
	500	-5	14	-4,7	13,9	0,0
LC03	5	0,0	2,4	-	-	-
	10	-0,1	2,6	-0,2	2,6	0,0
	20	-0,2	2,8	-	-	-
	30	-0,2	3,0	-	-	-
	50	-0,3	3,6	0,3	3,9	0,1
	100	-0,4	4,8	1,0	5,6	0,2
	250	-1,9	8,6	0,6	11	0,2
	375	-4	12	0,1	15	0,2
	500	-5	14	-0,8	20	0,2
LC04	5	0,0	2,4	-	-	-
	10	-0,1	2,6	-	-	-
	20	-0,2	2,8	-	-	-
	30	-0,2	3,0	-	-	-
	50	-0,3	3,6	-0,6	2,3	0,1
	100	-0,4	4,8	-1,0	3,5	0,1
	250	-1,9	8,6	-2,2	7,01	0,0
	375	-4	12	-	-	-
	500	-5	14	-	-	-
LC05	5	0,0	2,4	-	-	-
	10	-0,1	2,6	-	-	-
	20	-0,2	2,8	-0,5	2,6	0,1
	30	-0,2	3,0	-	-	-
	50	-0,3	3,6	-0,5	3,2	0,0
	100	-0,4	4,8	-1,0	4,3	0,1
	250	-1,9	8,6	-3,5	7,6	0,1
	375	-4	12	-5	10	0,1
	500	-5	14	-6	13	0,1
LC06	5	0,0	2,4	-	-	-
	10	-0,1	2,6	-	-	-
	20	-0,2	2,8	-	-	-
	30	-0,2	3,0	-	-	-
	50	-0,3	3,6	6,09	3,47	1,3
	100	-0,4	4,8	8,38	5,57	1,2
	250	-1,9	8,6	8,70	12,45	0,7
	375	-4	12	11,68	17,48	0,7
	500	-5	14	11,52	23,22	0,6

Tabla 6. Cálculo de En para cada laboratorio de calibración participante para cada concentración nominal de ozono ensayada

La evaluación del desarrollo del desempeño de los laboratorios de calibración participantes se realiza mediante el valor del índice de incompatibilidad E_n, definido como:

$$|E_n| = \frac{(C_A - C_B)}{\sqrt{U_A^2 + U_B^2}} \leq 1$$

donde:

C_A es la corrección obtenida por el laboratorio de calibración participante

C_B es la corrección obtenida por el ISCIII. Se utiliza como valor de referencia la corrección del promedio de las concentraciones obtenidas en las tres calibraciones realizadas por el ISCIII.

U_A incertidumbre expandida informada por el laboratorio de calibración participante

U_B incertidumbre expandida del valor de referencia.

El índice de compatibilidad se evalúa como:

$E_n \leq 1$: Resultado satisfactorio
$E_n > 1$: Resultado no satisfactorio

La tabla 7 muestra la evaluación de los resultados para cada laboratorio participante, en función de este estadístico.

	CONCENTRACION DE < 50 nmol/mol E_n	CONCENTRACION DE 50 nmol/mol E_n	CONCENTRACION DE 100 nmol/mol E_n	CONCENTRACION DE 250 nmol/mol E_n	CONCENTRACION DE 375 nmol/mol E_n	CONCENTRACION DE 500 nmol/mol E_n
LC01	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
LC02	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
LC03	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
LC04	NO REALIZADO	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	FUERA DEL ALCANCE ACREDITADO	FUERA DEL ALCANCE ACREDITADO
LC05	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
LC06	NO REALIZADO	No Satisfactorio	No Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio

Tabla 7. Evaluación del E_n para cada concentración de ozono ensayada y para cada laboratorio de calibración participante.

Los laboratorios LC04 y LC06 aunque están acreditados para un rango inferior a 50 nmol/mol no realizan la calibración en el límite inferior de su rango acreditado, tal y como se pedía en el protocolo del ejercicio de intercomparación.

En los Gráficos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9, se muestran las concentraciones de ozono medidas por los laboratorios de calibración participantes y los valores de referencia obtenidos por el ISCIII, con sus correspondientes incertidumbres asociadas.

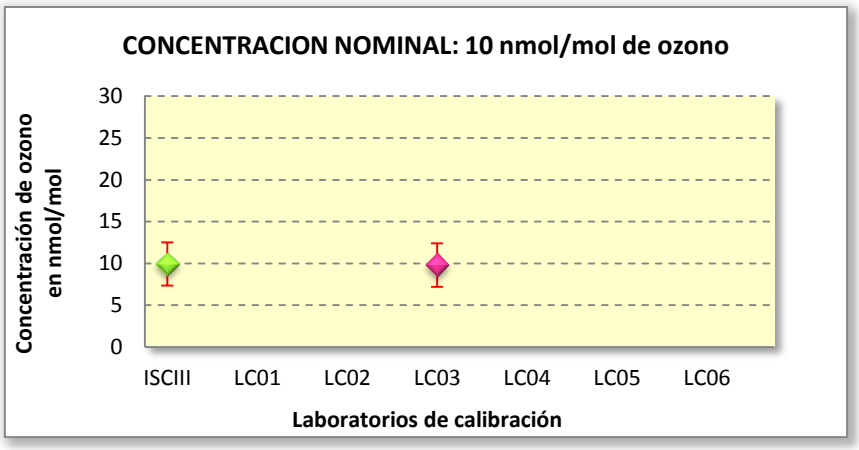

Grafico 2. Concentración e incertidumbre expandida de calibración obtenida por los laboratorios de calibración participantes y para a la concentración nominal de 10 nmol/mol O_3

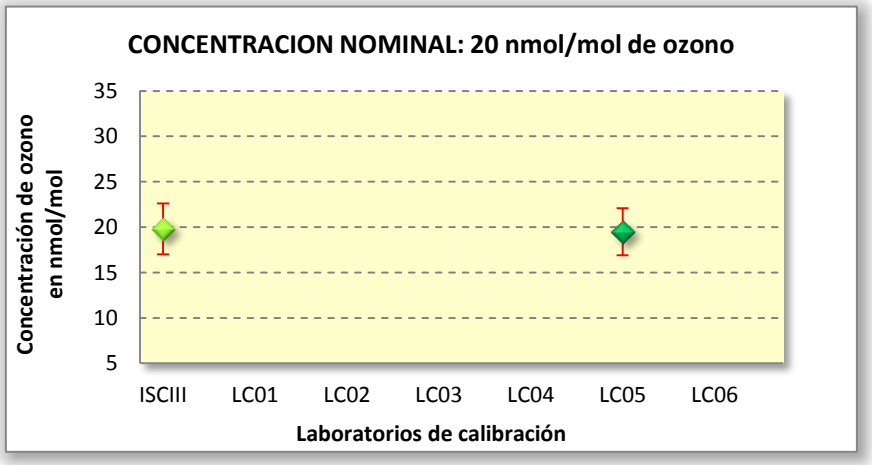

Grafico 3. Concentración e incertidumbre expandida de calibración obtenida por los laboratorios de calibración participantes y para a la concentración nominal de 20 nmol/mol O_3

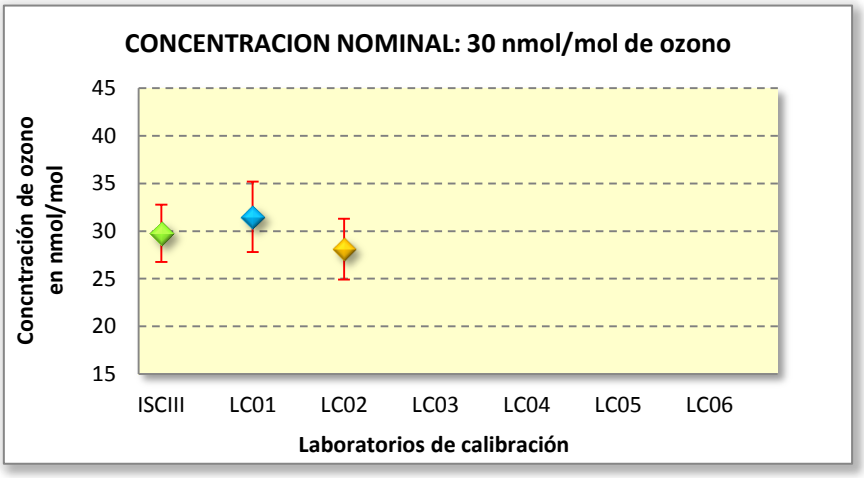

Grafico 4. Concentración e incertidumbre expandida de calibración obtenida por los laboratorios de calibración participantes y para a la concentración nominal de 30 nmol/mol O_3

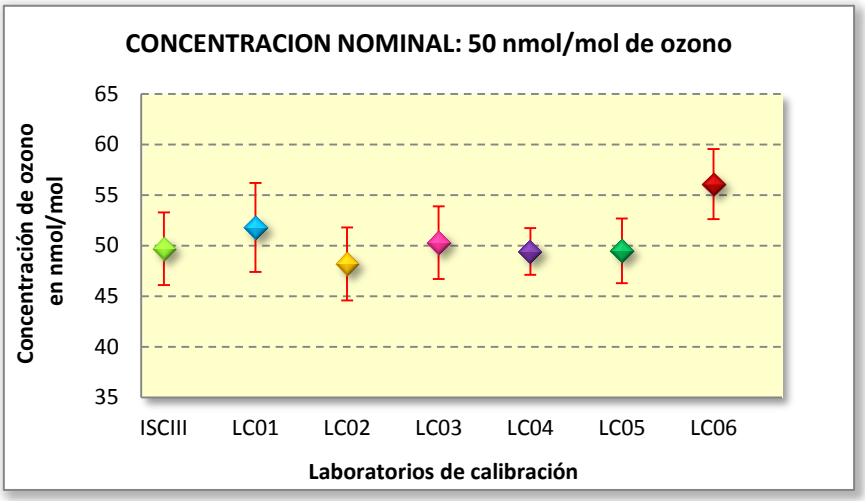

Grafico 5. Concentración e incertidumbre expandida de calibración obtenida por los laboratorios de calibración participantes y para a la concentración nominal de 50 nmol/mol O_3

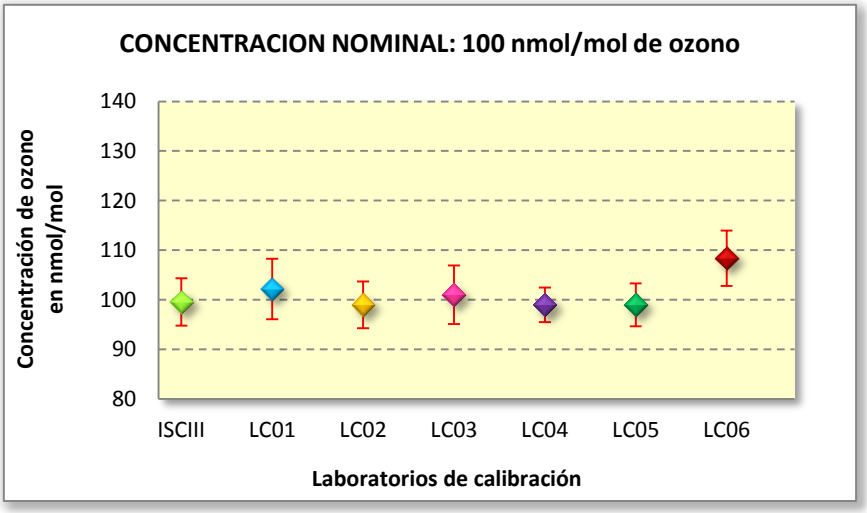

Grafico 6. Concentración e incertidumbre expandida de calibración obtenida por los laboratorios de calibración participantes y para a la concentración nominal de 100 nmol/mol O_3

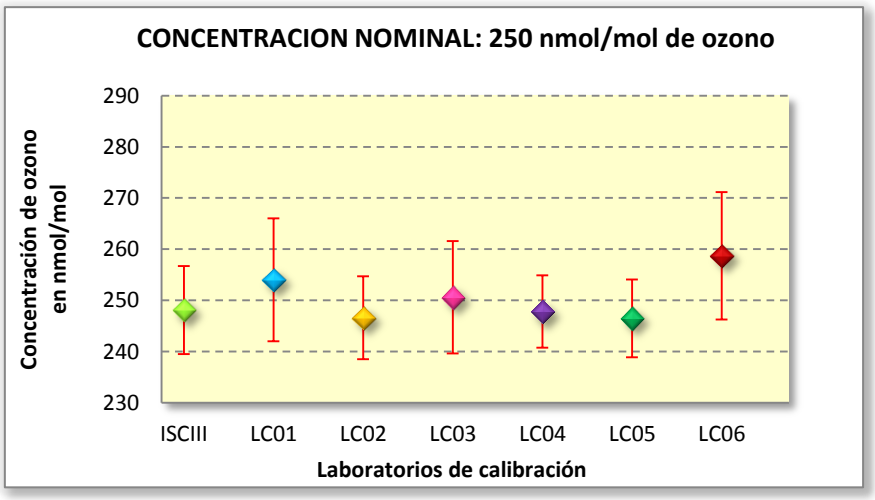

Grafico 7. Concentración e incertidumbre expandida de calibración obtenida por los laboratorios de calibración participantes y para a la concentración nominal de 250 nmol/mol O_3

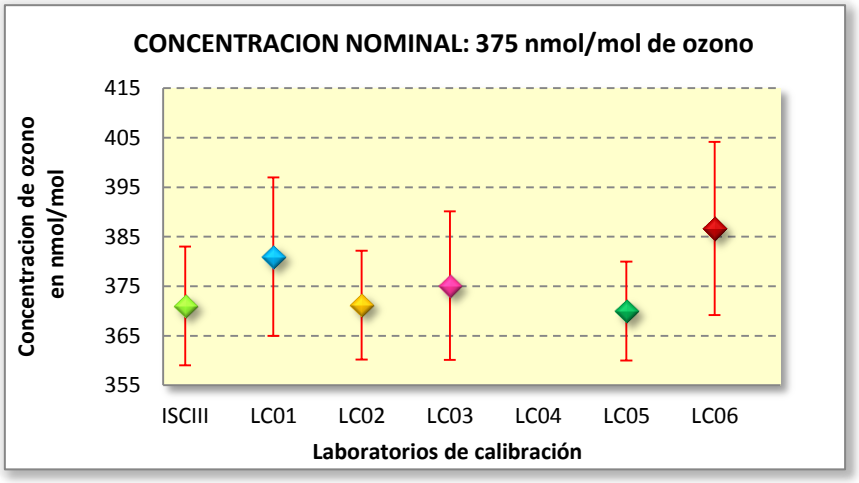

Grafico 8. Concentración e incertidumbre expandida de calibración obtenida por los laboratorios de calibración participantes y para a la concentración nominal de 375 nmol/mol O_3

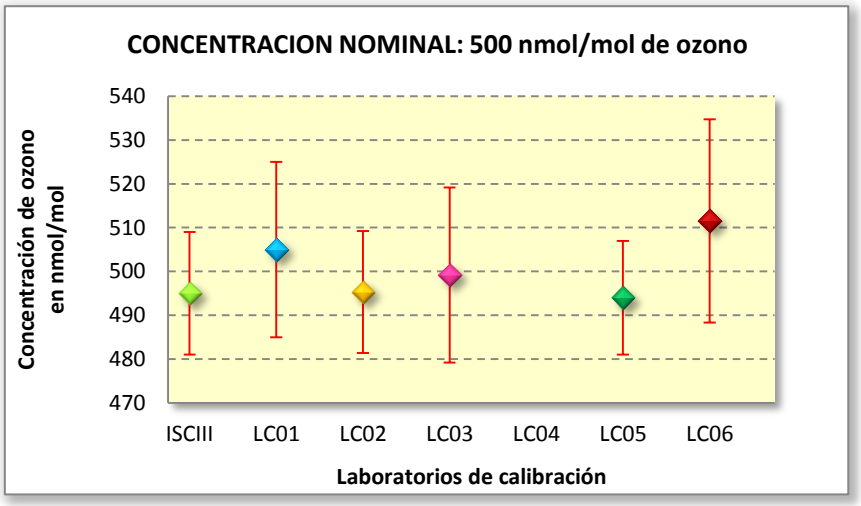

Grafico 9. Concentración e incertidumbre expandida de calibración obtenida por los laboratorios de calibración participantes y para a la concentración nominal de 500 nmol/mol O_3

La tabla 8 muestra, para cada concentración nominal de ozono, el número de medidas satisfactorias y no satisfactorias evaluadas mediante el parámetro E_n:

CONCENTRACION NOMINAL	SATISFACTORIO	NO SATISFACTORIO
< 50 nmol/mol	4	0
50 nmol/mol	5	1
100 nmol/mol	5	1
250 nmol/mol	6	0
375 nmol/mol	5	0
500 nmol/mol	5	0

Tabla 8. Evaluación del número E_n para cada concentración nominal ensayada

6.- CONCLUSIONES

Los laboratorios LC04 y LC06 no siguen el protocolo elaborado para la realización del ejercicio de intercomparación, ya que no realizan la calibración en el límite inferior de su rango acreditado.

El laboratorio LC06 no utiliza las CMC declaradas en su alcance de acreditación para el cálculo de la incertidumbre expandida de calibración del analizador de ozono, en cuyo caso también obtendría un En > 1 para la concentración de 375 nmol/mol.

Los informes de calibración de los laboratorios LC02, LC03 y LC06 presentan un uso incoherente entre las cifras significativas de los resultados y las de las incertidumbres.