

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CALIBRACIÓN DE TRENES DE MUESTREO COMPARANDO EL MÉTODO DE CALIBRACIÓN CONVENCIONAL Y EL MÉTODO RECOMENDADO PARA EL CALIBRADOR BIOS DEFENDER 530

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CALIBRACIÓN DE TRENES DE MUESTREO COMPARANDO EL MÉTODO DE CALIBRACIÓN CONVENCIONAL Y EL MÉTODO RECOMENDADO PARA EL CALIBRADOR BIOS DEFENDER 530**

**Christian Albornoz V., Rolando Vilasau D., Juan Alcaíno L.**  
Departamento Salud Ocupacional.  
Instituto de Salud Pública de Chile.

**Rodrigo Puentes M.**  
Departamento de Asuntos Científicos.  
Instituto de Salud Pública de Chile.

**María Carballo M., Javier Madera G., Pablo Menéndez C.**  
Departamento Técnico.  
Instituto Nacional de Silicosis de España.

---

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CALIBRACIÓN DE TRENES DE MUESTREO COMPARANDO EL MÉTODO DE CALIBRACIÓN CONVENCIONAL Y EL MÉTODO RECOMENDADO PARA EL CALIBRADOR BIOS DEFENDER 530

---

## 1. ANTECEDENTES.

La forma convencional de calibración de un tren de muestreo consiste en colocar el cabezal de muestreo entre la bomba de muestreo y el calibrador. Para el caso específico del cabezal de muestreo para polvo total no especificado se utiliza un portafiltro con un filtro de PVC de 5 micrómetros de tamaño de poro, y para su fracción respirable el mismo dispositivo ya señalado pero montado en un ciclón. Este ciclón, de acuerdo a su diseño, debe introducirse dentro de una jarra de calibración o en una cámara de calibración.

Con la aparición en el mercado del calibrador Bios Defender 530, el fabricante emitió un documento en el que señala que para este tipo de calibrador el cabezal de muestreo debe ubicarse antes del calibrador, con lo cual se establecía que cuando se utilizara éste, debía quedar entre la bomba y el cabezal de muestreo. Al respecto, dicho fabricante no entregó ninguna información que respaldara el cambio mencionado, ante lo cual, y dada la importancia del tema, el Instituto de Salud Pública de Chile y el Instituto Nacional de la Silicosis de España, dentro del marco de un Convenio de Colaboración que han suscrito, acuerdan realizar un estudio conjunto para determinar estadísticamente si existe o no una diferencia significativa entre el procedimiento convencional de calibración y el propuesto por el fabricante del calibrador en cuestión.

## 2. PROCEDIMIENTO.

El siguiente análisis estadístico contempla la comparación, a través del test t-student, del método de calibración convencional y el método de calibración recomendado por el fabricante para el calibrador Bios Defender. Para ambos métodos se utilizó un tren de muestro para fracción respirable (con ciclón) y un tren de muestreo para polvo no especificado total.

El proceso de calibración se realizó en paralelo por profesionales del Instituto de Salud Pública de Chile y profesionales del Instituto Nacional de Silicosis de España. Las calibraciones de los trenes de muestreo utilizados para este análisis se efectuaron cada 30 minutos, alcanzando un total de 15 calibraciones parciales para cada uno de los trenes de muestreo que se montaron. Cada uno de los Institutos utilizó 2 bombas de muestreo, las cuales contaban con sus certificados de calibración vigentes. Con cada una de ellas se realizó una calibración del tren de muestreo para polvo total no especificado y para fracción respirable.

Las calibraciones de los trenes de muestreo en fracción respirable se realizaron con un caudal de referencia de 1,7 l/m, utilizando como cabezal de muestreo un portafiltro de 37 mm de diámetro y 5 micrones de tamaño de poro, montado en un ciclón de nylon de 10 mm, Dorr Olliver.

Respecto de las calibraciones realizadas para el tren de muestreo de polvo no especificado total, se utilizó como cabezal de muestreo un portafiltro de dos cuerpos de 37 mm de diámetro y 5 micrones de tamaño de poro, con un caudal de referencia de 1,8 l/m.

Se establece como hipótesis nula que no hay diferencia significativa entre el método convencional de calibración y el propuesto por el fabricante para el calibrador Bios Defender 530.

A continuación se detalla el análisis estadístico para las calibraciones realizadas por el Instituto de Salud Pública de Chile y el Instituto Nacional de Silicosis de España.

### 3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO CALIBRACIONES REALIZADAS POR EL INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA DE CHILE.

#### 3.1 Bomba 1: Tren de Muestreo para Polvo Total en Fracción Respirable.

Para los datos obtenidos de las calibraciones en fracción respirable, se revisaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas para realizar el test t-student.

El test de kolmogorov-smirnov y shapiro-wilk indican que los datos del método convencional (utilizando una jarra de calibración) y el método Bios Defender siguen una distribución normal al observar un p-valor sobre 0,05 para cada test.

El test de Levene para contraste de varianzas arrojó un p-valor de 0,179 con lo cual no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que ambos métodos (convencional y Bios Defender) no difieren en cuanto a varianzas.

Finalmente, con los datos obtenidos de las calibraciones, se obtuvo un p-valor de 0,026 para el test t-student con lo cual se dice que con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula y se concluye que **SÍ** existe una diferencia estadística entre el método convencional y Bios Defender.

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Método Conv	0,135	15	0,200*	0,924	15	0,220
Método BIOS	0,174	15	0,200*	0,897	15	0,085

a. Corrección de la significación de Lilliefors.

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

#### Prueba de Muestras Independientes

F		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		Significancia	t	Grados de libertad	Significancia (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
Mediciones	Se han asumido varianzas iguales	1,896	0,179	-2,347	28	0,026	-23,467	9,997	-43,945	-2,988
	No se han asumido varianzas iguales			-2,347	24,729	0,027	-23,467	9,997	-44,068	-2,865

### 3.2 Bomba 1: Tren de Muestreo para Polvo no Especificado Total.

Con los datos obtenidos de las calibraciones para polvo no especificado total, se revisaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas para realizar el test t-student.

El test de kolmogorov-smirnov y shapiro-wilk indican que los datos del método convencional y Bios Defender siguen una distribución normal al observar un p-valor sobre 0,05 para cada test.

El test de Levene para contraste de varianzas arrojó un p-valor de 0,410 con lo cual no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que ambos métodos (convencional y Bios Defender) no difieren en cuanto a varianzas.

Finalmente, con los datos obtenidos de las calibraciones, se obtuvo un p-valor  $< 0,05$  para el test t-student con lo cual se dice que con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula y se concluye que **SÍ** existe una diferencia estadística entre el método convencional y Bios Defender.

#### Pruebas de Normalidad

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Método BIOS	0,148	15	0,200*	0,896	15	0,082
Método Conv	0,138	15	0,200*	0,969	15	0,839

a. Corrección de la significación de Lilliefors.

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

#### Prueba de Muestras Independientes

F		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		Significancia	t	Grados de libertad	Significancia (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
Mediciones	Se han asumido varianzas iguales	0,700	0,410	-6,702	28	0,000	-29,800	4,446	-38,908	-20,692
	No se han asumido varianzas iguales			-6,702	26,043	0,000	-29,800	4,446	-38,939	-20,661

### 3.3 Bomba 2: Tren de Muestreo para Polvo Total en Fracción Respirable.

Para los datos de las calibraciones en fracción respirable, se revisaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas para realizar el test t-student.

El test de kolmogorov-smirnov indica que los datos del método convencional y Bios Defender siguen una distribución normal al observar un p-valor sobre 0,05 para cada test.

Por otro lado, el test de Shapiro-Wilk indica que el método Convencional sigue una distribución normal pero no así el método Bios Defender. Esto puede deberse a que existen dos valores altos registrados en el método Bios Defender, con lo que la normalidad puede verse afectada por estos datos atípicos (ver Gráfico N° 1).

El test de Levene para contraste de varianzas arrojó un p-valor de 0,038 con lo cual se rechaza la hipótesis nula y se concluye que ambos métodos (convencional y Bios Defender) difieren en cuanto a varianzas. Se aplicará el test t-student asumiendo varianzas distintas.

Finalmente, con los datos obtenidos de las calibraciones, se obtuvo un p-valor de 0,007 para el test t-student con lo cual se dice que con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula y se concluye que **SÍ** existe una diferencia estadística entre el método convencional y Bios Defender.

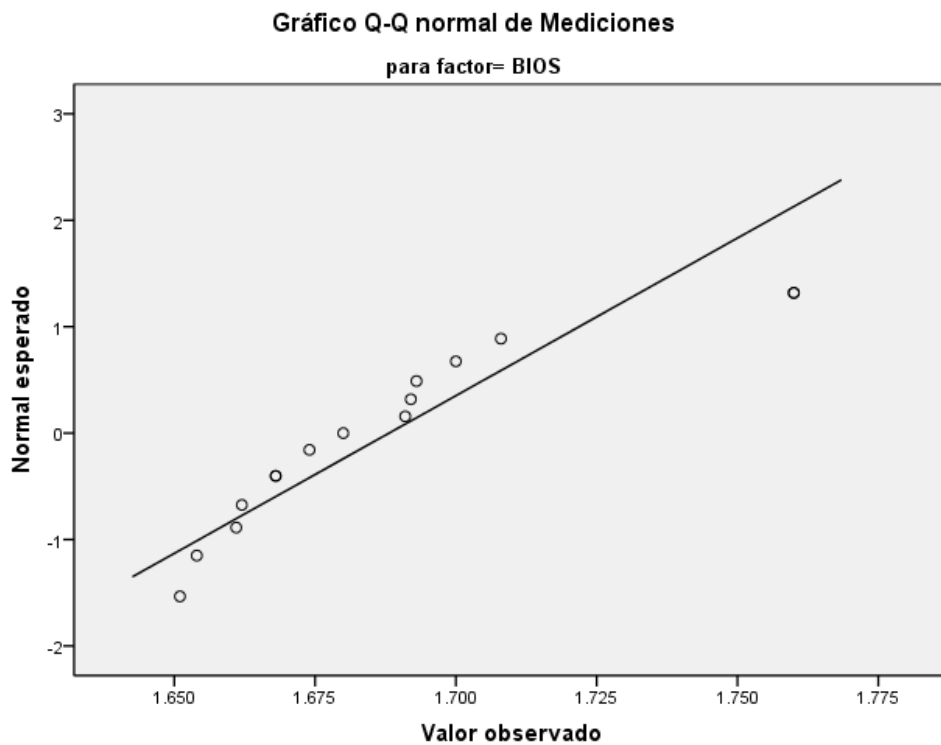
### Pruebas de Normalidad

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Método BIOS	0,176	15	0,200*	0,848	15	0,016
Método Conv	0,188	15	0,160	0,963	15	0,736

a. Corrección de la significación de Lilliefors.

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

### Gráfico N° 1



### Prueba de Muestras Independientes

F		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		Significancia	t	Grados de libertad	Significancia (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
Mediciones	Se han asumido varianzas iguales	4,767	0,038	-3,021	28	0,005	-28,800	9,533	-48,327	-9,273
	No se han asumido varianzas iguales			-3,021	19,292	0,007	-28,800	9,533	-48,732	-8,868

### 3.4 Bomba 2: Tren de Muestreo para Polvo no Especificado Total.

Con los datos obtenidos de las calibraciones de polvo no especificado total, se revisaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas para realizar el test t-student.

El test de kolmogorov-smirnov y shapiro-wilk indican que los datos del método convencional y Bios Defender siguen una distribución normal al observar un p-valor sobre 0,05 para cada test.

El test de Levene para contraste de varianzas arrojó un p-valor de 0,038 con lo cual se rechaza la hipótesis nula y se concluye que ambos métodos (convencional y Bios Defender) difieren en cuanto a varianzas. Se aplicará el test t-student asumiendo varianzas distintas.

Finalmente, con los datos obtenidos de las calibraciones, se obtuvo un p-valor  $< 0,05$  para el test t-student con lo cual se dice que con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula y se concluye que **SI** existe una diferencia estadística entre el método convencional y BIOS.

### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia	Estadístico	Grados de libertad	Sig.
Método BIOS	0,162	15	0,200*	0,925	15	0,226
Método Conv	0,115	15	0,200*	0,970	15	0,856

a. Corrección de la significación de Lilliefors.

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

### Prueba de Muestras Independientes

F		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		Significancia	t	Grados de libertad	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
Mediciones	Se han asumido varianzas iguales	4,768	0,038	4,103	28	0,000	22,200	5,411	11,116	33,284
	No se han asumido varianzas iguales			4,103	22,134	0,000	22,200	5,411	10,982	33,418

## 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO CALIBRACIONES REALIZADAS POR EL INSTITUTO NACIONAL DE SILICOSIS DE ESPAÑA.

### 4.1 Bomba 1: Tren de Muestreo para Polvo Total en Fracción Respirable.

Para los datos obtenidos de las calibraciones en fracción respirable, se revisaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas para realizar el test t-student.

El test de kolmogorov-smirnov y shapiro-wilk indican que los datos del método convencional y Bios Defender siguen una distribución normal al observar un p-valor sobre 0,05 para cada test.

El test de Levene para contraste de varianzas arrojó un p-valor de 0,346 con lo cual no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que ambos métodos (convencional y Bios Defender) no difieren en cuanto a varianzas.

Finalmente, con los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Silicosis de España para la Bomba 1, se obtuvo un p-valor < 0,05 para el test t-student con lo cual se dice que con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula y se concluye que **SÍ** existe una diferencia estadística entre el método convencional y Bios Defender.

### Pruebas de Normalidad

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Método BIOS	0,216	15	0,059	0,892	15	0,072
Método Convencional	0,154	15	0,200*	0,947	15	0,481

a. Corrección de la significación de Lilliefors.

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.



### Prueba de Muestras Independientes

F		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		Significancia	t	Grados de libertad	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
Mediciones	Se han asumido varianzas iguales	0,920	0,346	-4,809	28	0,000	-0,020600	0,004284	-0,029375	-0,011825
	No se han asumido varianzas iguales			-4,809	24,874	0,000	-0,020600	0,004284	-0,029425	-0,011775

#### 4.2 Bomba 1: Tren de Muestreo para Polvo no Especificado Total.

Con los datos obtenidos de las calibraciones de polvo no especificado total, se revisaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas para realizar el test t-student.

El test de kolmogorov-smirnov indica que los datos del método Bios Defender no siguen una distribución normal al observar un p-valor de 0,013, sin embargo, al aplicar el test de shapiro-wilk este arrojó que si existe normalidad en los datos obtenidos con el método Bios Defender. Considerando que el test de shapiro-wilk es más robusto que el test kolmogorov-smirnov se aplicará el test t-student.

El test de Levene para contraste de varianzas arrojó un p-valor de 0,531 con lo cual no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que ambos métodos (convencional y Bios Defender) no difieren en cuanto a varianzas.

Finalmente, con los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Silicosis de España para la Bomba 1, se obtuvo un p-valor < 0,05 para el test t-student con lo cual se dice que con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula y se concluye que **SÍ** existe una diferencia estadística entre el método convencional y Bios Defender.

#### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Método BIOS	0,249	15	0,013	0,891	15	0,070
Método Conv	0,187	15	0,167	0,928	15	0,252

a. Corrección de la significación de Lilliefors.

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

### Prueba de Muestras Independientes

F		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		Significancia	t	Grados de libertad	Significancia (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
Mediciones	Se han asumido varianzas iguales	0,402	0,531	-4,656	28	0,000	-0,028667	0,006158	-0,041280	-0,016054
	No se han asumido varianzas iguales			-4,656	27,951	0,000	-0,028667	0,006158	-0,041281	-0,016053

#### 4.3 Bomba 2: Tren de Muestreo para Polvo Total en Fracción Respirable.

Para los datos obtenidos de las calibraciones en fracción respirable, se revisaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas para realizar el test t-student.

El test de kolmogorov-smirnov indica que los datos del método convencional y Bios Defender siguen una distribución normal al observar un p-valor sobre 0,05 para cada test. Por otro lado, el test de Shapiro-Wilk indica que el método Convencional sigue una distribución normal pero no así el método Bios Defender, aunque no se aleja demasiado de la distribución normal (p-valor=0,044).

El test de Levene para contraste de varianzas arrojó un p-valor de 0,009 con lo cual se rechaza la hipótesis nula y se concluye que ambos métodos (convencional y Bios Defender) difieren en cuanto a varianzas. Se aplicará el test t-student asumiendo varianzas distintas.

Finalmente, con los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Silicosis de España para la Bomba 2, se obtuvo un p-valor < 0,05 para el test t-student con lo cual se dice que con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula y se concluye que **SÍ** existe una diferencia estadística entre el método convencional y Bios Defender.

#### Pruebas de Normalidad

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia	Estadístico	Grados de libertad	Significancia.
Método BIOS	0,200	15	0,110	0,878	15	0,044
Método Convencional	0,161	15	0,200*	0,895	15	0,081

a. Corrección de la significación de Lilliefors.

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

### Prueba de Muestras Independientes

F		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		Significancia	t	Grados de libertad	Significancia (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
Mediciones	Se han asumido varianzas iguales	7,973	0,009	-5,960	28	0,000	-0,036867	0,006185	-0,049537	-0,024196
	No se han asumido varianzas iguales			-5,960	21,014	0,000	-0,036867	0,006185	-0,049729	-0,024004

#### 4.4 Bomba 2: Tren de Muestreo para Polvo no Especificado Total.

Con los datos obtenidos de las calibraciones de polvo no especificado total, se revisaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas para realizar el test t-student.

El test de kolmogorov-smirnov indica que los datos del método Bios Defender no sigue una distribución normal al observar un p-valor de 0,031. Sin embargo, al aplicar el test de shapiro-wilk este arrojó que si existe normalidad en los datos obtenidos con el método Bios Defender. Considerando que el test de shapiro-wilk es más robusto que el test kolmogorov-smirnov se aplicará el test t-student.

El test de Levene para contraste de varianzas arrojó un p-valor de 0,954 con lo cual se rechaza la hipótesis nula y se concluye que ambos método (convencional y Bios Defender) no difieren en cuanto a varianzas.

Finalmente, con los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Silicosis de España para la Bomba 2, se obtuvo un p-valor < 0,05 para el test t-student con lo cual se dice que con un 95% de confianza se rechaza la hipótesis nula y se concluye que **SÍ** existe una diferencia estadística entre el método convencional y Bios Defender.

### Pruebas de Normalidad

	Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia.	Estadístico	Grados de libertad	Significancia.
Método BIOS	0,231	15	0,031	0,923	15	0,214
Método Convencional	0,102	15	0,200*	0,980	15	0,970

a. Corrección de la significación de Lilliefors.

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

### Prueba de Muestras Independientes

F		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		Significancia	t	Grados de libertad	Significancia. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
Mediciones	Se han asumido varianzas iguales	0,003	0,954	-5,779	28	0,000	-0,032000	0,005537	-0,043342	-0,020658
	No se han asumido varianzas iguales			-5,779	27,578	0,000	-0,032000	0,005537	-0,043350	-0,020650

## 5. CONCLUSIÓN.

Del análisis estadístico realizado a los datos de calibración obtenidos por el Instituto de Salud Pública de Chile y el Instituto Nacional de Silicosis de España se concluye, con un 95% de confianza, que si existe una diferencia estadísticamente significativa entre el método convencional y el método de calibración recomendado por el fabricante para el calibrador Bios Defender 530, por lo cual para este último calibrador es recomendable seguir las pautas indicadas por el fabricante.