

---

**CAPÍTULO 7:****CONCLUSIONES DEL TRABAJO REALIZADO**

La presencia de dispositivos electrónicos en prácticamente todos los aspectos de nuestras vidas, nos permite apreciar que la ingeniería electrónica es aplicable en prácticamente cualquier rama del conocimiento humano, para el desarrollo de una gran diversidad de herramientas.

El presente trabajo muestra una aplicación electrónica en una rama muy específica del área médica, en la evaluación de la salud respiratoria mediante la espirometría. Lo más interesante de un proyecto de este tipo, desde el punto de vista tecnológico, es la realización de un instrumento moderno, exacto y de bajo costo que sea accesible a todas las personas y que utilice las herramientas óptimas para su desarrollo.

Los objetivos planteados en esta tesis se consiguieron satisfactoriamente al desarrollar un proyecto compacto que estimuló criterios científicos propios de una tesis práctica, englobando las siguientes habilidades:

1. Investigación y Caracterización de un problema en un campo de actuación desconocido
2. Observación, Análisis y Descripción
3. Determinación de medios y Recursos
4. Desarrollo de pensamiento crítico
5. Adquisición de señales

---

## 6. Programación de Software

## 7. Procesamiento de Datos

El espirómetro de flujo realizado puede ser un auxiliar en la conservación de la salud, en la prevención y en el diagnóstico temprano de enfermedades respiratorias. Fue necesario realizar un estudio detallado de la espirometría, con el fin de conocer el proceso e implementar un espirómetro electrónico de flujo que cumpliera con Normas Internacionales.

En la construcción del espirómetro se logró conseguir un instrumento electrónico estable, de linealidad y precisión acordes a los estándares establecidos por la Sociedad Torácica Americana (ATS).

Se planteó como propósito que el espirómetro fuera portátil, por lo que además de requerir un tamaño reducido, necesitaba ser independiente de la temperatura y la presión atmosféricas. La independencia de la temperatura fue conseguida al implementar un control, que permite mantener permanentemente el interior del neumotacómetro en el rango 35° a 38 ° C. El control de temperatura permite además:

1. Controlar la humedad interior del espirómetro, al evitar la condensación de vapor de agua propio de la exhalación. Dicha humedad podría alterar las características de la resistencia neumática, además de ser antihigiénico a otros usuarios.
2. Compensar la dependencia del transductor de presión diferencial a la temperatura.

---

La independencia a la presión atmosférica se consiguió al implementar un espirómetro de flujo que utiliza como sensor un transductor de presión diferencial. El sensor de presión diferencial utilizado, es un transductor de bajo costo que está diseñado para trabajar a nivel industrial, con presiones en el rango de kilopascales. Dicho sensor, aún funcionando en su escala completa, tiene un rango dinámico de voltaje reducido (milivolts) y, en esta aplicación se emplea en un intervalo de medición menor a 1000 pascales. Otra característica importante del sensor es el offset, que al trabajar con una señal de voltaje muy pequeño que necesita de gran amplificación resulta un parámetro significativo en la adquisición de la señal.

Estas características dificultaron el diseño del circuito, pues la elección de otro sensor hubiera aumentado el costo a más del doble, resultando inaceptable para el objetivo de mantener un bajo costo. Es así que se conservó el sensor elegido, resolviendo los problemas mediante los siguientes pasos: limitando la corriente de excitación del sensor y con ello el offset, amplificando, filtrando y restando el offset adaptivamente mediante software, haciendo que en el momento de realizar la prueba el programa calcule el offset presente en ese instante de tiempo en la señal, y la reste inmediatamente después. Esta etapa del diseño requirió bastantes pruebas y tiempo, sin embargo fue resuelto de manera satisfactoria. El sensor tuvo la ventaja de ser lineal y se consiguió una caracterización bastante aceptable después del proceso de adquisición de datos, concordante con las mediciones de flujo medidas con un flujómetro mecánico.

Prosiguiendo con la meta de construir un instrumento médico económico, se empleó una tarjeta de adquisición de Datos USB-6008 de National Instruments™ ya existente en

---

el almacén del Departamento de Electrónica. El software realizado en Labview <sup>TM</sup> consiste en dos programas: uno de adquisición de datos y el otro de análisis. Los programas son amigables y 100% gráficos.

Se considera que los resultados obtenidos son buenos y acordes a las metas propuestas. Este trabajo podría favorecer el uso de la espirometría en nuestro país al facilitar la adquisición de equipo de bajo costo a hospitales y clínicas con referencia a espirómetros comerciales.

Si este instrumento se deseara producir a gran escala, y venderse como un espirómetro de bajo costo, requeriría un cambio importante: la sustitución de la tarjeta de adquisición de National Instruments por componentes dedicados que realicen la conversión Analógica a Digital y la interfaz a la computadora por medio del protocolo USB. Al haber en el mercado una gran cantidad de componentes que realizan dichas funciones, se conservaría el bajo costo del instrumento. Para el propósito del presente trabajo, se utilizó esta tarjeta como elemento de laboratorio que permitió concentrarse en el diseño y construcción del espirómetro, más que en el cómo convertir y adquirir la señal en la computadora.

Para realizar un espirómetro equivalente a uno comercial, que pueda realizar un análisis exhaustivo, se necesitaría incluir valores de referencia normales que fueran comparados con las mediciones realizadas. Por lo que se propone como trabajo a futuro realizar un programa de autoevaluación de las pruebas o modificar el existente para comparar los valores con las tablas normales Knudson y Hankinson o de Rodríguez Reynaga que sean acordes a la población mexicana.