

**ÁREA DE METROLOGÍA FÍSICA**

**INFORME DE VERIFICACIÓN**

**NOMBRE DEL SERVICIO:** Evaluación técnica y verificación del instrumento prototipo para medir opacidad y coeficiente de absorción de luz en emisiones vehiculares de motores a diesel (opacímetro), conforme a los requerimientos que establece los **puntos 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 de la Norma Oficial Mexicana NOM-045-SEMARNAT-2006**, Protección ambiental.- Vehículos en circulación que usan diesel como combustible.- Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.

**NO. DE SERVICIO:** **520-81947**

**SOLICITANTE:**

**NOMBRE:** Progress Five Analizadores Progresivos de México, S. A. de C. V.  
**DOMICILIO:** Fuente de las Estrellas No. 21, Col. Fuentes del Pedregal, Tlalpan, C. P. 14140, México, D. F.

**INSTRUMENTO SUMINISTRADO POR:**

**NOMBRE:** Progress Five Analizadores Progresivos de México, S. A. de C. V.  
**DOMICILIO:** Fuente de las Estrellas No. 21, Col. Fuentes del Pedregal, Tlalpan, C. P. 14140, México, D. F.

**INSTRUMENTO:**

**DESCRIPCIÓN:** **Opacímetro**  
**MARCA:** **Progress five**  
**MODELO:** **GRUNDIG 7210 Smoke Meter AD2000**  
**NO. DE SERIE:** **SCT305260308**  
**ORIGEN:** **Alemania**  
**PROGRAMA DE CONTROL:** **Verifica.exe versión 2.0.0.107**

**RESULTADOS:** Los resultados se indican en las tablas 5 y 6.

**FECHA DE EMISIÓN:** **2008-05-07**

**FECHA DE PRUEBAS:** **2008-04-30**

**Realizó:**



Guillermo Valencia Luna  
Metrólogo del Laboratorio de Caracterización  
Óptica de Materiales, CENAM.

**Vo.Bo.**



Carlos H. Matamoros García  
Jefe de la División de Óptica y Radiometría,  
CENAM.

El proceso de medición para la evaluación del opacímetro prototipo se llevó a cabo en el laboratorio de Caracterización Óptica de Materiales del CENAM, bajo condiciones controladas de humedad relativa y temperatura; y monitoreando la presión barométrica.

Condiciones Ambientales monitoreadas durante el desarrollo de las pruebas:

Temperatura (°C): 20,49 a 21,39  
 Humedad relativa (%): 52,19 a 42,88  
 Presión barométrica (hPa): 809,78 a 805,97

**PROCEDIMIENTO UTILIZADO**

Los filtros de opacidad proporcionados por el cliente fueron caracterizados en transmitancia en el centro del filtro con un área de aproximadamente 2 mm X 10 mm con un espectrofotómetro UV-Vis, certificado por CENAM, ver tabla No. 1, mediante un barrido espectral a las condiciones indicadas en la tabla No. 2.

Tabla No 1. Incertidumbre para la escala de longitud de onda y la escala de transmitancia del espectrofotómetro UV-Vis. No. Certificado: CNM-CC-520-023/2007

Escala		U
Longitud de Onda, $\lambda$ .	Ancho de banda espectral: 2,0 nm	$\pm 0,078$ nm
Transmitancia, $\tau$ .	Nivel	
	30 %	$\pm 0,098$ %
	50 %	$\pm 0,156$ %
	70 %	$\pm 0,213$ %
	90 %	$\pm 0,270$ %

Tabla No 2. Parámetros instrumentales asignados en la caracterización de los filtros de opacidad en transmitancia espectral.

PARÁMETROS	CONDICIONES
Alcance de la medición: Escala longitud de onda	360 nm a 780 nm
Escala de transmitancia	0 % a 100 %
Velocidad de barrido	900 nm/min
Intervalo de datos	0,5 nm
Tiempo promedio de señal	0,033 s
Ancho de banda espectral	2,0 nm

Posteriormente con los filtros de opacidad caracterizados se llevo a cabo la calibración del opacímetro a las condiciones indicadas en la tabla No. 3. En la calibración, fueron tomadas 3 series cada una formada de 10 lecturas por cada filtro.

El opacímetro fue ajustado al 0% de opacidad para cada una de las series. Las lecturas fueron colectadas directamente de la opacidad y el coeficiente de absorción de luz, mostradas en pantalla y almacenadas en el archivo "Verificación.MDB" por el programa "Verifica versión 2.0.0.107" que controla el opacímetro, con intervalo de tiempo de 1 s entre lecturas.



Tabla No 3. Parámetros instrumentales en la calibración del opacímetro.

PARÁMETROS	CONDICIONES
Longitud de onda	555 nm
Resolución de escala en opacidad	0,1 %
Resolución de escala en coeficiente de absorción de luz	0,001 m <sup>-1</sup>
Longitud de cámara	0,430 m
Longitud efectiva de camino óptico	0,430 m

NOTAS:

- La longitud de onda, la longitud de cámara y la longitud efectiva de camino óptico fueron obtenidos de las especificaciones técnicas proporcionadas por el cliente.

El método utilizado para la realización de las pruebas se basó en la comparación de los valores de las respuestas generadas por el opacímetro, al colocar cada uno de los filtros de opacidad, contra los valores obtenidos en la caracterización de dichos filtros, conforme a [1] y [2].

Los materiales de referencia fueron proporcionados por el Cliente y caracterizados por CENAM, ver tablas 2 y 4.

**RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS FILTROS DE OPACIDAD**

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en la caracterización de los filtros de opacidad.

Tabla No 4. Valores e incertidumbres para transmitancia, opacidad y coeficiente de absorción luminoso, obtenidos para los filtros indicados.

Filtro	Transmitancia $\tau$ (%)		Opacidad N (%)		Coeficiente de absorción luminoso K (m <sup>-1</sup> ) <sup>[4]</sup>	
	Valor	U	Valor	U	Valor	U
PF-001a	50,77	0,16	49,23	0,16	1,577	0,007
PF-006	67,10	0,22	32,90	0,22	0,928	0,008
PF-005a	88,24	0,37	11,76	0,37	0,291	0,010
PF-007	16,40	0,06	83,61	0,06	4,205	0,008

NOTAS:

- [1] La transmitancia,  $\tau$ , informada corresponden a una longitud de onda de 555 nm.  
 [2] La opacidad fue calculada de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N = 100\% - \tau(\%)$$

$\tau$  : Transmitancia, expresada en porcentaje, del filtro de opacidad para la longitud de onda de 555 nm

- [3] El coeficiente de absorción luminoso fue calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$K = -\frac{1}{L} \ln \left[ 1 - \frac{(N)}{100\%} \right]$$

L : Longitud efectiva de camino óptico en metros

ln : Logaritmo natural

- [4] El coeficiente de absorción luminoso es informado para una longitud efectiva de camino óptico de 0,430 m, conforme la especificación proporcionada por el cliente.



**RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL OPACÍMETRO**

En las tablas mostradas a continuación se indican los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas al opacímetro.

Tabla No 5. Valores promedio, errores e incertidumbres para opacidad y coeficiente de absorción luminoso; obtenidos en el instrumento al emplear los filtros.

Filtro	Opacidad N (%)			Coeficiente de absorción luminoso K (m <sup>-1</sup> )		
	Valor	Error	U	Valor	Error	U
PF-005a	11,17	-0,59	0,46	0,275	-0,016	0,012
PF-006	33,83	0,93	0,29	0,960	0,033	0,010
PF-001a	50,62	1,39	0,20	1,641	0,065	0,009
PF-007	83,92	0,32	0,09	4,251	0,046	0,010

NOTAS:

- [1] Los valores de opacidad, N, y el coeficiente de absorción luminoso, K, fueron obtenidos directamente del valor almacenado en el archivo "Verificación.MDB" por el programa "Verifica versión 2.0.0.107" suministrado.

Tabla No 6. Repetibilidad y reproducibilidad obtenidas para el opacímetro al emplear los filtros.

Filtro	Opacidad N (%)		Coeficiente de absorción luminoso K (m <sup>-1</sup> )	
	Repetibilidad	Reproducibilidad	Repetibilidad	Reproducibilidad
PF-005a	0,10	0,16	0,003	0,004
PF-006	0,13	0,11	0,005	0,004
PF-001a	0,08	0,07	0,004	0,003
PF-007	0,06	0,02	0,008	0,003

NOTAS:

- [1] La repetibilidad,  $s_r$ , fue calculada de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$s_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (s_i)^2}{n}}$$

Donde :

$s_i$  = Desviación estandar muestra de series

- [2] La reproducibilidad,  $s_R$ , fue calculada de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$s_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Donde :

$\bar{x}$  = Media de series

$x_i$  = Media de lecturas de cada serie

$n$  = Tamaño de series

- [3] La repetibilidad y reproducibilidad son componentes de la incertidumbre.



Las pruebas cuyos resultados se mencionan en el presente documento fueron realizadas y son válidas exclusivamente para el instrumento y programa cuyas características se indican en la página 1 de este documento; el presente documento solo ampara las mediciones informadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizaron estas pruebas.

Estas mediciones son trazables al Sistema Internacional de Unidades a través del Patrón Nacional de Transmitancia, Absorbancia y Reflectancia espectrales mantenido por el CENAM.

Tabla No 7. Resultados de la verificación del cumplimiento de la NOM-045-SEMARNAT-2006.

Verificación del punto 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4 de la NOM-045-SEMARNAT-2006	Resultado
6.1 El Opacímetro consiste en: 6.1.7. Contar con placa de identificación la cual precise: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Modelo,</li> <li>➤ Número de serie,</li> <li>➤ Nombre del fabricante,</li> <li>➤ Longitud óptica efectiva de 430 mm.</li> </ul>	CUMPLE CUMPLE CUMPLE CUMPLE
6.2. Especificaciones de la cámara y cuerpo del Opacímetro. 6.2.11. Repetibilidad de $0,05 \text{ m}^{-1}$ al emplear filtros de opacidad entre 1,6 y 1,8 en 5 mediciones sucesivas.	CUMPLE
6.3. Comprobación del funcionamiento del Opacímetro. Ajuste a cero empleando aire ambiente como referencia.	CUMPLE
6.4. Calibración del Opacímetro. 6.4.3. Calibración con 4 filtros de opacidad absorbivos con diferencias de al menos 15% unidades de opacidad trazables al patrón de referencia mantenido por CENAM. 6.4.4. Incertidumbre <2% nivel de confianza de 95%. 6.4.7. El promedio no debe exceder 2% unidades del valor del filtro de opacidad.	CUMPLE  CUMPLE CUMPLE

## REFERENCIAS

[1] NOM-045-SEMARNAT-2006, Protección ambiental.- Vehículos en circulación que usan diesel como combustible.- Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.

[2] Hoja de instrucción técnica 520-AC-I.026 "Calibración de opacímetros"; División de Óptica y Radiometría, CENAM (2006).

Realizó:



Guillermo Valencia Luna  
Metrólogo del Laboratorio de Caracterización  
Óptica de Materiales, CENAM.

Vo.Bo.



Carlos H. Matamoros Garcia  
Jefe de la División de Óptica y Radiometría,  
CENAM.