

CAPÍTULO V:

PRUEBAS Y RESULTADOS

El Departamento de Ingeniería Biomédica del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, INER, me facilitó el uso de una jeringa de calibración con la cual se realizaron las pruebas para determinar y validar la precisión y exactitud del Espirómetro desarrollado.

El equipo se calibró y probó en dos situaciones diferentes. La primer prueba se llevó a cabo sobre el prototipo de pruebas. La segunda etapa se realizó sobre el prototipo final del espirómetro, es decir, con el circuito impreso dentro del gabinete en el que fue montado.



Figura 43. Jeringa de Calibración marca Spirometrics del Departamento de Ingeniería Biomédica del INER.

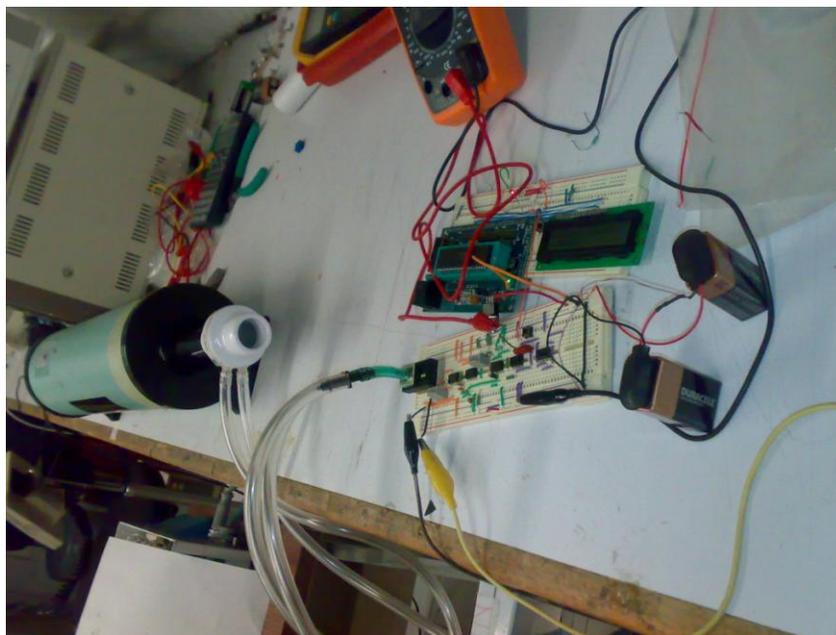
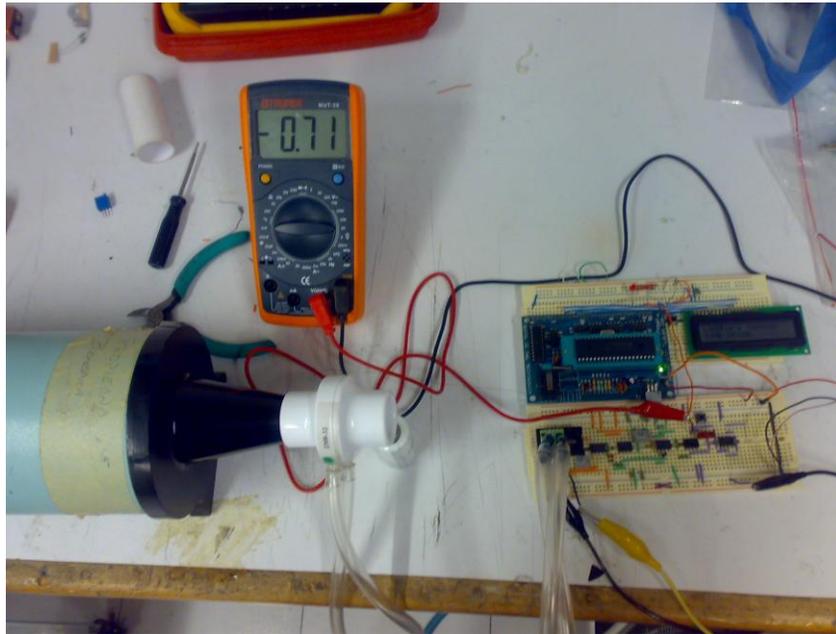


Figura 44. Pruebas de calibración sobre el prototipo de pruebas.

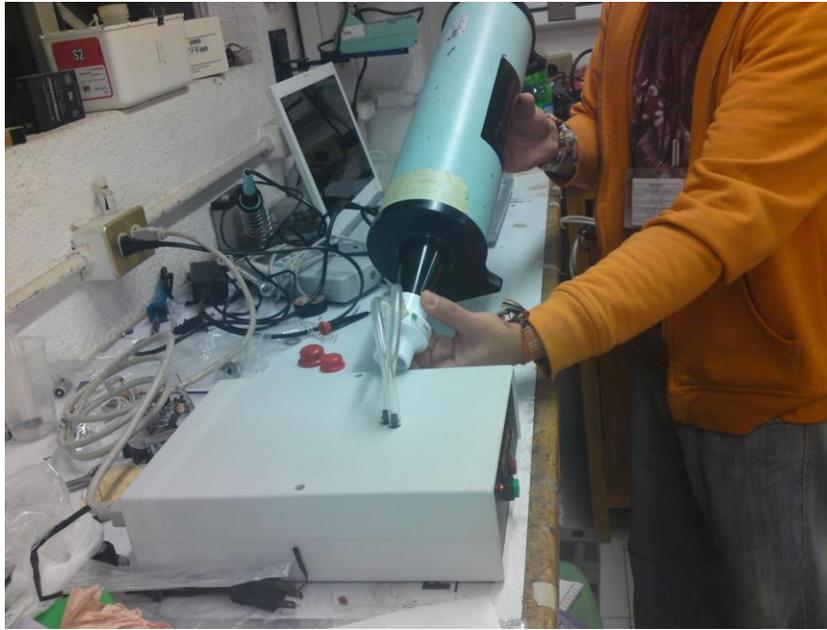


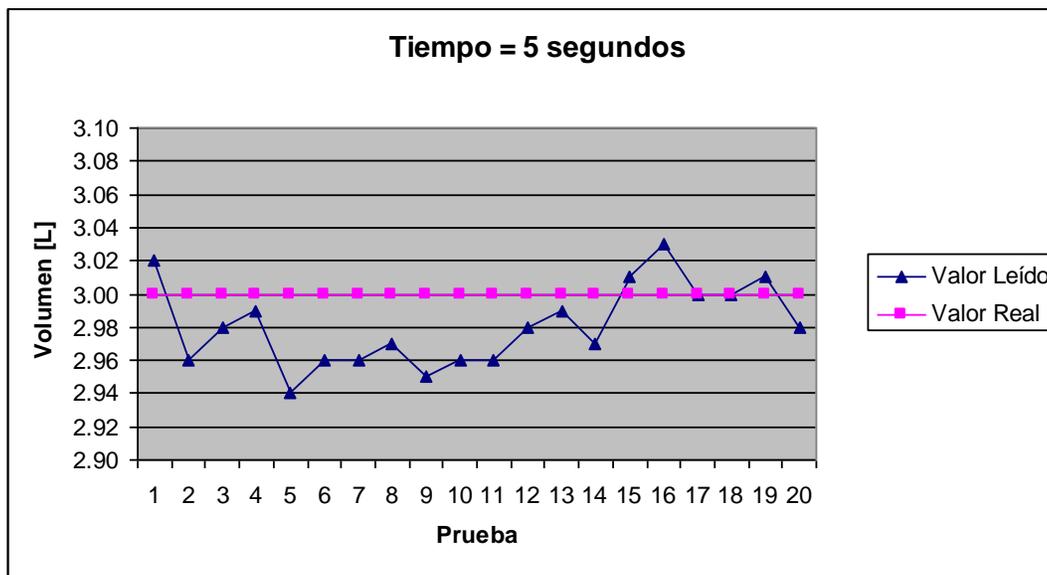
Figura 45. Pruebas de calibración y medición realizadas sobre el prototipo final del espirómetro desarrollado.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en ambas pruebas, con el prototipo de pruebas y con el prototipo final del espirómetro. La mejoría en precisión y exactitud se hace notoria en el prototipo final.

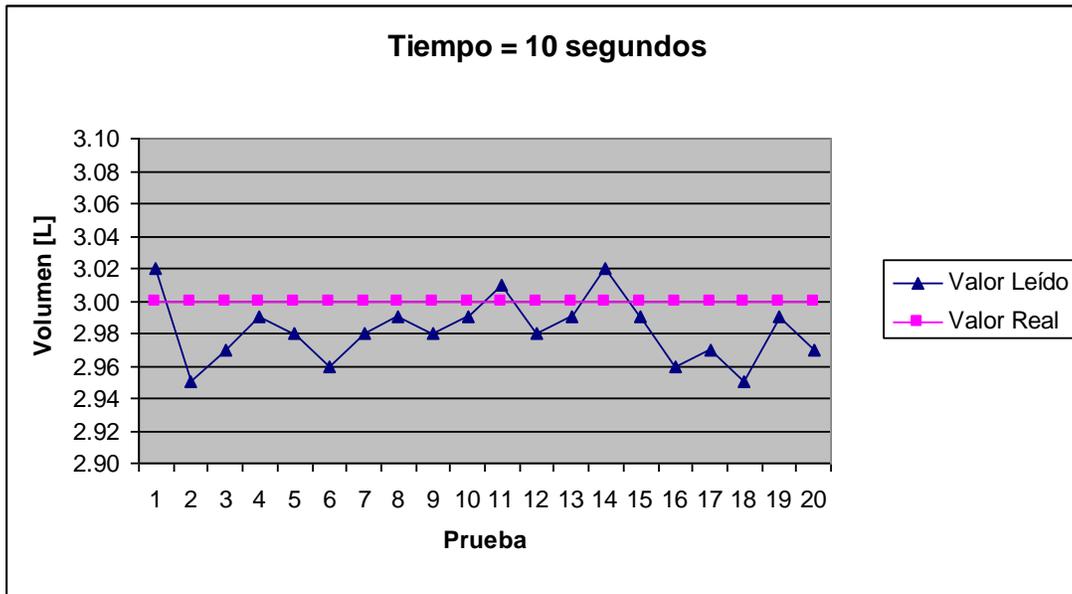
5.1 Valores y gráficas obtenidos con el prototipo de pruebas

PRUEBA	TIEMPO			Valor Real [L]
	5 [s]	10 [s]	15[s]	
	Valor Leído [L]	Valor Leído [L]	Valor Leído [L]	
1	3.02	3.02	2.97	3.00
2	2.96	2.95	2.98	3.00
3	2.98	2.97	3.03	3.00
4	2.99	2.99	2.93	3.00
5	2.94	2.98	2.92	3.00
6	2.96	2.96	2.98	3.00
7	2.96	2.98	2.99	3.00
8	2.97	2.99	3.01	3.00
9	2.95	2.98	2.97	3.00
10	2.96	2.99	2.95	3.00
11	2.96	3.01	2.97	3.00
12	2.98	2.98	2.98	3.00
13	2.99	2.99	3.01	3.00
14	2.97	3.02	2.98	3.00
15	3.01	2.99	2.93	3.00
16	3.03	2.96	2.98	3.00
17	3.00	2.97	3.02	3.00
18	3.00	2.95	2.98	3.00
19	3.01	2.99	3.01	3.00
20	2.98	2.97	2.97	3.00
Prom.	2.98	2.98	2.98	

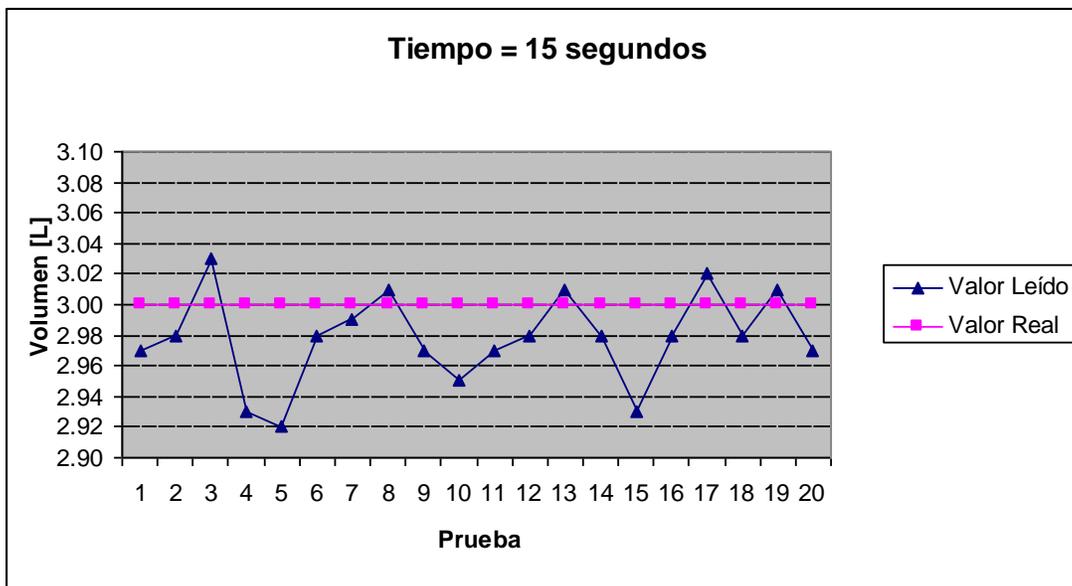
Tabla 6. Lecturas obtenidas con el prototipo de pruebas.



Gráfica 1. Valores leídos con el prototipo de pruebas en el experimento de 5 segundos.



Gráfica 2. Valores leídos con el prototipote pruebas en el experimento de 10 segundos.

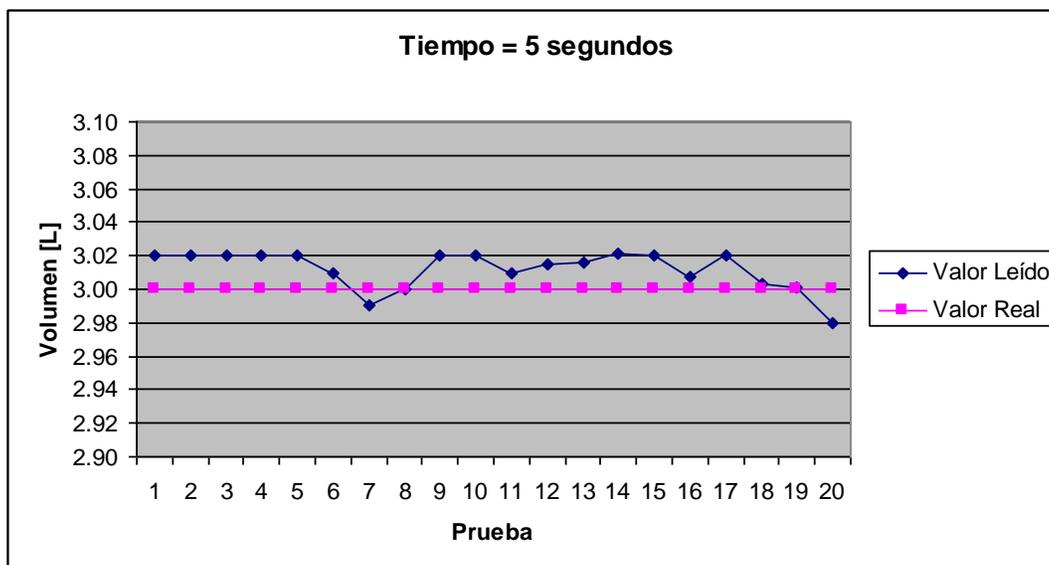


Gráfica 3. Valores leídos con el prototipote pruebas en el experimento de 15 segundos.

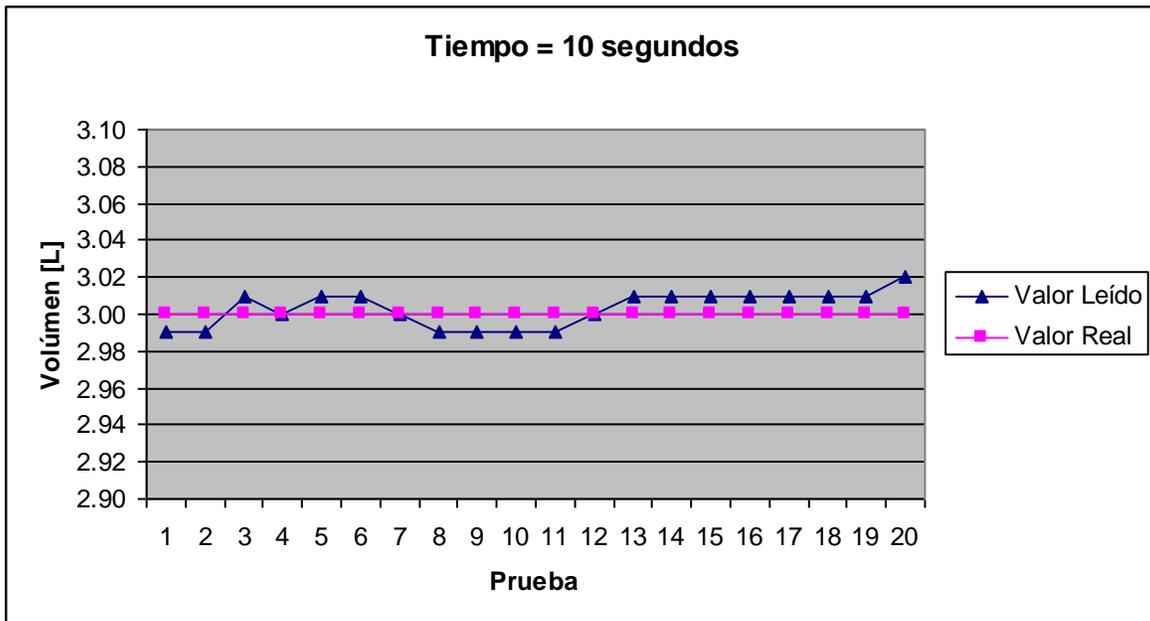
5. 2 Valores y gráficas obtenidos con el prototipo final del Espirómetro desarrollado

PRUEBA	TIEMPO			Valor Real [L]
	5 [s]	10 [s]	15[s]	
	Valor Leído [L]	Valor Leído [L]	Valor Leído [L]	
1	3.02	2.99	3.02	3.00
2	3.02	2.99	3.02	3.00
3	3.02	3.01	3.01	3.00
4	3.02	3.00	3.00	3.00
5	3.02	3.01	3.02	3.00
6	3.01	3.01	3.01	3.00
7	2.99	3.00	2.99	3.00
8	3.00	2.99	2.99	3.00
9	3.02	2.99	2.99	3.00
10	3.02	2.99	2.99	3.00
11	3.01	2.99	2.99	3.00
12	3.01	3.00	2.98	3.00
13	3.02	3.01	2.99	3.00
14	3.02	3.01	3.00	3.00
15	3.02	3.01	3.02	3.00
16	3.01	3.01	3.01	3.00
17	3.02	3.01	3.02	3.00
18	3.00	3.01	3.02	3.00
19	3.00	3.01	3.01	3.00
20	2.98	3.02	2.99	3.00
Prom.	3.01	3.00	3.00	

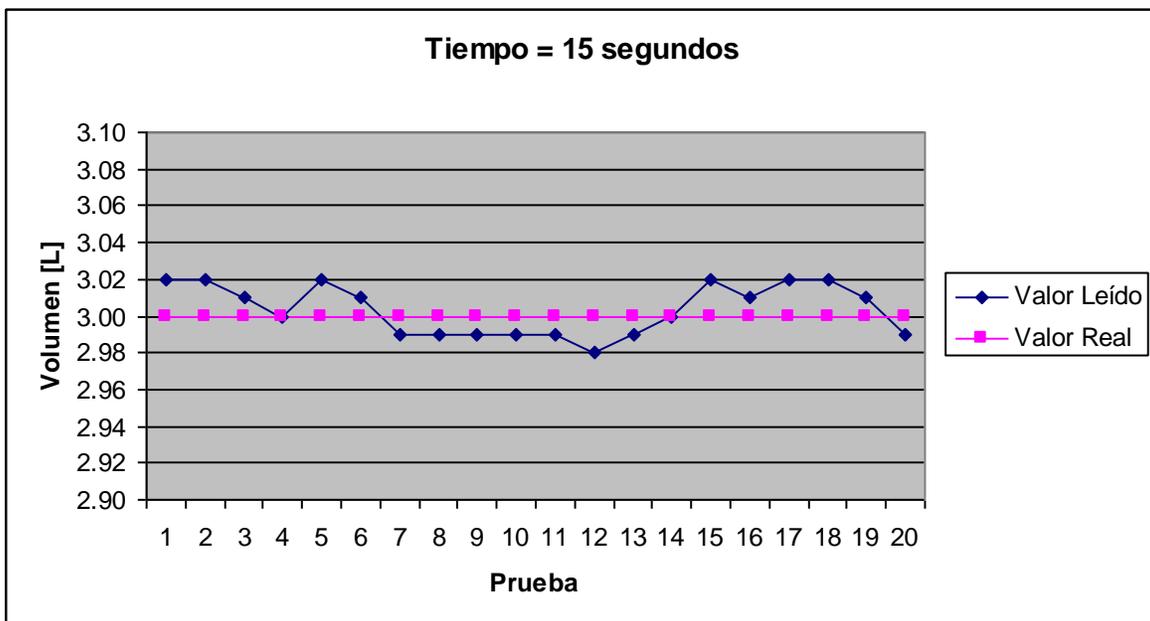
Tabla 7. Lecturas obtenidas con el diseño final del Espirómetro



Gráfica 4. Valores leídos con el prototipo final en el experimento de 5 segundos.



Gráfica 5. Valores leídos con el prototipote final en el experimento de 10 segundos.



Gráfica 6. Valores leídos con el prototipote final en el experimento de 15 segundos.

5.3 Interpretación de resultados

Las columnas de *tiempo* indicadas en las tablas 6 y 7 indican los segundos que tomó llevarse a cabo cada prueba, es decir, el mismo volumen de aire fue introducido al espirómetro, pero a diferentes velocidades. Esto se hizo con el fin de comparar resultados ente espiraciones rápidas y espiraciones lentas, ya que la cantidad de volumen no debe depender de la velocidad de entrada del aire. Además, uno de los criterios de diseño que establece la American Thoracic Society, indica que el espirómetro debe poder acumular aire durante al menos 10 segundos. Por lo tanto, con los datos obtenidos en las tablas 6 y 7 se observa que dicho criterio se cumple satisfactoriamente.

Ahora bien, a pesar de que a simple vista se observa en las gráficas que las mediciones hechas con el prototipo final mejoraron con respecto a las hechas con el prototipo de pruebas, para cotejar dicha mejoría se realiza una comparativa estadística entre las desviaciones estándar de ambas pruebas.

Estadísticamente, la desviación estándar, σ , se calcula mediante la siguiente formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N X_i - \mu^2}{N}} \quad (29)$$

Donde:

N = número de experimentos

μ = promedio de los valores leídos

La tabla 8 muestra los valores de desviación estándar obtenidos a partir de las lecturas registradas en las tablas 6 y 7.

	Tiempo de la prueba		
	5 [s]	10 [s]	15 [s]
Prototipo de Pruebas	0.0247	0.0199	0.0297
Prototipo Final	0.0116	0.0098	0.0139

Tabla 8. Tabla comparativa de las desviaciones estándar de las mediciones realizadas con el prototipo de pruebas y el prototipo final.

Se observa que la desviación entre el valor patrón y los valores leídos con el prototipo final del espirómetro de flujo es significativamente más pequeña que con el prototipo de pruebas.

Ahora, con los valores obtenidos en la Tabla 7, se procede a calcular la precisión del instrumento y validar el cumplimiento o no de dicho criterio conforme a lo establecido en las normas.

Para el volumen, el valor mínimo registrado fue 2.98 [L], y el máximo valor fue 3.02 [L], por lo tanto, la precisión del instrumento es de ± 20 ml. La norma indica que, para mediciones de volumen, la precisión debe ser de ± 50 ml.

En cuanto a la señal de flujo, el Espirómetro que se desarrolló, es capaz de registrar valores que van desde los 0.01 [L/s], hasta los 10 [L/s].

Teniendo en cuenta estos resultados, se concluye que los criterios de resolución y de precisión establecidos en las normas y en las recomendaciones técnicas y de funcionamiento mostradas en la tabla 3 contenida en el capítulo IV, se cumplen satisfactoriamente con el prototipo final del espirómetro de flujo que fue desarrollado.