

Resultados de la intercomparación ENAC de atenuadores para fibra óptica monomodo

†José Manuel del Cerro⁽²⁾, Pedro Corredera⁽¹⁾, Juan Galindo⁽¹⁾, Rubén de Miguel de Lucas⁽²⁾, Carlos Salazar⁽³⁾, Carlos Meana⁽³⁾, Pedro Notario⁽⁴⁾ y Juan Jose Silvestre⁽⁴⁾

⁽¹⁾Instituto de Óptica (CSIC), Madrid (España)

⁽²⁾NEXANS IBERIA S. L., Madrid (España)

⁽³⁾RODHE & SCHWARZ ESPAÑA, S. A. Madrid, (España).

⁽⁴⁾UNITRONICS S.A. San Sebastián de los Reyes (España)

RESUMEN: En 2015 y 2016 los laboratorios ENAC de fibras ópticas de España pilotados por el Instituto de óptica del CSIC, han realizado una intercomparación de atenuadores ópticos variables para fibra monomodo. En esta intercomparación participaron los cuatro laboratorios enumerados en los autores. El objetivo de la intercomparación es establecer el grado de acuerdo en la calibración de atenuadores ópticos para fibras ópticas monomodo en las ventanas de 1310 nm y 1550 nm, para las pérdidas de inserción del atenuador y corrección en la escala de atenuación, para los niveles de 10 dB, 20 dB, 30 dB, 40 dB y 50 dB en los mismos. Como resultado de la intercomparación se establece un acuerdo de $\pm 0,030$ dB en la calibración para los niveles de atenuación de 10 dB, 20 dB, 30 dB y 40 dB, y de $\pm 0,040$ dB para la medida de la pérdida de inserción y para el nivel de atenuación de 50 dB.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto de Óptica “Daza de Valdés” del CSIC como responsable en España de las magnitudes ópticas que involucran mediciones en fibras ópticas, tiene como responsabilidad diseminar y mantener los patrones y dar trazabilidad a los laboratorios asociados a las entidades Nacionales de Acreditación. En este sentido durante el año 2015 y 2016 se ha llevado a cabo un ejercicio de intercomparación entre los laboratorios asociados en ENAC (Entidad Nacional de Acreditación Española) sobre atenuadores ópticos para fibra monomodo.

Los laboratorios implicados en la intercomparación se presentan en la Tabla 1.

	Denominación	OBSERVACIONES
LAB1	Instituto de Óptica “Daza de Valdés” del CSIC (IO-CSIC)	Laboratorio Piloto
LAB2	NEXANS IBERIA S. L., Madrid (España)	ENAC
LAB3	RODHE & SCHWARZ ESPAÑA, S. A. Madrid, (España)	ENAC
LAB4	UNITRONICS S.A. San Sebastián de los Reyes (España)	ENAC

Tabla 1.- Laboratorios involucrados en la intercomparación

Un atenuador de fibra óptica es un dispositivo que produce una reducción controlada de la potencia óptica en una línea de transmisión por fibra óptica. Si el atenuador introduce un nivel de atenuación fijo lo llamamos atenuador fijo, y si se tiene un control de sintonización para fijar el nivel de atenuación lo llamamos atenuador variable.

Algunas de las principales aplicaciones de los atenuadores de fibra óptica son: asegurar el comportamiento lineal de los receptores de fibra óptica evitando su saturación y no linealidades, equilibrar la potencia óptica en las ramas de la red óptica pasiva (PON), hacer mediciones en un

† Desafortunadamente D. Jose Manuel del Cerro nos dejó el pasado mes de febrero de 2017. Sirva este artículo como un homenaje por su trabajo en NEXANS IBERIA S.L. y por la colaboración con el grupo de fibras ópticas de ENAC en los últimos 20 años. D .E .P .

sistema de telecomunicación óptico. De forma general la tercera de estas aplicaciones concierne principalmente a los atenuadores ópticos variables, y estos tipos de componentes pueden ser muy importantes para efectuar mediciones en un sistema de telecomunicación óptico, por ejemplo, en la caracterización de la medida de la tasa de error binaria o BER (Bit Error Rate) en función de la potencia óptica recibida.

Un atenuador ideal debe tener una atenuación estable en intervalos amplios de temperatura y bajo esfuerzos mecánicos, debe ser independiente de la longitud de onda y del estado de polarización de la luz y no debe causar reflexión ni interferencia de la señal óptica.

Las dos magnitudes de los atenuadores que serán objeto de la comparación son la pérdida de inserción y la corrección al factor de calibración en atenuación

Se define la pérdida de inserción (IL: Insertion Loss) de un atenuador de fibra óptica como la disminución de potencia óptica entre la entrada y la salida del atenuador, expresada en dB, a la longitud de onda de trabajo y considerando el dispositivo en mínima atenuación.

Se expresa como:

$$IL(\lambda) = 10 \text{ Log} \frac{P_{out}(\lambda)}{P_{in}(\lambda)} \text{ [dB]}$$

donde $P_{in}(\lambda)$ es la potencia óptica inyectada a la entrada y $P_{out}(\lambda)$ es la potencia óptica medida a la salida.

Se define la corrección a la calibración de la escala de un atenuador óptico ($K_A(\lambda)$) como la diferencia entre el valor de atenuación real introducido por el atenuador (eliminando las pérdidas por inserción) y el valor de atenuación mostrado por el propio atenuador.

$$K_A(\lambda) = A_{Real}(\lambda) - A_{Nominal}(\lambda) \text{ [dB]}$$

Para los atenuadores fijos que disponen de rabillos de fibra óptica (pigtailes) para su acoplo directo a la red de fibra óptica, las pérdidas de inserción quedan incluidas en la $K_A(\lambda)$.

En los atenuadores variables, que se ajustan de forma continua o en pasos discretos y que para ello incluyen algún tipo de control mecánico o eléctrico, las pérdidas de inserción y la corrección a la atenuación obtenerse de forma separada.

2. SELECCIÓN DEL ELEMENTO DE INTERCOMPARACION Y RESULTADOS PRELIMINARES

La selección del atenuador objeto de la intercomparación ha sido un proceso delicado y tedioso.

El Laboratorio de Fibras ópticas del Instituto de Óptica del CSIC como laboratorio piloto ha realizado las pruebas para la selección de los posibles elementos de intercomparación. Para el caso de la presente intercomparación se han probado de forma sucesiva cuatro diferentes tipos de atenuadores para fibra óptica monomodo, sobre los que se ha realizado pruebas buscando la necesaria repetitividad en la medida en las diferentes etapas de la intercomparación.

Los parámetros y criterios que han servido para la selección del atenuador objeto de la comparación son:

- a) Cubrir el alcance completo de los laboratorios ENAC en atenuación y longitud de onda para fibras monomodo
- b) Encontrar la mínima incertidumbre en las mediciones (IL y K_A)

Entre los atenuadores disponibles en los laboratorios del CSIC y de los atenuadores probados son:

1. 3M / Photodyne 19XT-062T: atenuador variable electrónico en fibra monomodo, con resolución de 0,1 dB, rango de medida 0-60 dB (1310/1550 nm), IL < 2 dB
2. Atenuadores fijos de fibra óptica con conectores FC/APC
3. 3M / PHOTODYNE 1975 XQ-010J, s/n: 10144, atenuador variable programable en fibra monomodo, con resolución de 0,01 dB, rango de medida 0-80 dB (1310/1550 nm), IL < 3 dB
4. Anritsu MN924A, n/s: M45029, atenuador variable manual en fibra monomodo, pasos de 10 dB, rango de medida 0-50 dB (1310/1550 nm), IL < 3,5 dB
Se descarta por la sensibilidad al transporte y a los operadores de calibración considerándose adecuado para la intercomparación. Para proceder a la comparación cada laboratorio usa sus propios medidores de potencia de referencia y los láseres de fibra óptica de longitudes de onda en las ventanas de comunicaciones anteriormente citadas
5. EXFO: FVA-3100-B-EA, n/s: 380451



Fig. 1.- Atenuadores probados y desestimados para la comparación

Los atenuadores fijos mientras que en teoría son más repetitivos en la atenuación y son más independientes del tipo de fuente usada (laser DFB o FP) se desestimaron ya que la incertidumbre en la medida por la repetición en la conexión y desconexión de los conectores no puede reducirse de 0,12 dB, siendo mayor que el alcance objetivo de la comparación. El

atenuador 1 (La3M / Photodyne 19XT-062T) fue también desestimado por no ser repetitivo el cero de atenuación entre encendidos y apagados de los equipos.

Los tres restantes atenuadores se compararon en los laboratorios del CSIC en seis diferentes ocasiones, por diferentes operadores, en tiempos diferentes (tres meses) y con diferentes láseres (DFB y FP), obteniéndose para los parámetros de intercomparación los resultados que se muestran en la Tabla 2 para 1310 nm y en la Tabla 3 para 1550 nm. Como resultado de los test realizados se determina que el atenuador EXFO FVA-3100-B-EA será el objeto de la comparación.

1310/nm	3M / PHOTODYNE 1975 XQ-010J		Anritsu MN924A		EXFO FVA-3100-B-EA	
	Valor	$U(k=2)$	Valor	$U(k=2)$	Valor	$U(k=2)$
IL/dB	2,60	0,50	2,73	-0,37	1,518	0,072
0/dB						
10/dB	0,17	0,22	0,025	0,076	-0,039	0,024
20/dB	0,14	0,24	-0,032	0,065	-0,012	0,031
30/dB	-0,30	0,20	-0,428	0,068	-0,001	0,029
40/dB	1,05	0,20	0,921	0,074	0,032	0,031
50/dB	0,75	0,18	0,657	0,083	0,078	0,049

Tabla 2.- Comparación de tres atenuadores, para mediciones independientes, por operadores independientes y diferentes láseres en la ventana de 1310 nm.

1550/nm	3M / PHOTODYNE 1975 XQ-010J		Anritsu MN924A		EXFO: FVA-3100-B-EA	
	Valor	$U(k=2)$	Valor	$U(k=2)$	Valor	$U(k=2)$
IL/dB	2,86	0,16	2,707	0,027	1,439	0,037
0/dB						
10/dB	0,09	0,30	-0,11	0,10	0,004	0,013
20/dB	-0,17	0,36	-0,41	0,12	0,014	0,011
30/dB	-1,63	0,35	-1,88	0,11	0,025	0,013
40/dB	-1,605	0,046	-1,54	0,12	0,050	0,012
50/dB	-2,610	0,029	-2,54	0,10	0,072	0,036

Tabla 3.- Comparación de tres atenuadores, para mediciones independientes, por operadores independientes y diferentes láseres en la ventana de 1550 nm.



Fig. 2.- Atenuador variable seleccionado para la comparación

3. METODOLOGÍA DE LA CALIBRACIÓN

La calibración de los atenuadores se realiza midiendo con un medidor de potencia propio de cada laboratorio y calibrado en potencia absoluta y linealidad, la potencia de un láser conectado con fibra óptica monomodo, y después del atenuador a diferentes niveles de atenuación: pérdidas de inserción, 0 dB, 10 dB, 20 dB, 30 dB, 40 dB y 50 dB. La medida llamada Pérdidas de inserción es la relación directa entre la potencia de salida del láser a la entrada del atenuador y la de salida del atenuador con una selección de atenuación de 0 dB

La tabla 4 muestra las magnitudes involucradas en la comparación y las incertidumbres que de ellas se derivan.

De forma general la incertidumbre de la comparación son las debidas a la medida de la potencia óptica a la salida de los láseres ($P_{S,A=0}(\lambda)$), y la medida después del atenuador a la atenuación nominal seleccionada ($P_{S,A=x}(\lambda)$). Estas magnitudes tendrán una incertidumbre asociada a la propia medida de la potencia óptica en cada nivel, y la incertidumbre por la linealidad del medidor de potencia entre el nivel de calibración y el punto de medida de la potencia láser.

Magnitud de entrada X_i	Tipo	Distribución de probabilidad	Coef. de sensibilidad	Contribución de la incertidumbre típica
$P_{S,A=x}(\lambda)$	B	Rectangular	1	$\frac{\Delta P_{S,A=x}}{2\sqrt{3}}$
$K_S(\lambda, P_{S,A=x})$	B	Normal	1	$\frac{u_{certificado}}{2}$
$K_{SL}(\lambda, P_{S,A=x})$	B	Normal	1	$\frac{u_{certificado}}{2}$
$P_{S,A=0}(\lambda)$	B	Rectangular	-1	$\frac{\Delta P_{S,A=0}}{2\sqrt{3}}$
$K_S(\lambda, P_{S,A=0})$	B	Normal	-1	$\frac{u_{certificado}}{2}$
$K_{SL}(\lambda, P_{S,A=0})$	B	Normal	-1	$\frac{u_{certificado}}{2}$
$K_{Estabilidad}$	A	Normal	1	
$K_{Atenuador}(\lambda, P)$				$u_T^2 = \sum_{i=1}^N u_i^2$

Tabla 4.- Magnitudes y sus incertidumbres involucradas en la comparación.

Como resultado del estudio de los atenuadores en el laboratorio piloto se fija que el objetivo de la intercomparación es conocer la K_A en el atenuador seleccionado al nivel de incertidumbre de $\pm 0,030$ dB en la calibración de los niveles de atenuación de 10 dB, 20 dB, 30 dB y 40 dB, y con una incertidumbre de $\pm 0,040$ dB para las pérdidas de inserción y el nivel de atenuación de 50 dB, entre los laboratorios participantes.

Para reducir las incertidumbres se establece que todos los laboratorios realizarán las mediciones con los mismos láseres, y que se realizaran dos diferentes turnos de medidas de 6 cada una en cada uno de los laboratorios para establecer las variaciones temporales en el atenuador de referencia

Los patrones, instrumentos y equipos auxiliares a emplear

- 1 Atenuador óptico EXFO: FVA-3100-B-EA, n/s: 380451,
2. Láseres 3M / PHOTODYNE:
 - LASER FP 1300 nm: 1700-1300-J, s/n: 11471
 - LASER FP 1550 nm: 1700-1550-J, s/n: 11229

3 Conectores y rabillos de FO seleccionados

La temperatura ambiente del laboratorio durante la intercomparación deberá permanecer entre los valores de 20 °C y 26 °C y la humedad relativa será <70 %

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Patrones usados en cada laboratorio

IO-CSIC utilizó como patrón el medidor de potencia EXFO PW-1623W, n/s: 438937

NEXANS IBERIA S. A. utilizó como patrón el medidor de potencia HEWLETT PACKARD con "Mainframe" modelo HP 8153 A y n/s 2946 G 02459 y un módulo sensor modelo HP 81532 A y n/s 2948 G 00672.

ROHDE & Schwarz España S.A. utilizó como patrón el medidor de potencia EXFO IQS-1502, s/n 356411.

UNITRONICS S.A. utilizó como patrón el medidor de potencia AGILENT, modelo 8163A/ HP 81533A /HP 81521B, s/n: DE38706692/2949 G 01349/2827 G 01231.

La Tabla 5 muestra las capacidades de medida y calibración (CMC) declarada por cada uno de los laboratorios.

	IO-CSIC		UNITRONICS		R&S		NEXANS	
	1310/nm	1550/nm	1310/nm	1550/nm	1310/nm	1550/nm	1310/nm	1550/nm
IL/dB	0,020	0,020	0,056	0,056	0,016	0,016	0,13	0,13
0/dB	0,020	0,020	0,050	0,050	0,020	0,020	0,13	0,13
10/dB	0,020	0,020	0,050	0,050	0,020	0,020	0,13	0,13
20/dB	0,020	0,020	0,050	0,050	0,020	0,020	0,13	0,13
30/dB	0,020	0,020	0,050	0,050	0,020	0,020	0,13	0,13
40/dB	0,020	0,020	0,050	0,050	0,020	0,020	0,13	0,13
50/dB	0,020	0,020	0,050	0,050	0,020	0,020	0,13	0,13

Tabla 5.- Comparación de tres atenuadores, para mediciones independientes, por operadores independientes y diferentes láseres en la ventana de 1550 nm.

Las tablas 6 y 7 y las figuras 3 y 4 muestran los valores de las constantes de calibración del atenuador obtenidos en cada uno de los laboratorios y su incertidumbre, para cada una de las longitudes de onda 1310 nm y 1550 nm y en las dos rutinas de calibración realizadas en cada uno de ellos.

1310/nm	IO-CSIC 1		IO-CSIC 2		UNITRONICS 1		UNITRONICS 2		R&S 1		R&S 2		NEXANS 1		NEXANS 2	
	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)
PI/dB	1,510	0,020	1,549	0,037	1,52	0,11	1,52	0,11	1,528	0,036	1,533	0,016	1,45	0,13	1,46	0,13
0/dB	0,000	0,020	0,000	0,020	0,000	0,050	0,000	0,050	0,000	0,020	0,000	0,020	0,00	0,13	0,00	0,13
10/dB	-0,034	0,020	-0,020	0,043	-0,025	0,054	-0,028	0,054	-0,034	0,020	-0,045	0,020	-0,02	0,13	-0,03	0,13
20/dB	0,003	0,020	0,002	0,023	0,019	0,057	0,012	0,056	-0,015	0,020	-0,026	0,020	0,01	0,13	-0,02	0,13
30/dB	0,016	0,020	0,000	0,021	0,022	0,050	0,021	0,054	-0,021	0,020	-0,030	0,020	-0,05	0,13	-0,07	0,13
40/dB	0,040	0,023	0,038	0,021	0,072	0,060	0,051	0,055	0,017	0,020	0,003	0,020	-0,02	0,13	-0,04	0,13
50/dB	0,104	0,021	0,075	0,021	0,144	0,060	0,117	0,055	0,081	0,020	0,066	0,020	0,00	0,13	-0,02	0,13

Tabla 6.- Resumen de resultados de todos los laboratorios a 1310 nm.

1550/nm	IO-CSIC 1		IO-CSIC 2		UNITRONICS 1		UNITRONICS 2		R&S 1		R&S 2		NEXANS 1		NEXANS 2	
	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)	Valor	I (k=2)
PI/dB	1,476	0,050	1,467	0,026	1,559	0,079	1,530	0,092	1,475	0,016	1,524	0,016	1,54	0,14	1,52	0,13
0/dB	0,000	0,023	0,000	0,020	0,000	0,050	0,000	0,050	0,000	0,020	0,000	0,020	0,00	0,13	0,00	0,13
10/dB	0,004	0,023	0,016	0,032	0,001	0,052	0,012	0,052	0,013	0,020	-0,009	0,020	0,09	0,13	0,09	0,13
20/dB	0,027	0,024	0,027	0,034	0,009	0,062	0,032	0,051	0,016	0,020	-0,004	0,020	0,07	0,13	0,08	0,13
30/dB	0,044	0,024	0,040	0,032	0,036	0,054	0,054	0,053	0,018	0,020	0,004	0,020	0,01	0,13	0,02	0,13
40/dB	0,074	0,024	0,061	0,033	0,067	0,057	0,081	0,050	0,054	0,020	0,039	0,020	0,03	0,13	0,05	0,13
50/dB	0,089	0,024	0,083	0,033	0,133	0,058	0,136	0,051	0,112	0,020	0,098	0,020	0,06	0,13	0,06	0,13

Tabla 7.- Resumen de resultados de todos los laboratorios a 1550 nm

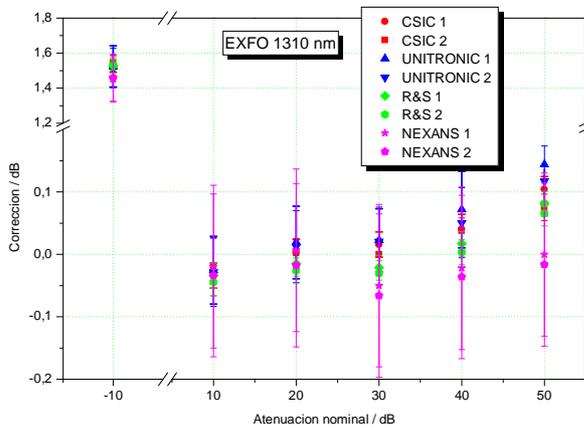


Figura 3.- Valores de calibración para cada laboratorio a 1310 nm

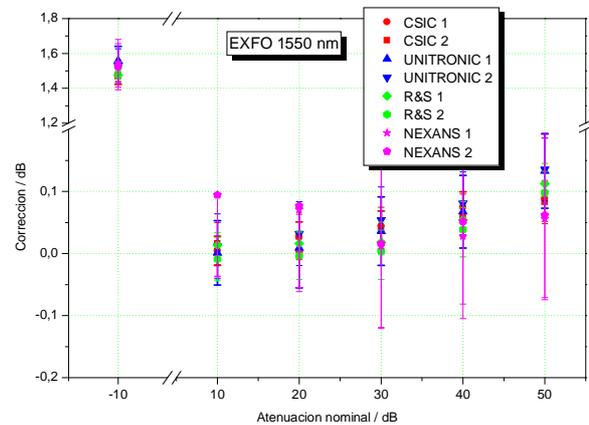


Figura 4.- Valores de calibración para cada laboratorio a 1550 nm

La tabla 8 muestra los resultados finales promediados para todos los laboratorios. Estos resultados se han tomado como referencia común para el atenuador bajo test.

	1310/nm			1550/nm			U Comparación (k = 2)
	Med	Des. v	U (k = 2)	Med	Des. v	U (k = 2)	
IL/dB	1,509	0,035	0,030	1,512	0,035	0,030	0,040
0/dB							
10/dB	-0,030	0,008	0,007	0,028	0,042	0,036	0,030
20/dB	-0,002	0,016	0,014	0,032	0,028	0,024	0,030
30/dB	-0,014	0,034	0,029	0,028	0,018	0,015	0,030
40/dB	0,020	0,037	0,032	0,057	0,018	0,015	0,030
50/dB	0,071	0,055	0,048	0,096	0,030	0,026	0,040

Tabla 8.- Resultados promediados de todos los laboratorios

La tabla 9 y 10 muestran las diferencias entre el valor promedio de los laboratorios para el atenuador bajo test, y el Factor de Compatibilidad (FC) de cada uno de los resultados calculado con la incertidumbre de calibración de cada uno de los laboratorios.

	IO-CSIC 1		IO-CSIC 2		UNITRONICS 1		UNITRONICS 2		R&S 1		R&S 2		NEXANS 1		NEXANS 2	
	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC
1310/nm																
PI/dB	0,00	0,04	0,04	0,73	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,45	0,02	0,18	-0,06	0,43	-0,05	0,35
0/dB																
10/dB	0,00	0,11	0,01	0,19	0,00	0,11	0,00	0,04	0,00	0,11	-0,01	0,11	0,01	0,08	0,00	0,03
20/dB	0,00	0,14	0,00	0,10	0,02	0,65	0,01	0,43	-0,01	0,36	-0,02	0,18	0,01	0,06	-0,02	0,12
30/dB	0,03	0,81	0,01	0,37	0,04	0,99	0,03	0,93	-0,01	0,21	-0,02	0,12	-0,04	0,27	-0,05	0,39
40/dB	0,02	0,53	0,02	0,48	0,05	0,87	0,03	0,88	0,00	0,09	-0,02	0,13	-0,04	0,32	-0,06	0,42
50/dB	0,03	0,73	0,00	0,09	0,07	0,58	0,05	0,51	0,01	0,22	-0,01	0,04	-0,07	0,53	-0,09	0,64

Tabla 9.- Diferencias entre el valor promedio de la medición y el promedio de cada uno de los laboratorios de forma individual para 1310 nm. FC es el factor de compatibilidad de cada una de las mediciones

	IO-CSIC 1		IO-CSIC 2		UNITRONICS 1		UNITRONICS 2		R&S 1		R&S 2		NEXANS 1		NEXANS 2	
	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC	[x-Med]	FC
1550/nm																
PI/dB	-0,04	0,57	-0,05	0,95	0,05	0,03	0,02	0,01	-0,04	0,86	0,01	0,08	0,03	0,22	0,01	0,08
0/dB																
10/dB	-0,02	0,63	-0,01	0,28	-0,03	0,85	-0,02	0,51	-0,01	0,41	-0,04	0,28	0,07	0,49	0,07	0,49
20/dB	-0,01	0,13	-0,01	0,11	-0,02	0,52	0,00	0,01	-0,02	0,43	-0,04	0,26	0,04	0,29	0,04	0,33
30/dB	0,02	0,42	0,01	0,28	0,01	0,13	0,03	0,74	-0,01	0,28	-0,02	0,17	-0,02	0,12	-0,01	0,09
40/dB	0,02	0,45	0,00	0,09	0,01	0,12	0,02	0,39	0,00	0,08	-0,02	0,13	-0,03	0,22	-0,01	0,04
50/dB	-0,01	0,16	-0,01	0,25	0,04	0,26	0,04	0,33	0,02	0,36	0,00	0,02	-0,04	0,30	-0,03	0,25

Tabla 10.- Diferencias entre el valor promedio de la medición y el promedio de cada uno de los laboratorios de forma individual, para 1550 nm. FC es el factor de compatibilidad de cada una de las mediciones

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones que podemos extraer de la presente comparación es que todos los valores de los resultados de los laboratorios están dentro de los FC de cada uno de los mismos, en las condiciones de la intercomparación: 0,030 dB en la calibración de los niveles de atenuación de 10 dB, 20 dB, 30 dB y 40 dB, y con una incertidumbre de 0,040 dB para las pérdidas de inserción y el nivel de atenuación de 50 dB. Además esto se produce a las dos longitudes de onda de las dos ventanas de la comparación 1310 nm y 1550 nm.

Como resultado de la intercomparación se establece un acuerdo de $\pm 0,030$ dB en la calibración para los niveles de atenuación de 10 dB, 20 dB, 30 dB y 40 dB, y de $\pm 0,040$ dB para la medida de la pérdida de inserción y para el nivel de atenuación de 50 dB.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad (proyectos TEC2012-37958-C02-01 y TEC2012-37958-C02-02), a la Comunidad de Madrid (proyecto FACTOTEM-2: S2009/ESP-1781) y a EURAMET (JRP IND14 FREQUENCY) Se citarán las entidades o proyectos implicados.