



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

MÓDULO DE MEDICIÓN DE FLUJO GASEOSO PARA UN  
PROTOTIPO DE EQUIPO NEONATAL DE CUIDADOS  
INTENSIVOS

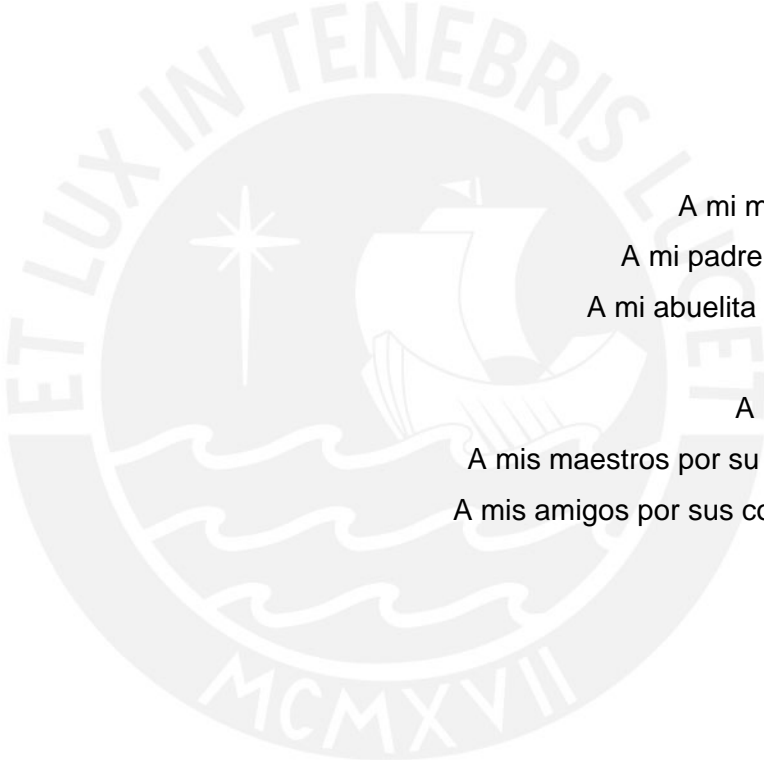
Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

**Diego Fernando Quezada Tay**

ASESOR: Msc. Claudio Bruno Castellón Lévano

**Lima, agosto del 2010**

## DEDICATORIA



A mi madre Blanca Tay,  
A mi padre Walter Quezada,  
A mi abuelita Antonia Guzmán,  
A mis hermanos,  
A mis tíos y primos,  
A mis maestros por su apoyo constante,  
A mis amigos por sus consejos y ánimos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de vivir, compartir con las personas que más aprecio y quiero.

A mis padres por su incondicional afecto y apoyo en todos los proyectos que he emprendido a lo largo de mi vida, siempre aconsejándome y orientándome en todo momento.

A mis hermanos, por sus palabras de aliento y motivación.

A mi abuelita, tíos y primos por el profundo cariño que me han brindado durante toda mi vida.

Al Msc. Bruno Castellón, mi asesor, mentor y amigo.

A todos los profesores que he tenido durante mis años de estudiante, por sus conocimientos brindados que permitieron formarme como un profesional.

A todos mis grandes amigos de GIDEMS, en especial a Elga Esteves, Arlon Castellón y Pablo Ramírez por compartir esta última etapa de la carrera como es la Tesis.

A mis grandes amigos de Electrónica, Industrial, Informática y de la Universidad.

Y a todas las personas que de alguna manera colaboraron o participaron en la realización de este trabajo de tesis, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

## RESUMEN

El módulo de medición de flujo gaseoso implementado es parte del prototipo de Equipo Neonatal de Cuidados Intensivos, denominado NICU (Neonatal Intensive Care Unit), que se encuentra en desarrollo en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) por el Grupo de Investigación y Desarrollo de Equipos Médicos y Sistemas (GIDEMS).

Este módulo realiza las mediciones del flujo gaseoso de la línea de oxígeno y la línea de mezcla, que componen el sistema neumático de NICU, en el rango de 0LPM – 3LPM para ambas líneas.

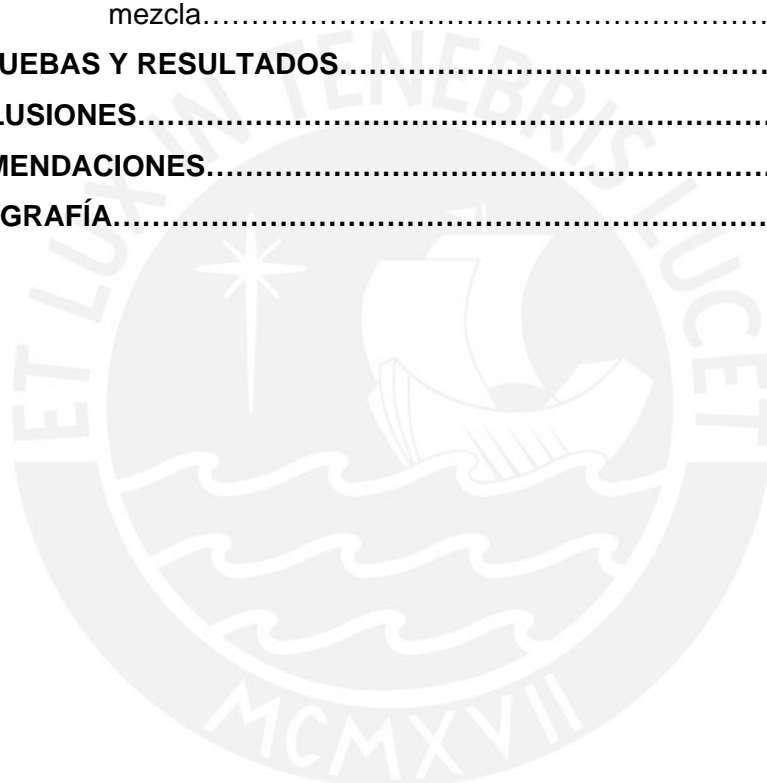
Se alcanzó una desviación máxima de 7.5% y 10.63% con respecto a los valores sensados por el fabricante de los sensores de flujo, en la línea de oxígeno y la línea de mezcla respectivamente.

Finalmente, se desarrolló un sistema de calibración para distintos escenarios de pruebas, con la finalidad de obtener las curvas de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno y la línea de mezcla del prototipo.

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivo general.....	2
1.3 Objetivos específicos.....	2
1.4 Estado del arte.....	3
1.5 Marco conceptual.....	3
<b>2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN DE FLUJO GASEOSO.....</b>	<b>5</b>
2.1 Descripción de la planta de medición.....	5
2.2 Diseño del módulo de medición.....	8
2.2.1 Requerimientos.....	8
2.2.2 Hardware.....	8
2.2.3 Software.....	10
2.3 Implementación del módulo de medición.....	12
2.3.1 Hardware.....	12
2.3.1.1 Conexión de la etapa de sensado.....	12
2.3.1.2 Conexión de la etapa de procesamiento.....	13
2.3.2 Software.....	14
<b>3. CALIBRACIÓN DEL MÓDULO DE MEDICIÓN DE FLUJO GASEOSO..</b>	<b>15</b>
3.1 Sistema de calibración del módulo de medición.....	15
3.1.1 Introducción.....	15
3.1.2 Principio de funcionamiento.....	15
3.1.3 Componentes neumáticos.....	17
3.1.4 Software de calibración del módulo de medición.....	20
3.2 Calibración del sensor de presión.....	22
3.2.1 Escenario de calibración del sensor de presión.....	22
3.2.2 Software de calibración del sensor de presión.....	22
3.2.3 Procedimiento de calibración del sensor de presión.....	23
3.2.4 Resultado de calibración del sensor de presión.....	24
3.3 Calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno.....	25
3.3.1 Escenario de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno.....	25

3.3.2	Procedimiento de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno.....	26
3.3.3	Resultado de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno.....	27
3.4	Calibración del módulo de medición en la línea de mezcla.....	31
3.4.1	Escenario de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla.....	31
3.4.2	Procedimiento de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla.....	32
3.4.3	Resultado de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla.....	32
<b>4.</b>	<b>PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>38</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>40</b>



## INTRODUCCIÓN

El Grupo de Investigación y Desarrollo de Equipos Médicos y Sistemas (GIDEMS) de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) se encuentra desarrollando un prototipo de Equipo Neonatal de Cuidados Intensivos, denominado NICU (Neonatal Intensive Care Unit), con financiamiento del Programa de Ciencia y Tecnología (FINCYT).

El prototipo resuelve los problemas de cuidados intensivos en los neonatos críticos, tales como: Ventilación, calefacción, humidificación y mezcla de aire-oxígeno; para lograr superar las deficiencias que amenazan su salud en las primeras horas de vida. Se encuentra compuesto por distintos subsistemas como el neumático, control y monitoreo, seguridad, respaldo y energía.

El siguiente trabajo de tesis expone el desarrollo del módulo de medición de flujo gaseoso ubicado en el subsistema de control y monitoreo del prototipo en desarrollo, el cual mide el flujo de la línea de oxígeno y la línea de mezcla aire-oxígeno del subsistema neumático.



## CAPÍTULO 1

### PLANTEAMIENTOS DEL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento del problema

El prototipo NICU en desarrollo no contaba con el módulo de medición de flujo gaseoso para las líneas de ingreso de oxígeno y mezcla; ello imposibilitaba al equipo cumplir con los objetivos por el que fue creado, que es el resolver los problemas de los neonatos críticos tales como: ventilación, calefacción, humidificación y mezcla de aire-oxígeno.

Adicionalmente a ello, los módulos de medición de flujo desarrollados para versiones de prototipos anteriores, no consideran en su diseño el rango de medición requerido por el equipo, así mismo, que no se han calibrado de forma adecuada bajo algún sistema de calibración o procedimiento establecido.

Por este motivo, con la presente tesis, se desarrolló el módulo de medición de flujo gaseoso para el prototipo NICU, el cual permite la medición en la línea de oxígeno y la línea de mezcla aire-oxígeno del subsistema neumático.

#### 1.2 Objetivo general

Diseñar e implementar un módulo de medición de flujo gaseoso para un prototipo de Equipo Neonatal de Cuidados Intensivos.

#### 1.3 Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un sistema de calibración.
- Calibrar el módulo de medición de flujo gaseoso.
- Desarrollar un software de procesamiento para el módulo de medición de flujo gaseoso.

#### 1.4 Estado del arte

En la actualidad, existen diversos dispositivos utilizados como medidores de flujo inspiratorios. Uno de ellos es el neumotacógrafo, que es un sensor de flujo gaseoso que lo transforma en presión diferencial. Entre los neumotacógrafos más difundidos son el tipo Fleisch y el tipo Lilli. El neumotacógrafo Fleisch consiste en un conjunto de tubos capilares que suministran una resistencia fija y pequeña al flujo de aire. Pequeñas aperturas en cada extremo de los tubos capilares se utilizan para medir la diferencia de presión creada cuando el flujo de aire pasa a través del dispositivo. Mientras que en los neumotacógrafos de Lilli se sustituyen los tubos capilares por membranas. La diferencia de presión es muy pequeña y es medida con un sensor de presión diferencial que a la salida genera una señal eléctrica a partir de la cual se obtienen los valores de flujo. [1]

También existe un medidor de flujo con elemento estrangulador con microsensar de presión incorporado, el cual basa su funcionamiento en la presión diferencial existente en la cara anterior y cara posterior de un estrangulador del fluido. [2]

Por último, en el año 2007, se desarrolló un sistema de medición de flujo gaseoso másico en incubadoras integrado al sistema de control de flujo aire – oxígeno de la BAN CPAP. Este sistema brinda aire enriquecido con oxígeno, presurizado, humidificado y temperado, que puede ser controlado debido a que posee un software controlador. [3]

#### 1.5 Marco conceptual

- **Neonatal Care Unit (NICU)**

Equipo para atención integral de neonatos críticos que ventila, incuba, monitorea y facilita procedimientos médicos. Dicho equipo comprende: Un anillo térmico conformado por 2 cilindros concéntricos unidos en sus extremos por una plancha anular, una o más resistencias calefactoras entre dichos cilindros circundando el anillo y un ventilador dentro del anillo, una cuna horizontal, una puerta del anillo colocada en el extremo anterior de la cuna, una tapa del anillo en un punto cercano al extremo posterior de la cuna; un habitáculo definido por un volumen limitado inferiormente por la cuna, superiormente por el anillo térmico, anteriormente por la puerta desplegable y posteriormente por la tapa, de modo que la cabeza del

neonato quede ubicada en el extremo anterior de la cuna y sus pies en un punto cercano al extremo posterior. [4]

- **Método mezclador – Suministro de fluidos**

El método se basa en el axioma matemático que dice: “El todo es igual a la suma de sus partes”; por lo tanto, análogamente, se puede decir que el total del flujo másico resultante de fluidos, es igual a la suma de los flujos másicos de los fluidos parciales mezclados que lo conforman; por ello, si se desea controlar el flujo de la mezcla de dos fluidos, basta con controlar el flujo del fluido resultante y uno de los flujos de los fluidos parciales que lo conforman. [5]

- **Sistema de medición**

Conjunto de elementos independientes constituidos para alcanzar un determinado objetivo mediante la realización de mediciones específicas. [6]

- **Calibración**

Determinación del grado al que la respuesta de un circuito o dispositivo corresponde a las prestaciones deseadas. [7]

- **Exactitud**

Aproximación con la cual la lectura de un instrumento se acerca al valor real de la variable medida. [8]

- **Fluido**

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante, sin importar que tan pequeño sea este esfuerzo cortante. [9]

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN DE FLUJO GASEOSO

#### 2.1 Descripción de la planta de medición

La planta donde se realizará el módulo de medición de flujo de NICU se encuentra compuesto por el subsistema neumático y el de control y monitoreo del prototipo en desarrollo.

El subsistema neumático se encuentra compuesto por distintos componentes, los cuales permiten el ingreso de oxígeno y de la mezcla aire-oxígeno a las vías respiratorias del paciente. [10]

Por tal motivo, el sistema neumático se encuentra dividido en dos líneas: Línea de oxígeno y línea de mezcla (aire-oxígeno). La línea de oxígeno permite el ingreso de dicho flujo gaseoso al sistema con una concentración del 100% a una presión de 50 PSI proveniente del tanque de oxígeno dispuesto. La cantidad de flujo es controlada mediante un restrictor de flujo manual.

La línea de mezcla permite que se encuentren el aire del ambiente y el oxígeno, proveniente de la línea de oxígeno. La cantidad de flujo ingresante a las vías respiratorias del paciente es controlada por el compresor del sistema.

A continuación, se detallará el funcionamiento del subsistema neumático por cada línea.

En la línea de oxígeno, el flujo gaseoso realiza la siguiente trayectoria:

- Ingreso del oxígeno al sistema neumático a través del filtro de partículas.
- Regulación de la presión de ingreso a 5 PSI.

- Sensado del flujo de oxígeno por el sensor de flujo de control.
- Sensado del flujo de oxígeno por el sensor de flujo de seguridad.
- Regulación del flujo de oxígeno por el restrictor manual.

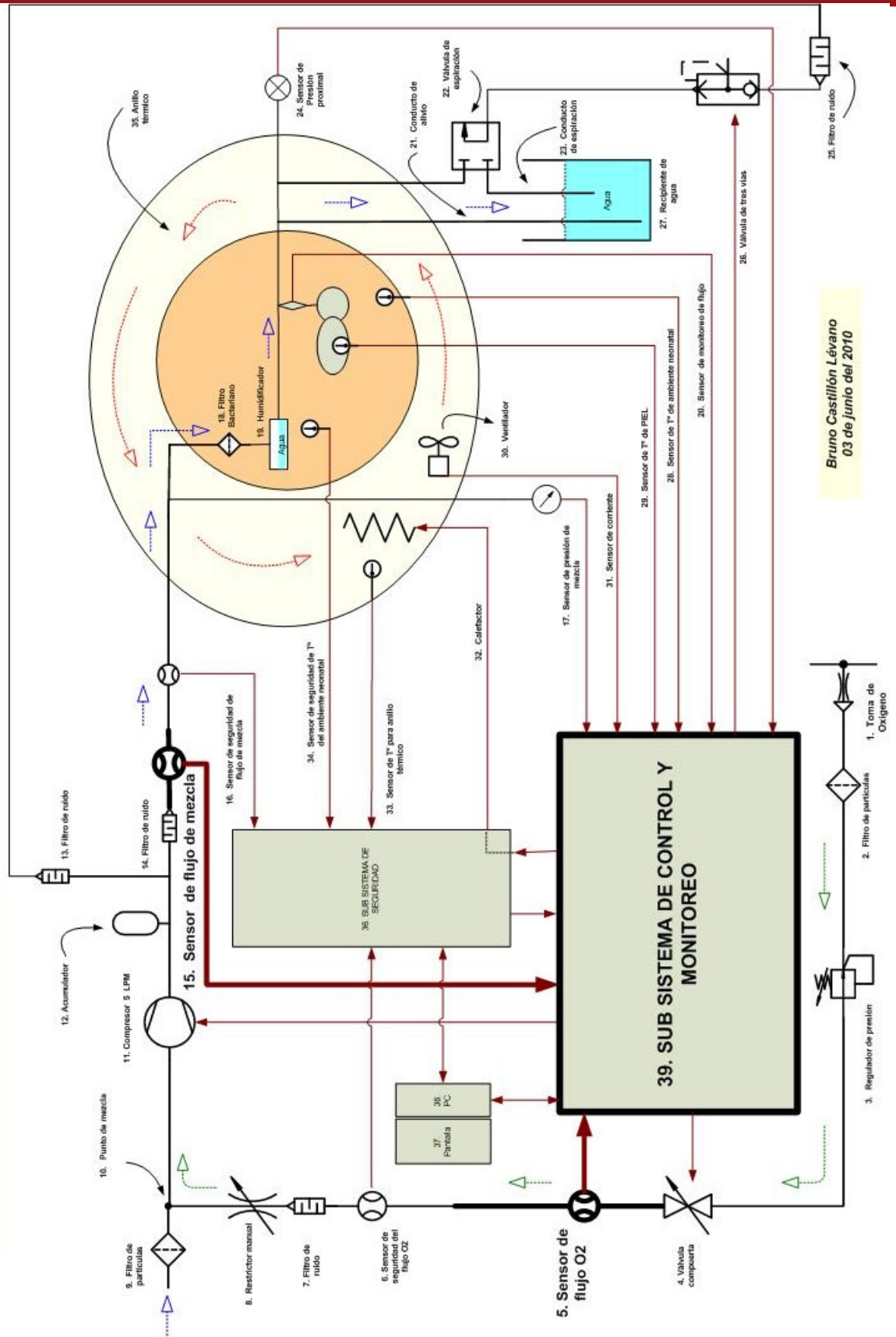
En la línea de mezcla, el flujo gaseoso realiza la siguiente trayectoria:

- Ingreso del aire a través del filtro de partículas.
- Mezcla del aire con el oxígeno en el punto de mezcla.
- Regulación del flujo de la mezcla por medio del compresor.
- Sensado del flujo de la mezcla por el sensor de flujo de control.
- Sensado del flujo de la mezcla por el sensor de flujo de seguridad.
- Filtrado de bacterias en el flujo de la mezcla por medio del filtro bacteriano.
- Humidificación del flujo de la mezcla.

El subsistema de control y monitoreo posee como finalidad la adquisición y procesamiento de las señales provenientes de los sensores que componen el prototipo en desarrollo.

En la Figura 2-1, se muestra un diagrama general del prototipo, resaltando los subsistemas que comprenden directa o indirectamente el módulo de medición de flujo gaseoso.

**Subsistema Neumático de NICU**



Bruno Castilón Lévano  
03 de junio del 2010

Figura 2-1: Subsistema neumático de NICU



## 2.2 Diseño del módulo de medición

### 2.2.1 Requerimientos

Se presentan los requerimientos del módulo de medición para la línea de oxígeno y la línea de mezcla, acorde con los parámetros de control recomendados por los médicos Ricardo Castellanos y Martina Zegarra en su informe titulado “Análisis y requerimientos desde el punto médico para el equipo telemédico para soporte de vida de neonatos críticos” [11]:

Tabla 2-1: Requerimientos

Parámetro	Flujo de O <sub>2</sub>	Flujo de mezcla
Rango de medición	0 LPM – 3 LPM	0 LPM – 3 LPM
Precisión	± 5%	± 5%
Temperatura de medición	25°C	25°C
Presión de ingreso de flujo	5 PSI	5 PSI

### 2.2.2 Hardware

El hardware del módulo de medición de flujo gaseoso se encuentra conformado por elementos del subsistema neumático y el subsistema de control y monitoreo. Por tal motivo, se ha dividido en dos etapas: Etapa de sensado y etapa de procesamiento.

La etapa de sensado se encarga de sensar el flujo másico de la línea de oxígeno y de la línea de mezcla mediante un dispositivo de medición, el cual, entregará a la etapa de procesamiento los datos obtenidos de estas mediciones.

La etapa de procesamiento permite la adquisición y procesamiento de los datos obtenidos de los sensores de flujo. Esta etapa se encuentra conformada por la tarjeta de acondicionamiento de datos, tarjeta de adquisición de datos y tarjeta de procesamiento.

Los dispositivos que conforman las etapas del hardware son los siguientes:

- **Dispositivos de la etapa de sensado**

La etapa de sensado se encuentra conformada por dos sensores de flujo másicos HONEYWELL AWM5104VN, para la línea de oxígeno y la línea de mezcla, pertenecientes al subsistema neumático del prototipo [10].

A continuación se muestran algunas características técnicas del dispositivo. [12]

Tabla 2-2: Características técnicas del sensor de flujo

Sensor de flujo másico HONEYWELL AWM5104VN	
Voltaje de alimentación	10Vdc típico, 8Vdc min. , 15Vdc máx.
Consumo de potencia	100mW máx.
Voltaje de salida	1 a 5Vdc
Rango de flujo	0 – 20SLPM
Temperatura de trabajo	-20°C a 70°C
Máxima presión	50 PSI máx.

- **Dispositivos de la etapa de procesamiento**

La etapa de procesamiento se encuentra conformada por la tarjeta de acondicionamiento de datos T100 [13], la tarjeta de adquisición de datos TS-ADC16 y tarjeta de procesamiento TS-7350, estas dos últimas del fabricante TECHNOLOGIC SYSTEMS. Estas tarjetas pertenecen al subsistema de control y monitoreo del prototipo.

A continuación se muestran algunas características técnicas de la tarjeta de adquisición de datos [14] y la de tarjeta de procesamiento [15].

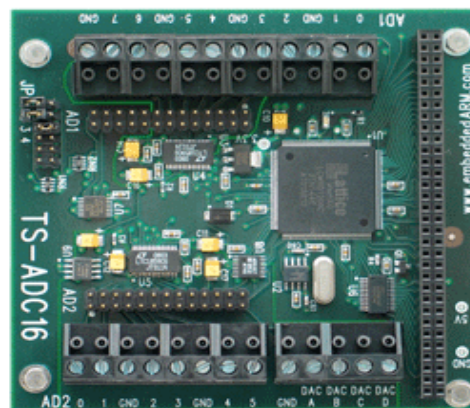


Figura 2-2: Tarjeta de adquisición TECHNOLOGIC SYSTEMS TS-ADC16



Tabla 2-3: Características técnicas de la tarjeta de adquisición

Tarjeta de adquisición TECHNOLOGIC SYSTEMS TS-ADC16	
Procesador	Two LTC1859 ADC chips
Canales ADC	16 channels 16-bit ADC
Rangos de voltajes ADC	4 different ADC ranges
RAM	512x16bit RAM-FIFO for ADC data
Canales digitales de entrada	4 digital inputs - 0 to 5V
Canales DAC	4 12-bit DAC channels

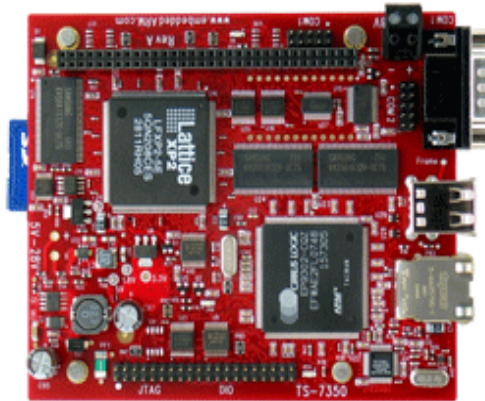


Figura 2-3: Tarjeta de procesamiento TECHNOLOGIC SYSTEMS TS-7350

Tabla 2-4: Características técnicas de la tarjeta de procesamiento

Tarjeta de procesamiento TECHNOLOGIC SYSTEMS TS-7350	
Procesador	200MHz ARM9 CPU
Memoria	32MB SDRAM (64-128MB opt)
Puerto Ethernet	1 10/100 ethernet port
Puerto USB	2 USB 2.0 (12Mbit/s max)
Puerto Serial	3 RS-232, 2 TTL COM ports
Voltajes de entrada	5-28VDC Power Input

### 2.2.3 Software

El software de procesamiento posee como principal función brindar un significado físico a los voltajes obtenidos por los sensores de flujo, de la línea de oxígeno y la línea de mezcla.

Para ello, son necesarias las ecuaciones de las curvas de calibración de estos sensores, las cuales se obtuvieron de las pruebas de calibración.

A continuación se muestra el algoritmo del software implementado.

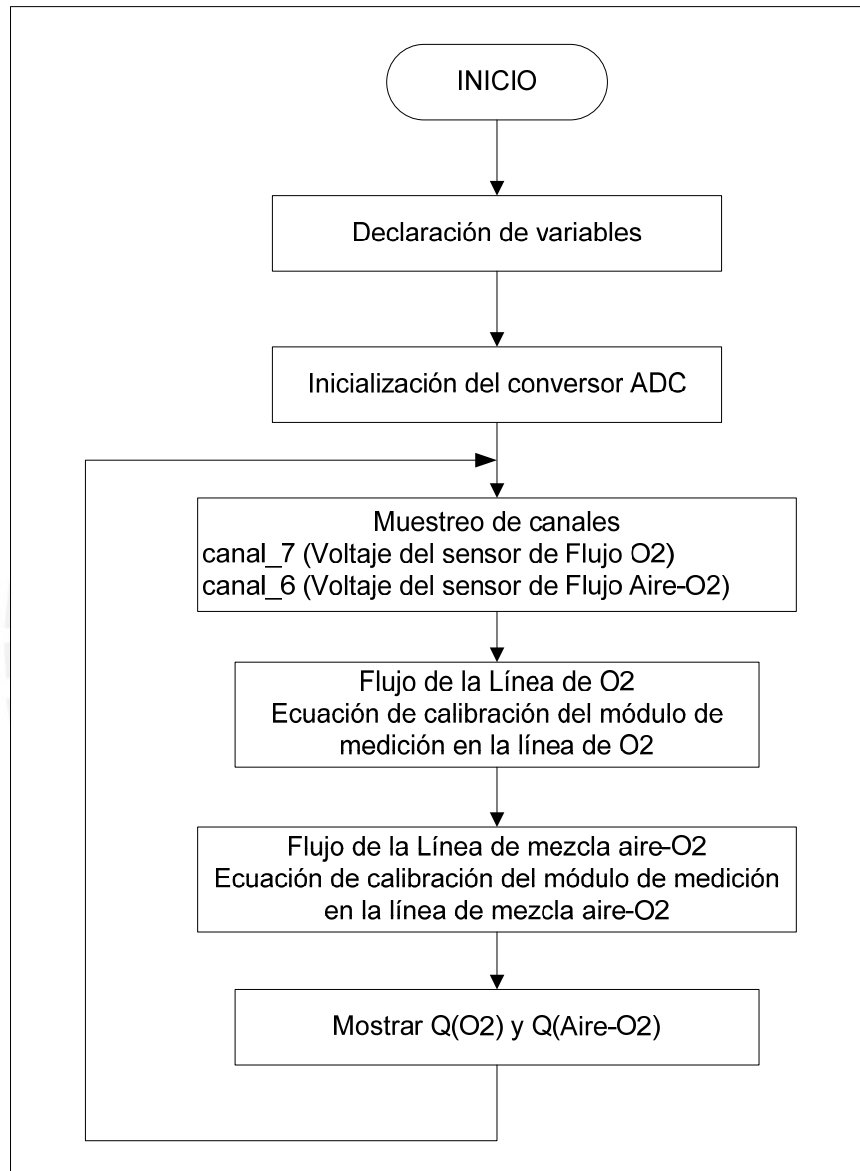


Figura 2-4: Diagrama de flujo del software de procesamiento para el módulo de medición de flujo gaseoso

## 2.3 Implementación del módulo de medición

### 2.3.1 Hardware

#### 2.3.1.1 Conexión de la etapa de sensado

Las conexiones en esta etapa, integran los sensores de flujo al sistema neumático del equipo, en la línea de oxígeno y la línea de mezcla de acuerdo al subsistema neumático del prototipo.

Cada sensor se conecta al sistema neumático mediante mangueras de poliuretano de 6mm de diámetro exterior y 4.1mm de diámetro interior.



Mangueras de  
poliuretano

Figura 2-5: Conexión de los sensores de flujo al sistema neumático

Los pines que presentan los sensores de flujo son de 5v, GND y voltaje de salida. Ellos se conectarán a la tarjeta de acondicionamiento T100, diseñada dentro del subsistema de control y monitoreo, para el acondicionamiento de las señales de todos los sensores utilizados en el prototipo de equipo neonatal de cuidados intensivos [13].



Figura 2-6: Conexión de los sensores de flujo a la tarjeta de acondicionamiento



### 2.3.1.2 Conexión de la etapa de procesamiento

En la etapa de procesamiento, de acuerdo al subsistema de control y monitoreo del prototipo, se realizó la conexión e integración de las tarjetas de acondicionamiento, adquisición y procesamiento.

Las tarjetas de adquisición (TS-ADC16) y la de procesamiento (TS-7350) se conectaron entre ellas por medio de su bus PCI/104.

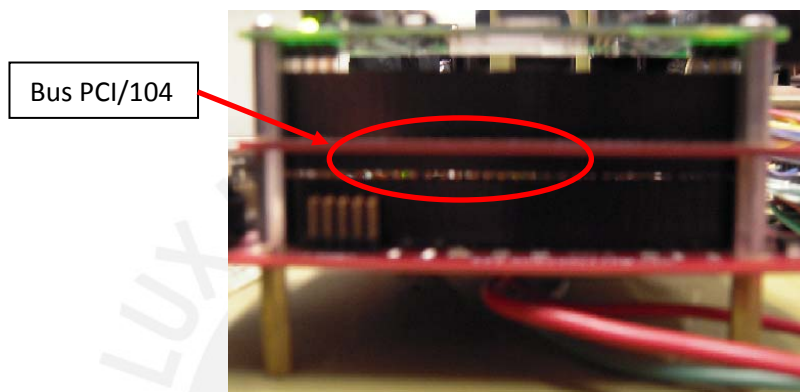


Figura 2-7: Conexión de la tarjeta de adquisición de datos y de procesamiento

La conexión entre la tarjeta de acondicionamiento (T100) y la de adquisición (TS-ADC16) se realizó por medio de cables flexibles multifilares.

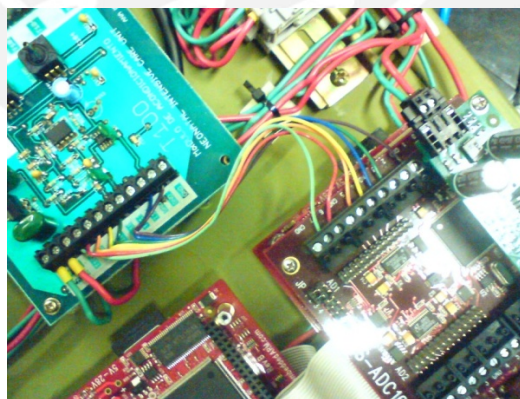


Figura 2-8: Conexión de la tarjeta de acondicionamiento y de adquisición de datos

La integración entre la etapa de sensado y de procesamiento, se realizó mediante la conexión de los sensores de flujo de la línea de oxígeno y la línea de mezcla con la tarjeta de acondicionamiento T100, para lo cual se les ha asignado a los sensores sus respectivos conectores como se muestra a continuación:

Tabla 2-5: Distribución de conectores entre tarjetas

Sensor de flujo	Tarjeta de acondicionamiento (T100)		Tarjeta de adquisición (TS-ADC16)
	Entrada	Salida	ADC1
O <sub>2</sub>	T101	T106	Canal 7
Mezcla aire-O <sub>2</sub>	T102	T107	Canal 6

### 2.3.2 Software

Este software ha sido desarrollado en lenguaje de programación C bajo el entorno del programa NetBean 6.8. Se ejecuta en la tarjeta de procesamiento del módulo de medición de flujo, con lo cual, los datos sensados se envían desde esta tarjeta mediante Ethernet a una PC, que se encontrará conectada en la misma LAN, para la visualización a tiempo real de los mismos.

En su implementación, ha sido necesaria la calibración del módulo de medición para obtener las ecuaciones de las curvas de calibración del módulo en la línea de oxígeno y la línea de mezcla, las cuales, fueron aplicadas en la programación conforme el algoritmo planteado (Figura 2-4).

A continuación se muestran las ecuaciones obtenidas de dichas pruebas.

Ecuación de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno:

$$Q = 4.939 \cdot V - 4.571 \dots\dots\dots(\text{Ec. 1})$$

$$Q = \text{Caudal} \left( \frac{\text{litros}}{\text{minuto}} \right)$$

$$V = \text{Voltaje del sensor de flujo de oxígeno (voltios)}$$

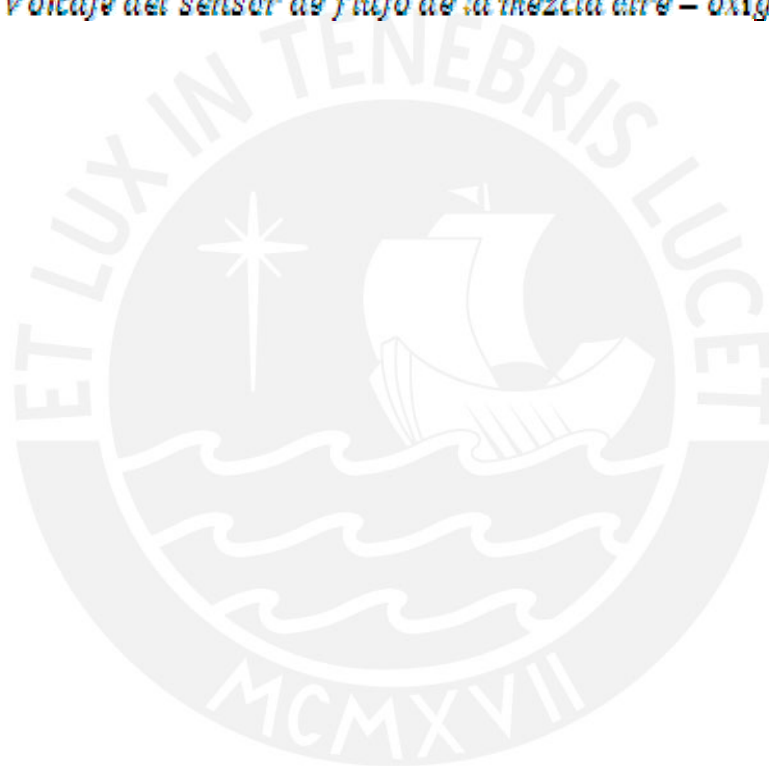
Ecuación de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla:



$$Q = 5.767 \cdot V - 5.248 \dots\dots\dots(\text{Ec. 2})$$

$$Q = \text{Caudal} \left( \frac{\text{litros}}{\text{minuto}} \right)$$

$V = \text{Voltaje del sensor de flujo de la mezcla aire - oxígeno (voltios)}$



## CAPÍTULO 3

### CALIBRACIÓN DEL MÓDULO DE MEDICIÓN DE FLUJO GASEOSO

#### 3.1 Sistema de calibración del módulo de medición

##### 3.1.1 Introducción

El sistema de calibración desarrollado posee como finalidad obtener las curvas de calibración de los sensores del módulo de medición, lo que permitirá sus ecuaciones, las cuales serán utilizadas en el software de procesamiento del módulo de medición.

##### 3.1.2 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento del sistema de calibración consiste en calcular el flujo gaseoso que atraviesa una de las líneas de ingreso del sistema neumático, mediante la medición del tiempo que demore en desplazar este flujo, a un volumen conocido de agua. Se utiliza la siguiente relación para el cálculo del flujo.

$$Q = \frac{V}{T} \dots\dots\dots(\text{Ec. 3})$$

$$Q = \text{Flujo} \left( \frac{\text{litro}}{\text{minutos}} \right)$$

$$V = \text{Volumen (litros)}$$

$$T = \text{Tiempo (minutos)}$$



Cabe mencionar, que debido a que la presión se puede expresar en centímetros de  $H_2O$ , es posible conocer el desplazamiento del volumen de agua dentro del sistema de vasos comunicantes conociendo dos valores de presión. Por este motivo, para la calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno y en la línea de mezcla aire-oxígeno, se ha medido el tiempo transcurrido para desplazar un volumen agua una altura determinada en el sistema de vasos comunicantes.

Luego de mencionado los conceptos relacionados, se procederá a la descripción del sistema de calibración, el cual presenta dos etapas: Etapa neumática y etapa de procesamiento.

La etapa neumática se encuentra conformada por el sistema de vasos comunicantes y el sensor de presión. El primero es utilizado como patrón para la medición del desplazamiento del volumen de agua; mientras que el segundo permite determinar el inicio y fin de la medición del tiempo, ya que el desplazamiento del volumen en el sistema patrón, genera una variación en la presión interna del sistema. Estos componentes van conectados en serie con la línea de entrada gaseosa a calibrar, ya sea la línea de oxígeno o la línea de mezcla como se observa en la Figura 3-1.

La etapa de procesamiento se encuentra conformada por la tarjeta de adquisición de datos (TS-ADC16) y tarjeta de procesamiento (TS-7350). En la primera tarjeta, se encuentran conectados el sensor de flujo de la línea en calibración y el sensor de presión de la etapa neumática del sistema de calibración para el acondicionamiento de las señales.

Se desarrolló un software que realice la medición del tiempo y que envíe los datos sensados por Ethernet a una PC conectada en la misma LAN. Mediante ello, se visualizan los valores sensados, como el voltaje del sensor de presión, el voltaje del sensor de flujo y el tiempo transcurrido del desplazamiento. (Figura 3-1)

Dentro del procedimiento, se calibró el sensor de presión para obtener una curva de calibración Presión (cm.  $H_2O$ ) vs. Voltaje (V), la cual se obtuvo realizando mediciones del voltaje de salida del sensor de flujo a distintos desplazamientos de volúmenes de agua en el interior del sistema de vasos comunicantes.

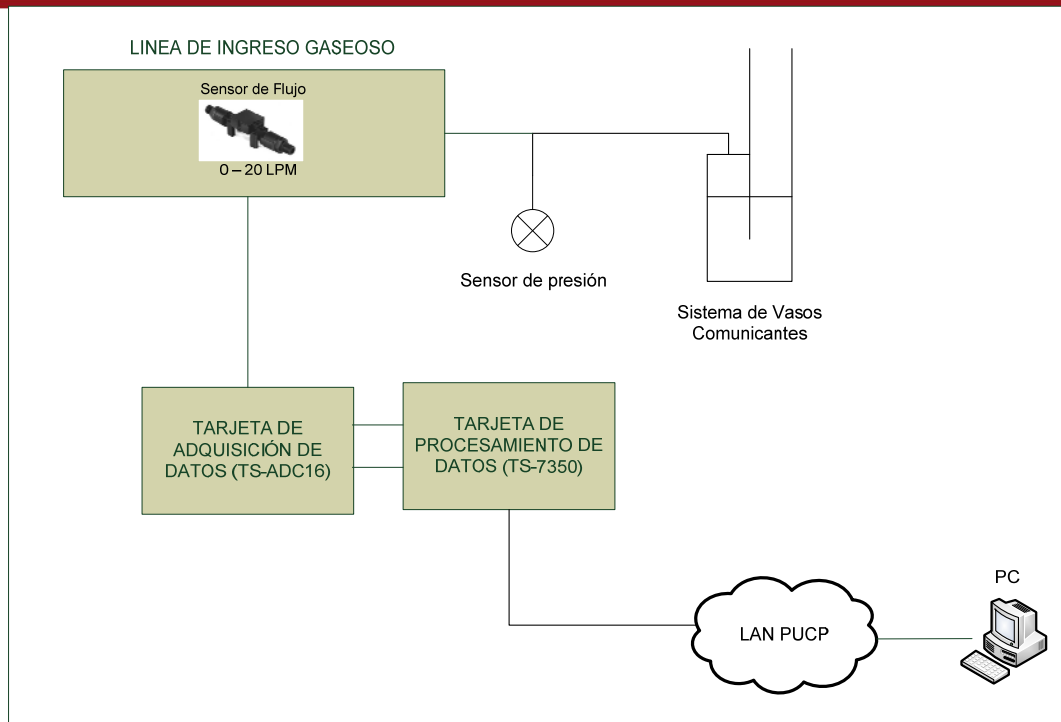


Figura 3-1: Sistema de calibración

### 3.1.3 Componentes neumáticos

Los componentes neumáticos del sistema de calibración son los siguientes:

- **Sensor de presión**

El sensor de presión utilizado es el modelo 40PC001B1A de la marca HONEYWELL. Este dispositivo es un sensor diferencial cuyo principio de funcionamiento es medir la deformación de una membrana elástica en su interior. Esto se ve reflejado en una señal eléctrica de salida.



Figura 3-2: Sensor de presión HONEYWELL 40PC001B1A

Sus principales características técnicas son: [16]

Tabla 3-1: Características técnicas del sensor de presión

Sensor de presión HONEYWELL 40PC001B1A	
Rango de presión	-50 a +50 mmHg
Sobrepresión	170 mmHg máx.
Voltaje de alimentación	5Vdc
Temperatura de Operación	-45 a 85°C
Null (0 PSI)	2.5 +/- 0.05Vdc
Full Scale (+50mmHg)	4.5 + .12Vdc
Full Scale (-50mmHg)	0.5Vdc
Sensibilidad	40 mV/mmHg
Máxima presión	50 PSI máx.

- **Sistema de vasos comunicantes**

El sistema de vasos comunicante utilizado se encuentra elaborado de acrílico con dimensiones de 10 cm x 10 cm. por lado. Uno de sus orificios se encuentra abierto bajo la exposición de la presión del ambiente, mientras que el otro permite el ingreso de flujo de la línea gaseosa por calibrar. [17]

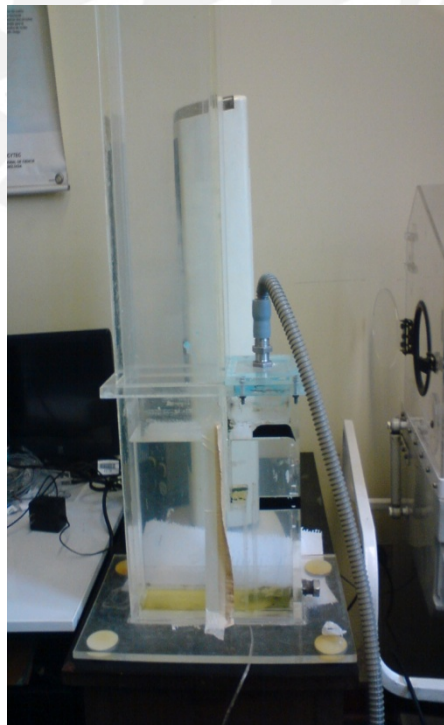


Figura 3-3a: Sistema de vasos comunicantes

Este componente neumático permite verificar la relación lineal existente entre el flujo y la variación de presión con respecto al tiempo.

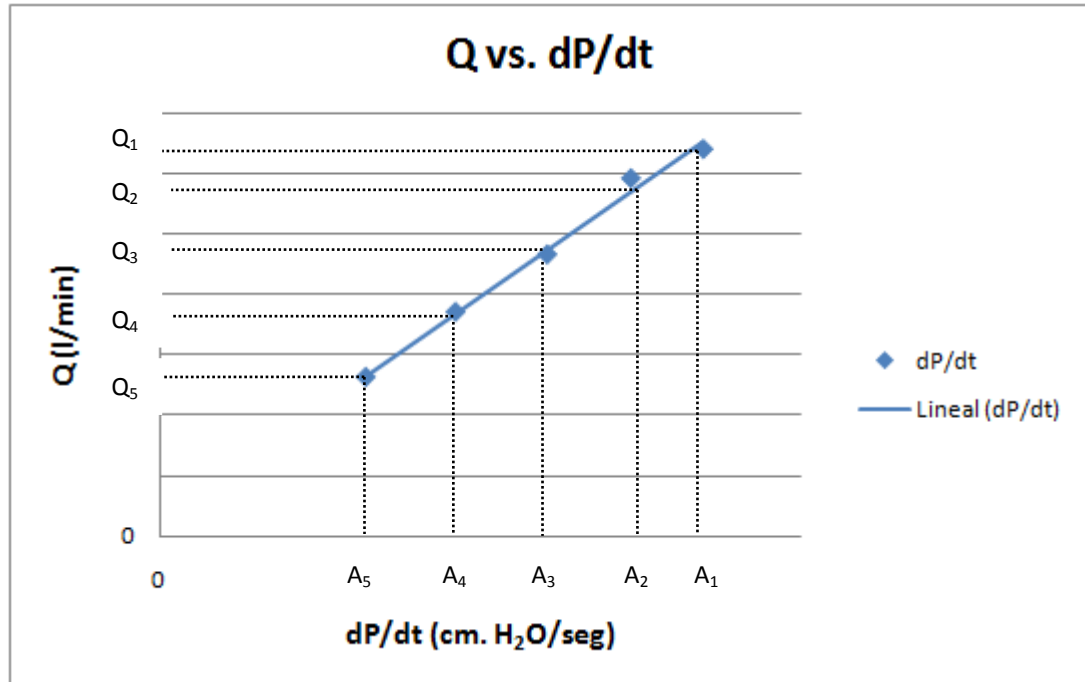


Figura 3-3b: Sistema de vasos comunicantes

La ecuación demuestra que el flujo varía linealmente en función a la variación de la presión con respecto al tiempo.

$$Q = C \frac{dP}{dt} + D \dots\dots\dots(\text{Ec. 4})$$

$$Q = \text{Flujo} \left( \frac{\text{litro}}{\text{minutos}} \right)$$

$C = \text{Pendiente}$

$D = \text{Termino independiente}$



### 3.1.4 Software de calibración del módulo de medición

El objetivo del software es mostrar los voltajes sensados por el sensor de presión y sensor de flujo, asimismo, luego de alcanzado el valor inicial de presión debe empezar a cronometrar el tiempo que demorará el sistema en alcanzar la presión final.

El cronometrado del tiempo comienza cuando el volumen de agua se ha desplazado una altura de 2.092 cm. (2.6v del sensor de presión) con respecto a su posición inicial y culmina cuando se ha desplazado 4.1 cm. (2.7v del sensor de presión) de la misma posición inicial.

Los canales destinados son los siguientes:

Tabla 3-2: Distribución de canales

Sensor	Canal
Sensor de presión	8
Sensor de flujo	7

El algoritmo planteado para el software de medición es el siguiente:

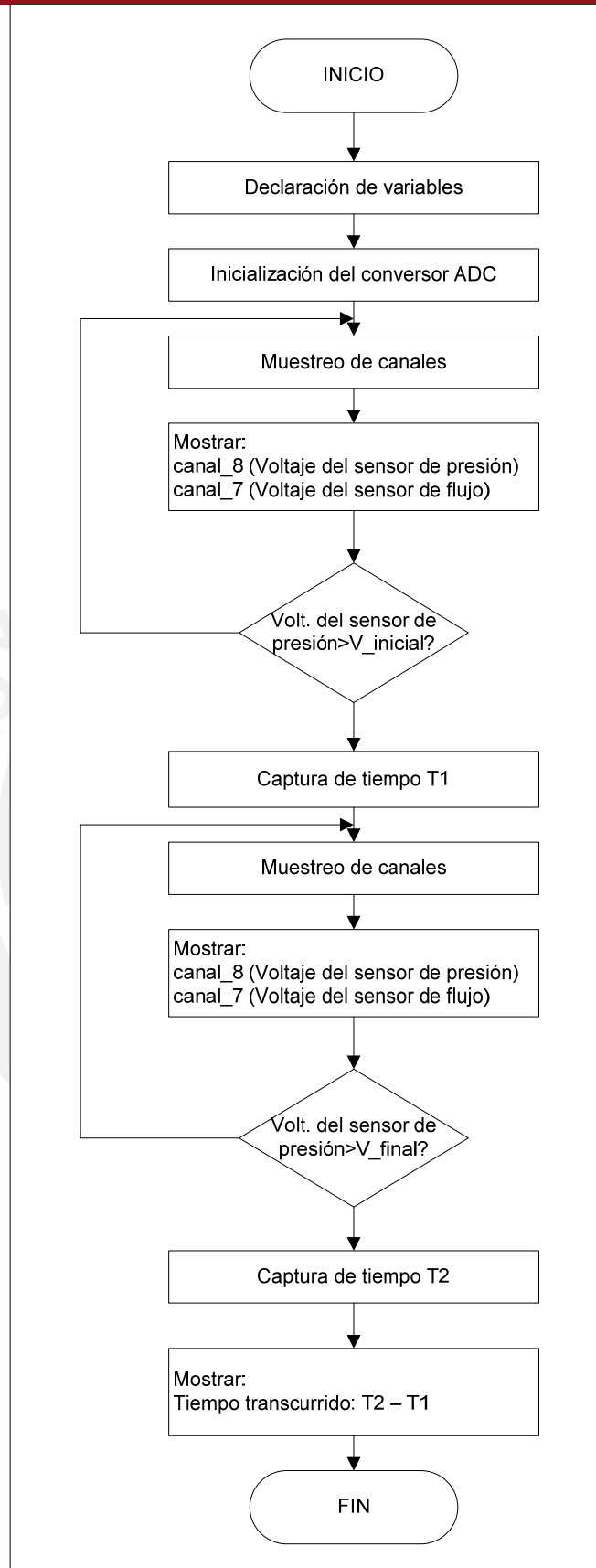


Figura 3-4: Diagrama de flujo del software de calibración del módulo de medición

## 3.2 Calibración del sensor de presión

### 3.2.1 Escenario de calibración del sensor de presión

Para los ensayos de calibración del sensor de presión, se debe realizar el siguiente escenario de prueba:

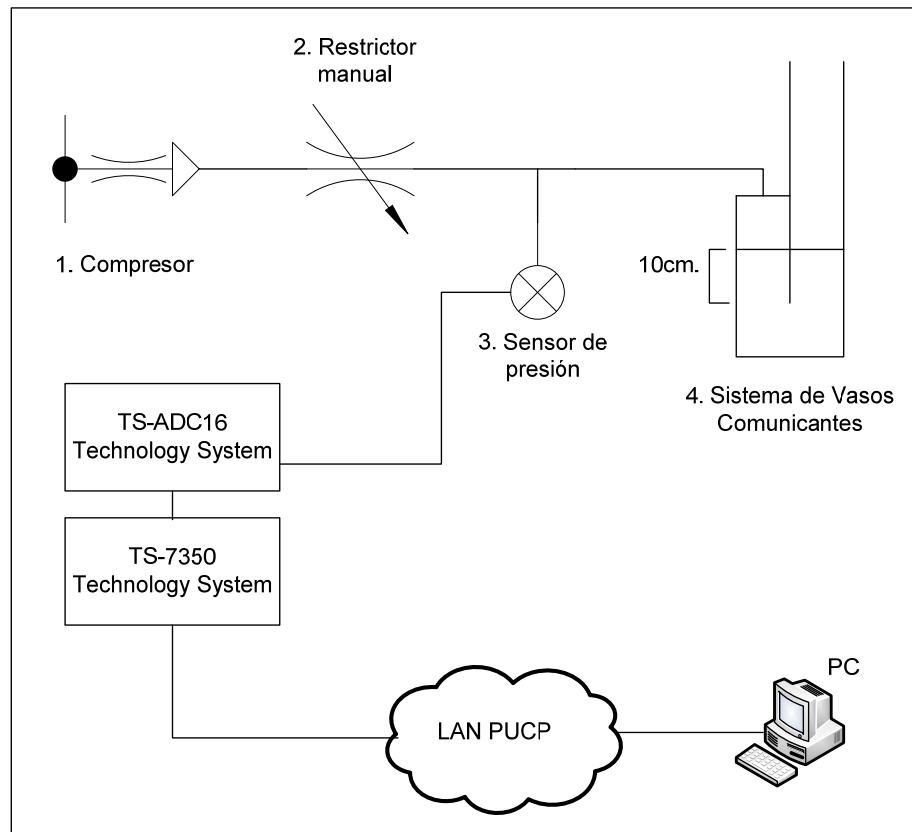


Figura 3-5: Escenario de calibración del sensor de presión

En la parte neumática, se conectaron en serie el compresor, restrictor manual, sensor de presión y el sistema de vasos comunicantes. El sensor de presión se conectó a la tarjeta de adquisición de datos en el canal 8, para el registro del voltaje de salida. Los datos sensados se envían desde la tarjeta de procesamiento mediante Ethernet a una PC conectada en la misma LAN.

### 3.2.2 Software de calibración del sensor de presión

Para la calibración del sensor presión se desarrolló un software que registre los valores de voltaje adquiridos del sensor de presión y los muestre en una PC conectada en la misma LAN en la que se encuentra la tarjeta de procesamiento.



A continuación se muestra el algoritmo del programa utilizado.

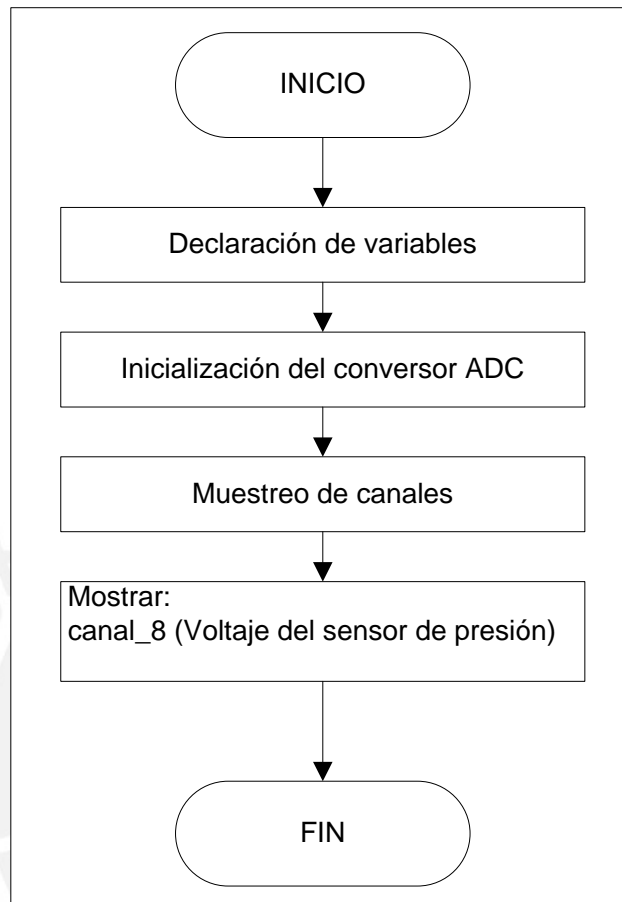


Figura 3-6: Diagrama de flujo del software de calibración del sensor de presión

### 3.2.3 Procedimiento de calibración del sensor de presión

El procedimiento de calibración realizado es el siguiente:

- Marcar en uno de los vasos el sistema de vasos comunicantes un desplazamiento de 10 cm. por centímetro.
- Agregar agua en el sistema de vasos comunicantes a una altura que permita un desplazamiento de 10 cm. en uno de los vasos.
- Validar que no existan fugas en el sistema de vasos comunicantes ni en las conexiones entre los elementos del escenario de calibración.
- Cargar el compresor hasta alcanzar una presión de 80 PSI aprox.
- Graduar la salida del compresor a 50PSI.
- Abrir completamente el restrictor manual.

- Energizar el sensor de presión, la tarjeta de adquisición de datos y de procesamiento.
- Ejecutar el software de calibración en la tarjeta de procesamiento.
- Abrir la válvula de compresor.
- En cuanto el nivel del agua alcance la marca deseada, cerrar la válvula del compresor y luego el restrictor manual.
- Anotar el voltaje visualizado en la PC, y la distancia entre el nivel de referencia y el nivel de agua alcanzado.

Se realizó el mismo procedimiento 10 veces para esbozar la curva de calibración del sensor de presión.

### 3.2.4 Resultado de calibración del sensor de presión

Se muestran los datos y la curva de calibración del sensor de presión obtenida en los ensayos realizados.

Tabla 3-3: Tabla con datos de calibración del sensor de presión

Presión (cmH <sub>2</sub> O)	Sistema de Calibración	Sensor de Presión - Fabricante
	Voltaje (V)	Voltaje (V)
0	2.503	2.5
1	2.541	2.529
2	2.593	2.558
3	2.642	2.587
4	2.692	2.616
5	2.746	2.645
6	2.798	2.674
7	2.847	2.703
8	2.895	2.732
9	2.941	2.761
10	2.994	2.79

### Calibración del sensor de presión

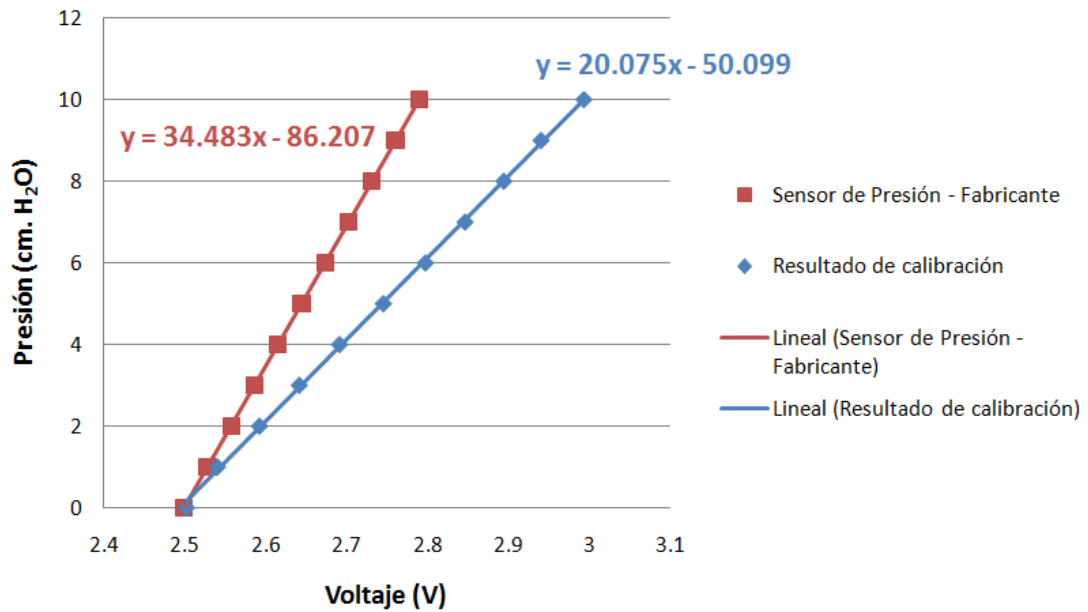


Figura 3-7: Curva de calibración del sensor de presión

Dentro del rango de utilización del sensor de presión (2.6v – 2.7v), se presenta una desviación máxima en la presión calibrada con respecto a la indicada por el fabricante de 39.3% en la presión menor y 40.5% en la presión mayor.

### 3.3 Calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno

#### 3.3.1 Escenario de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno

Los ensayos de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno, se realizaron bajo el siguiente escenario.

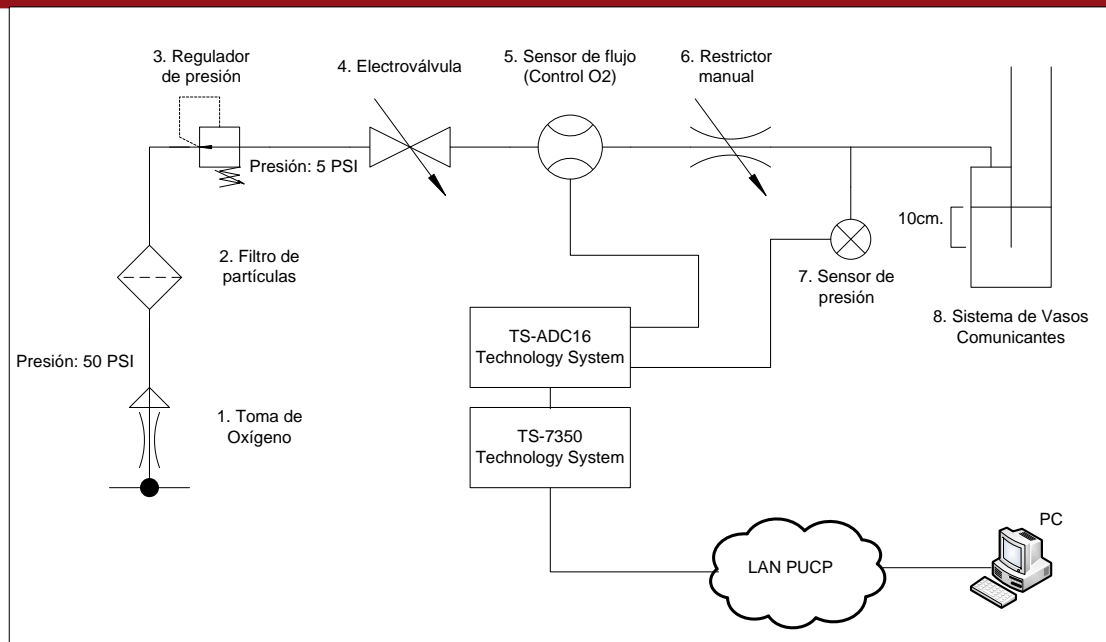


Figura 3-8: Escenario de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno

En la parte neumática, se encuentran conectados los componentes neumáticos de la línea de oxígeno con los del sistema de calibración. Con la finalidad de registrar los voltajes de salida de los sensores, se conectó a la tarjeta de adquisición de datos el sensor de presión y de flujo en el canal 8 y 7 respectivamente. Los datos sensados se enviaron desde la tarjeta de procesamiento mediante Ethernet a una PC conectada en la misma LAN.

### 3.3.2 Procedimiento de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno

El procedimiento realizado para obtener la curva de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno es el siguiente:

- Agregar agua en el sistema de vasos comunicantes a una altura que permita un desplazamiento de 10 cm. en uno de los vasos.
- Validar que no existan fugas en el sistema de vasos comunicantes ni en las conexiones entre los elementos del escenario de calibración.
- Cargar el compresor (toma de oxígeno) hasta alcanzar una presión de 80 PSI aprox.
- Graduar la salida del compresor (toma de oxígeno) a 50PSI.
- Graduar el secundario del regulador de presión a 5 PSI. Para ello desconectar los vasos comunicantes y liberar el aire del compresor (toma de oxígeno) hasta

el alcanzar el valor de presión deseado. Luego cerrar la válvula del compresor (toma de oxígeno) y volver a conectar los vasos comunicantes.

- Abrir completamente el restrictor manual.
- Energizar el sensor de flujo, la tarjeta de adquisición de datos y de procesamiento.
- Ejecutar el software de calibración en la tarjeta de procesamiento.
- Abrir la válvula de compresor.
- En cuanto el programa termine mostrando el tiempo transcurrido entre los dos valores de presión establecidos, cerrar la válvula del compresor (toma de oxígeno).
- Anotar el tiempo realizado para el flujo medido.

Para obtener distintos flujos, se debe regular cerrando o abriendo el restrictor manual de la línea de oxígeno.

Por cada punto de la recta de calibración, se debe repetir el ensayo al menos 30 veces para obtener una muestra significativa de datos [18].

Por razones prácticas, se realizaron 6 mediciones de distintos flujos, y 30 tomas por flujo como se sugiere.

### **3.3.3 Resultado de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno**

Se muestran los datos y la curva de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno obtenida en los ensayos realizados. Las mediciones de tiempo se realizaron para un desplazamiento de volumen de agua de 2.008 cm (2.092 cm. – 4.1 cm.), que representa una variación entre 2.6v y 2.7v del sensor de presión. Se eligió realizar las mediciones en ese rango, ya que, en mediciones preliminares se observó que el flujo es estable. La temperatura ambiental en que se realizaron las pruebas fue de 25.3°C.

Para obtener un punto de la curva de calibración, se promediaron los 30 valores de flujos y voltajes de sensor de flujo obtenidos en los ensayos.

De esta manera se obtuvo los siguientes puntos de la curva de calibración:

Tabla 3-4: Tabla con datos de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno

Voltaje (V)	Sistema de Calibración	Sensor de Flujo - Fabricante
	Flujo (LPM)	Flujo (LPM)
1.583	3.199	2.915
1.503	2.958	2.515
1.405	2.331	2.025
1.303	1.856	1.515
1.198	1.319	0.99
1	0	0

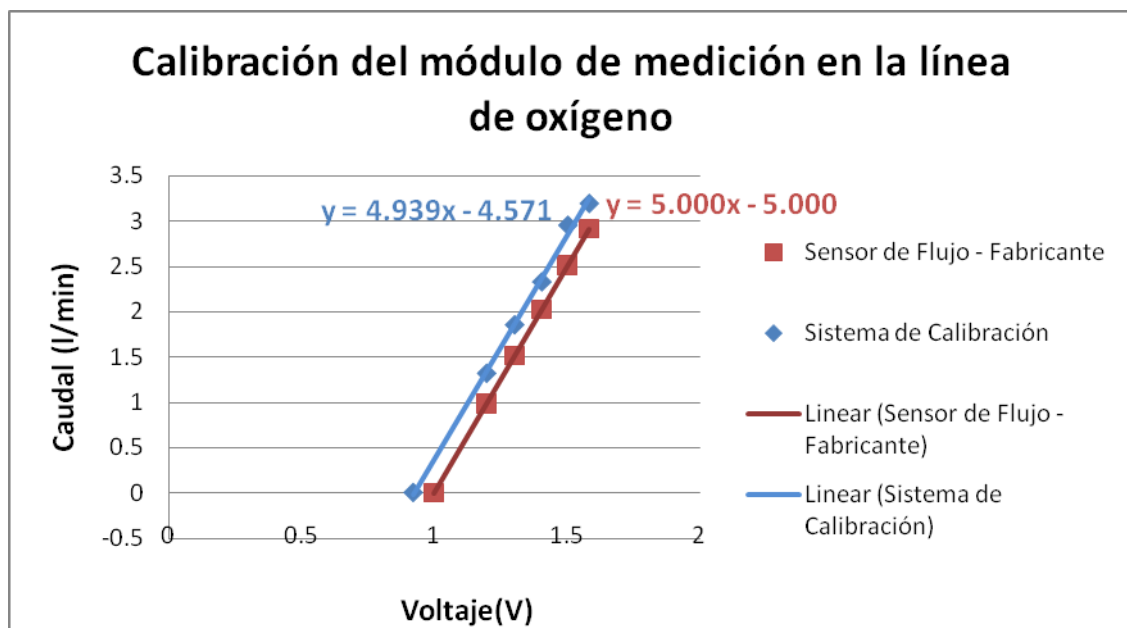


Figura 3-9a: Curva de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno

De acuerdo a los datos obtenidos de las mediciones realizadas, se comprobó la linealidad entre el flujo y la variación de presión con respecto al tiempo. Para ello, se ha promediado el número de muestras adquiridas por la tarjeta de adquisición en cada uno de los 30 ensayos por flujo, con lo cual se determinó que el periodo de muestreo es de 20 ms.

Con ello, se ha obtenido la variación de la presión con respecto al tiempo en un mismo intervalo de tiempo (1.98s) por cada flujo.

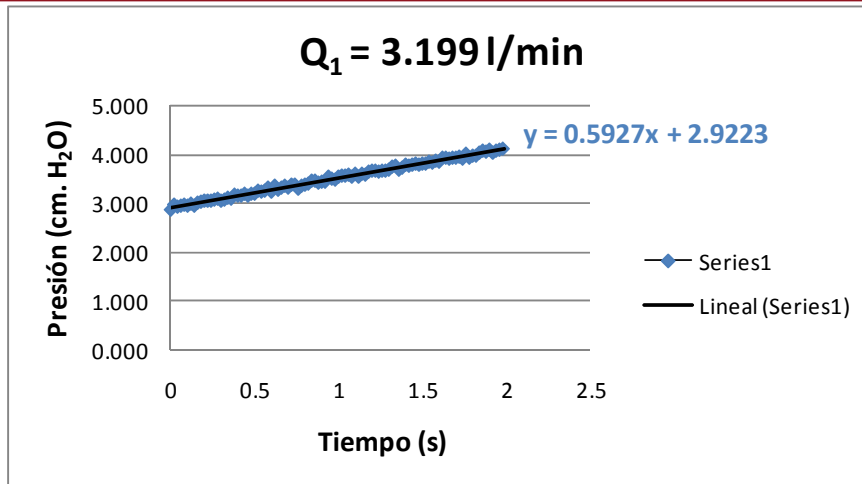


Figura 3-9b: Curva de Presión (cm. H<sub>2</sub>O) vs. Tiempo (s) para un  $Q_1$

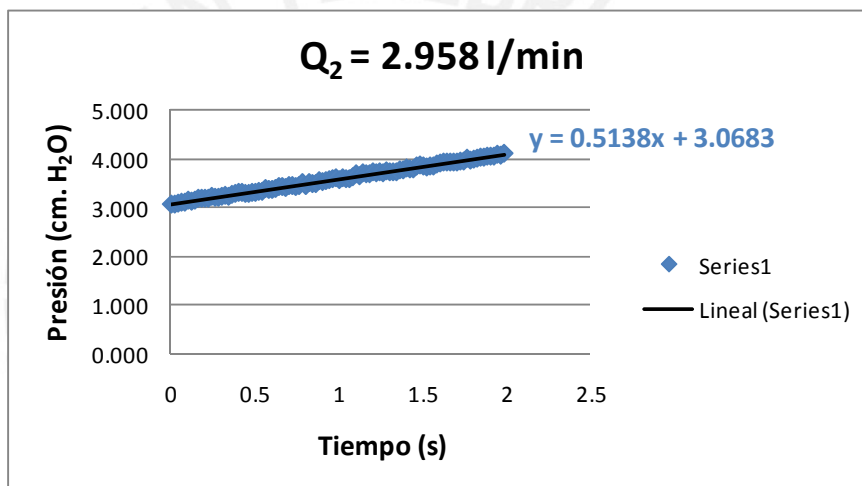


Figura 3-9c: Curva de Presión (cm. H<sub>2</sub>O) vs. Tiempo (s) para un  $Q_2$

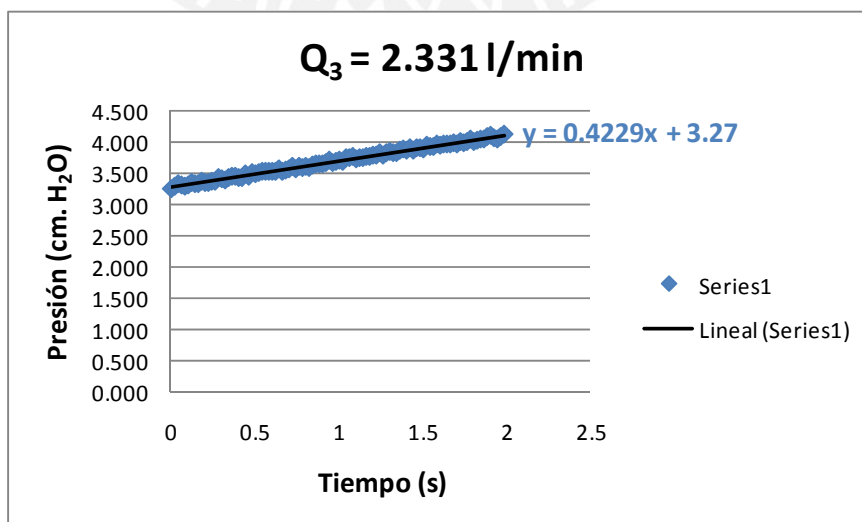


Figura 3-9d: Curva de Presión (cm. H<sub>2</sub>O) vs. Tiempo (s) para un  $Q_3$



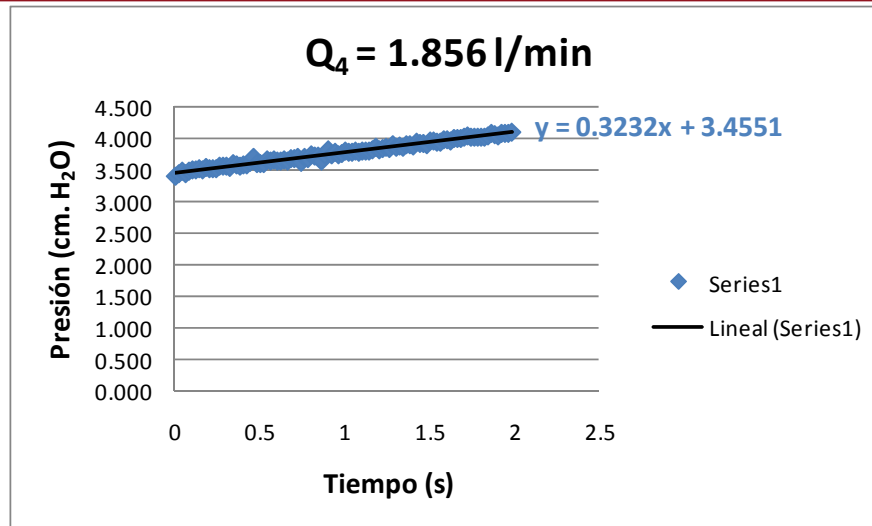


Figura 3-9e: Curva de Presión (cm. H<sub>2</sub>O) vs. Tiempo (s) para un  $Q_4$

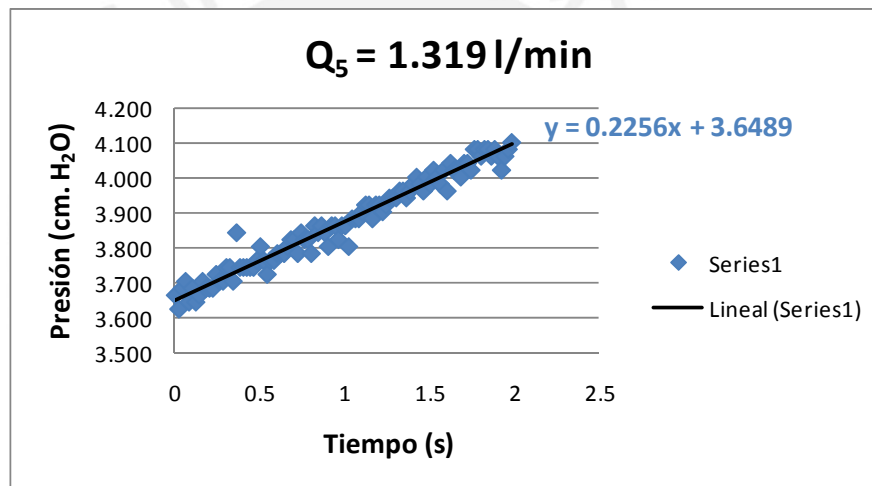


Figura 3-9f: Curva de Presión (cm. H<sub>2</sub>O) vs. Tiempo (s) para un  $Q_5$

Tabla 3-5: Tabla con datos de Flujo (l/min) vs. dP/dt (cm. H<sub>2</sub>O/seg.)

Q (l/min)	dP/dt (cm. H <sub>2</sub> O/seg)
3.199	0.593
2.958	0.514
2.331	0.423
1.856	0.323
1.319	0.226



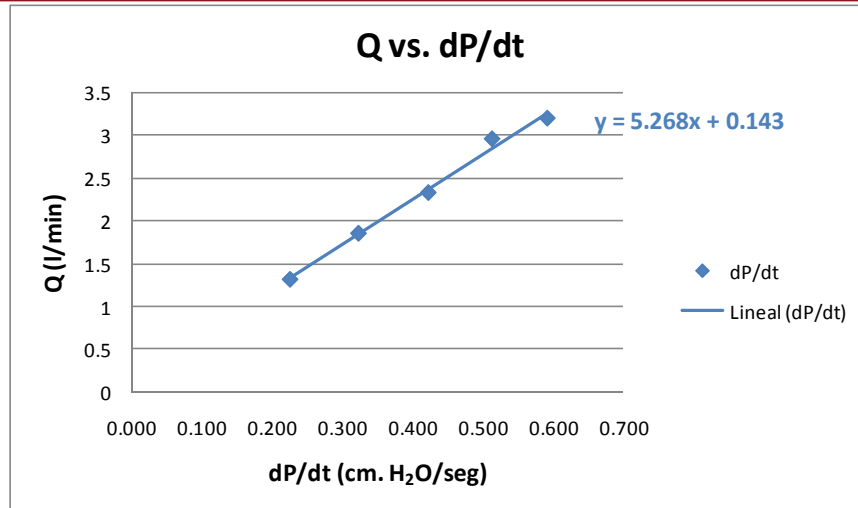


Figura 3-9g: Curva de Flujo (l/min) vs. Variación de la presión con respecto al tiempo (cm. H<sub>2</sub>O/seg)

La ecuación que describe la curva anterior, ratifica el comportamiento lineal entre el flujo y la variación de presión con respecto al tiempo expresado en la Ec. 4.

$$Q = 5.268 * \frac{dP}{dt} + 0.143 \dots\dots\dots(\text{Ec. 5})$$

### 3.4 Calibración del módulo de medición en la línea de mezcla

#### 3.4.1 Escenario de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla

Los ensayos de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla, se realizaron bajo el siguiente escenario.

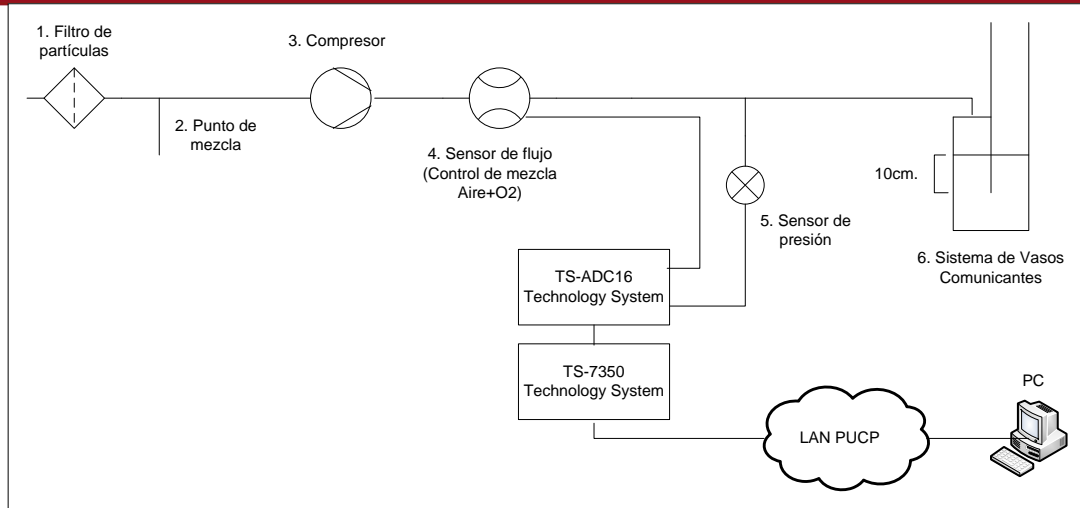


Figura 3-10: Escenario de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla

En la parte neumática, se encuentran conectados los componentes neumáticos de la línea de mezcla con los del sistema de calibración. Con la finalidad de registrar los voltajes de salida de los sensores, se conectó a la tarjeta de adquisición de datos el sensor de presión y de flujo en el canal 8 y 7 respectivamente. Los datos sensados se enviaron desde la tarjeta de procesamiento mediante Ethernet a una PC conectada en la misma LAN.

### 3.4.2 Procedimiento de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla

El procedimiento realizado para obtener la curva de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla es el siguiente:

- Agregar agua en el sistema de vasos comunicantes a una altura que permita un desplazamiento de 10 cm. en uno de los vasos.
- Validar que no existan fugas en el sistema de vasos comunicantes ni en las conexiones entre los elementos del escenario de calibración.
- Energizar el sensor de flujo, compresor, la tarjeta de adquisición de datos y de procesamiento.
- Ejecutar el software de calibración en la tarjeta de procesamiento.
- Anotar el tiempo realizado para el flujo medido.

Para obtener distintos flujos, variar en el software de procesamiento el voltaje brindado al compresor.

Por cada punto de la recta de calibración, se debe repetir el ensayo al menos 30 veces para obtener una muestra significativa de datos [18].

Por razones prácticas, se realizaron 5 mediciones de distintos flujos, y 30 tomas por flujo como se sugiere.

### 3.4.3 Resultado de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla

Se muestran los datos y la curva de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla obtenida en los ensayos realizados. Las mediciones de tiempo se realizaron para un desplazamiento de volumen de agua de 2.008 cm (2.092 cm. – 4.1 cm.), que representa una variación entre 2.6v y 2.7v del sensor de presión. Se eligió realizar las mediciones en ese rango, ya que, en mediciones preliminares se observó que el flujo es estable. La temperatura ambiental en que se realizaron las pruebas fue de 24.8°C.

Para obtener un punto de la curva de calibración, se promediaron los 30 valores de flujos y voltajes de sensor de flujo obtenidos en los ensayos.

De esta manera se obtuvo los siguientes puntos de la curva de calibración:

Tabla 3-6: Tabla con datos de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla

Voltaje (V)	Sistema de Calibración	Sensor de Flujo - Fabricante
	Flujo (LPM)	Flujo (LPM)
1.403	2.933	2.015
1.332	2.331	1.66
1.22	1.769	1.1
1.053	0.854	0.265
1	0	0

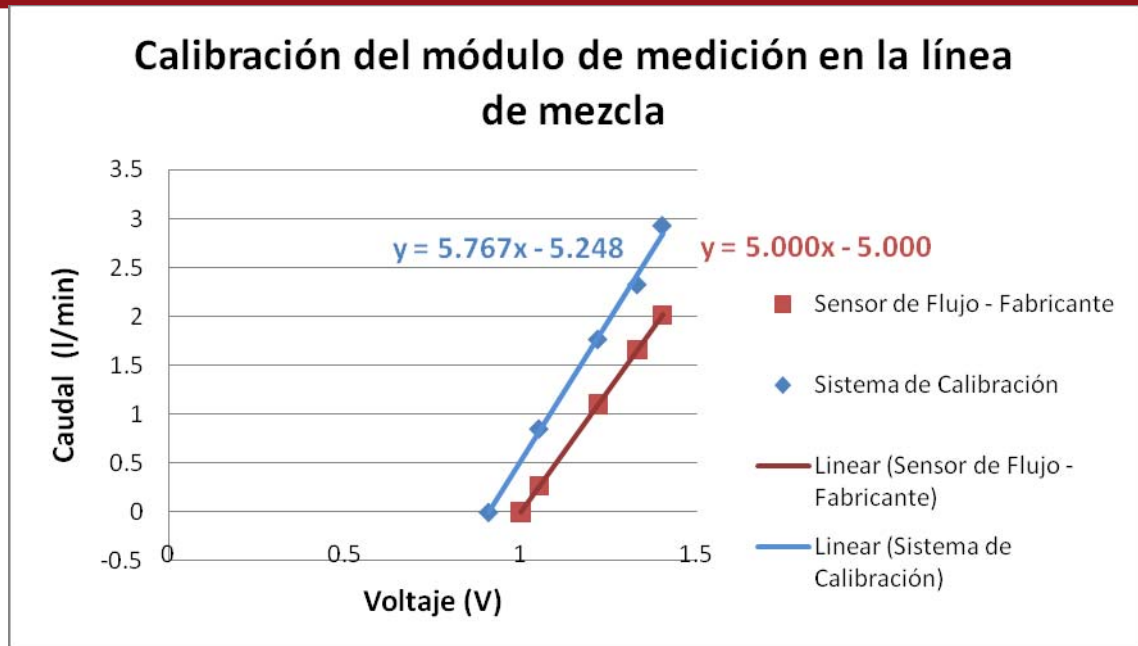


Figura 3-11a: Curva de calibración del módulo de medición en la línea de mezcla

De acuerdo a los datos obtenidos de las mediciones realizadas, se comprobó la linealidad entre el flujo y la variación de presión con respecto al tiempo. Para ello, se ha promediado el número de muestras adquiridas por la tarjeta de adquisición en cada uno de los 30 ensayos por flujo, con lo cual se determinó que el periodo de muestreo es de 20 ms.

Con ello, se ha obtenido la variación de la presión con respecto al tiempo en un mismo intervalo de tiempo (1.98s) por cada flujo.

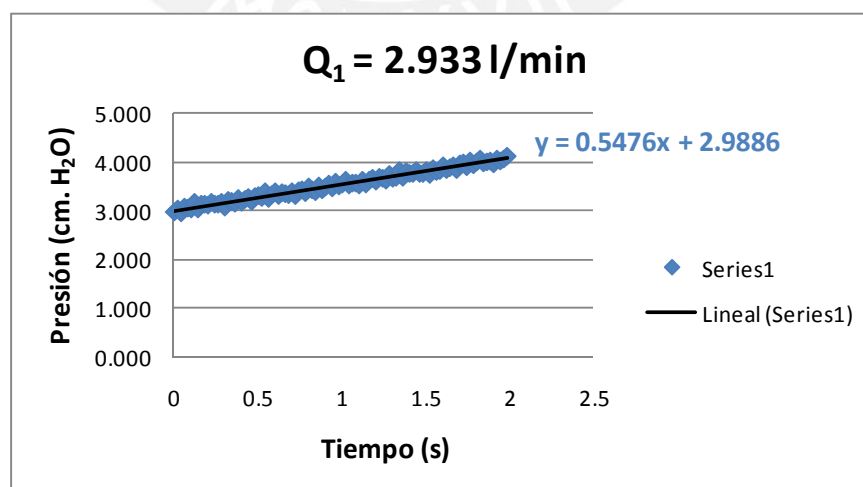


Figura 3-11b: Curva de Presión (cm. H<sub>2</sub>O) vs. Tiempo (s) para un  $Q_1$

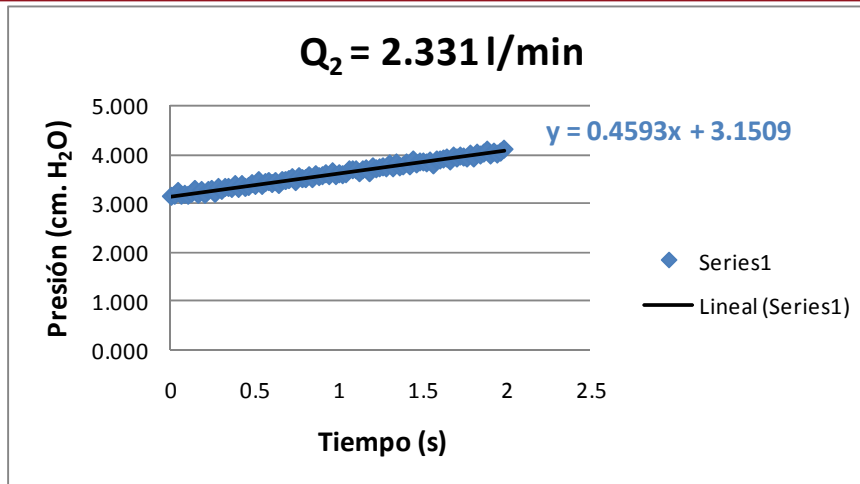


Figura 3-11c: Curva de Presión (cm. H<sub>2</sub>O) vs. Tiempo (s) para un  $Q_2$

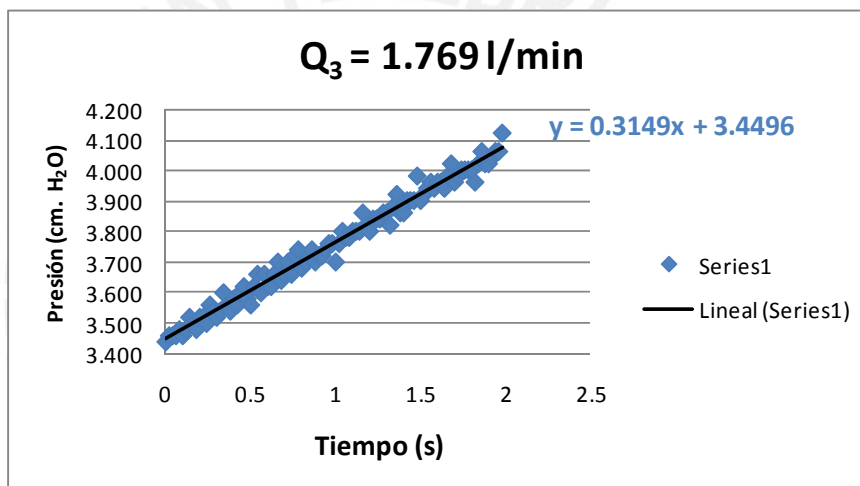


Figura 3-11d: Curva de Presión (cm. H<sub>2</sub>O) vs. Tiempo (s) para un  $Q_3$

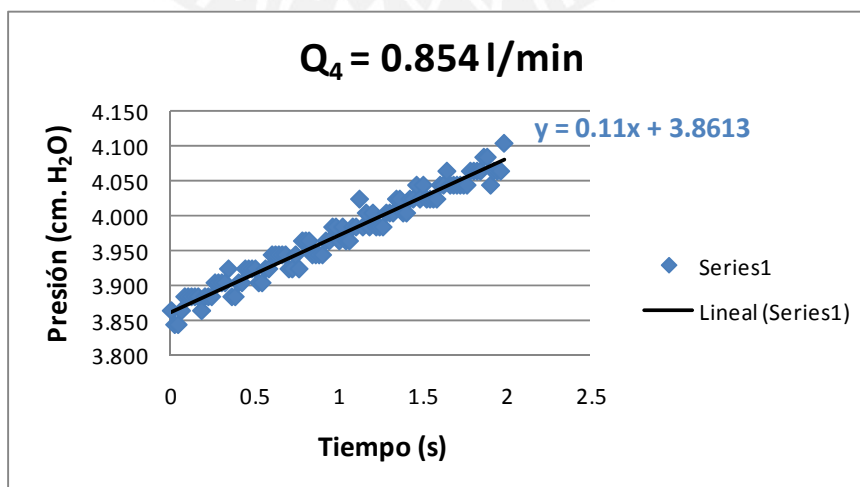


Figura 3-11e: Curva de Presión (cm. H<sub>2</sub>O) vs. Tiempo (s) para un  $Q_4$

Tabla 3-7: Tabla con datos de Flujo (l/min) vs. dP/dt (cm. H<sub>2</sub>O/seg.)

Q (l/min)	dP/dt (cm. H <sub>2</sub> O/seg)
2.933	0.548
2.331	0.459
1.769	0.315
0.854	0.110

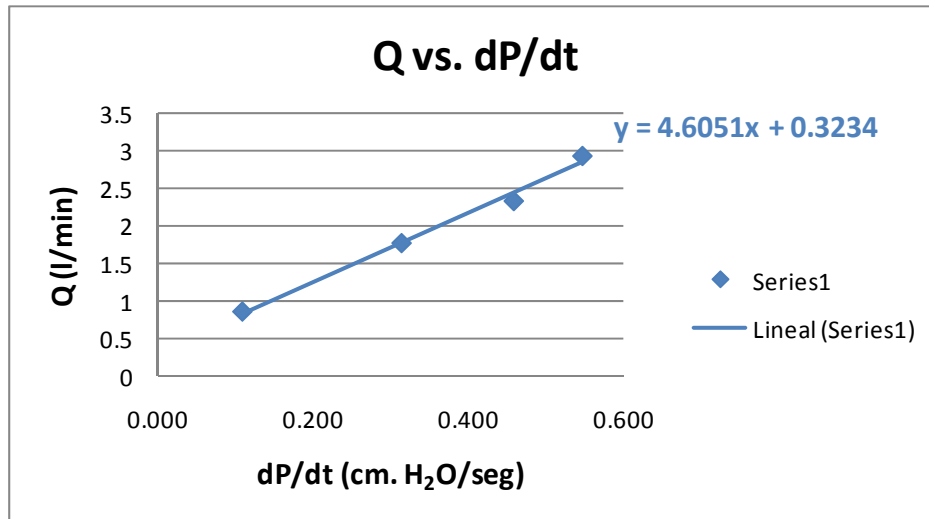


Figura 3-11f: Curva de Flujo (l/min) vs. Variación de la presión con respecto al tiempo (cm. H<sub>2</sub>O/seg)

La ecuación que describe la curva anterior, ratifica el comportamiento lineal entre el flujo y la variación de presión con respecto al tiempo expresado en la Ec. 4.

$$Q = 4.605 \cdot \frac{dP}{dt} + 0.323 \dots\dots\dots(\text{Ec. 6})$$

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS Y RESULTADOS

El resultado obtenido es un módulo de medición de flujo gaseoso para un prototipo de Equipo Neonatal de Cuidados Intensivos, el cual mide el rango de flujo requerido para la línea de oxígeno y la línea de mezcla del sistema.

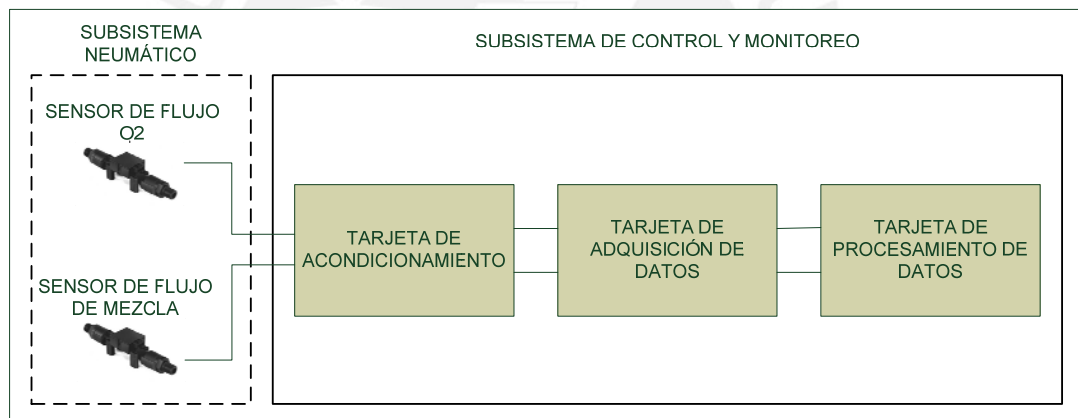


Figura 4-1: Diagrama de bloques del módulo de medición de flujo gaseoso

El rango de medición del módulo de medición de flujo es de 0LPM – 3LPM por cada línea de ingreso de flujo gaseoso.

En la línea de oxígeno, se alcanzó una desviación máxima en el flujo sentido por el módulo de medición de 4.2% en el extremo mayor del rango y 7.5% en el extremo menor, con respecto a los valores sentidos por el fabricante del sensor de flujo O<sub>2</sub>.

De igual forma, en la línea de mezcla, se alcanzó una desviación máxima en el flujo sentido de 10.63% en el extremo mayor del rango y 9% en el extremo menor con



respecto a los valores sensados por el fabricante del sensor de flujo aire-O<sub>2</sub>.



## CONCLUSIONES

- El módulo de medición de flujo gaseoso para un prototipo de Equipo Neonatal de Cuidados Intensivos, ha sido diseñado de acuerdo a los requerimientos iniciales e implementado en el prototipo en desarrollo.
- Se diseñó e implementó un sistema de calibración que permitió obtener las curvas de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno y la línea de mezcla. Las curvas obtenidas presentan pendientes similares con las curvas que otorga el fabricante de los sensores de flujo, con lo que se puede inferir que los valores obtenidos por los sensores en las pruebas, son afectadas por un factor constante, el cual puede ser producto de algunas consideraciones obviadas durante la calibración como la temperatura ambiental, la compresibilidad del agua, dimensiones del sistema de vasos comunicantes.
- Se calibró el módulo de medición de flujo gaseoso implementado, para lo cual se establecieron escenarios y procedimientos de calibración por cada línea de ingreso gaseoso al sistema, demostrando que el módulo de medición y el sistema de calibración son compatible en su conexión.
- Se demostró mediante los datos obtenidos en las pruebas de calibración, que el flujo gaseoso posee un comportamiento lineal en función a la variación de presión en el tiempo.
- Se desarrolló un software de procesamiento para el módulo de medición de flujo gaseoso, el cual, mediante las ecuaciones de las curvas de calibración obtenidas en los ensayos realizados, logra sensar el flujo en cada línea de ingreso gaseoso al sistema.

## RECOMENDACIONES

- Es importante considerar en las curvas de calibración del módulo de medición en la línea de oxígeno y la línea de mezcla, el efecto que genera la compresibilidad del agua durante las pruebas de calibración y la turbulencia que se puede generar en el flujo sentido.
- Para las mediciones de tiempo realizadas, se sugiere utilizar una tarjeta de procesamiento de datos dedicada, con la finalidad de que los tiempos medidos para el desplazamiento del volumen, no se vean afectados por el tiempo que utilice el sistema operativo de la tarjeta en realizar otras tareas.
- Se recomienda utilizar la norma NTP-ISO/IEC17025, titulada Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración, de la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI, para la realización de las pruebas de calibración.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASHBY, Ignacio  
2006 *Sensores para estudio de mecánica ventilatoria*. En: XV SEMINARIO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA. Montevideo, Universidad de la República, Facultad de Medicina e Ingeniería.
- [2] KRASSOW HEIKO, Elmar; Francesca CAMPABADAL SEGURA; Emilio LORA-TAMAYO D OCON  
1999 *Medidor de caudal de elemento estrangulador con microsensor de presión incorporado*. OEPM: P9602679.
- [3] CHIPANA QUISPE, Raúl  
2007 *Desarrollo de un sistema controlador de mezcla de aire y oxígeno para el proyecto CPAP-NEONATAL*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Electrónica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.
- [4] CASTILLÓN, Bruno; Carlos MUGRUZA; Jorge COELLO  
2009 *Neonatal Intensive Care Unit*. FORM PCT/RO/101(July 2009). Lima.
- [5] CASTILLÓN, Bruno  
2009 *Método, sistema y equipo mezclador – Suministro de fluidos*. Dirección de Invenciones y Nuevas Tecnologías - INDECOPI. Lima.
- [6] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION  
1992 *Electricity, Electronics and Telecommunications*. Volumen 2. Amsterdam-New York-Tokyo-Oxford: Elseiver.

- [7] BIBLIOTECA DE ELECTRÓNICA / INFORMÁTICA  
1986 *Diccionario de Electrónica / Informática*. Primera edición. Barcelona: Orbis.
- [8] RONCONI, Adrián  
2005 *Cátedra de Instrumentos y Mediciones*. Quilmes: Universidad Nacional de Quilmes.
- [9] STREETER, Victor; Benjamin WYLIE y Keith BEDFORD  
1988 *Mecánica de fluidos*. Novena edición. Estado de México: Mc Graw Hill.
- [10] CASTILLÓN, Bruno; Eduardo AJITO; José DAVALOS; Edwin AVILA; Arlon CASTILLÓN; Ana Cecilia MORENO; Fredy PILLACA; Jorge COELLO; Matías BARREDA  
2009 *Segundo Informe Técnico Parcial del Proyecto: Equipo Telemédico para Soporte de Vida de Neonatos Críticos - Módulo de Neumática*. Contrato N°20 PIBAP – 2009 FINCYT. Lima.
- [11] CASTELLANOS, Ricardo y Martina ZEGARRA  
2009 *Análisis y requerimientos desde el punto medico para el equipo telemédico para soporte de vida de neonatos críticos*. Lima.
- [12] HONEYWELL  
2003 *Installation Instructions for the AWM5000 Series Microbridge Mass Airflow Sensor, ISSUE 3 PK 88762*. Illinois, USA.
- [13] CASTILLÓN, Bruno; Eduardo AJITO; José DAVALOS; Edwin AVILA; Arlon CASTILLÓN; Ana Cecilia MORENO; Fredy PILLACA; Jorge COELLO; Matías BARREDA  
2009 *Segundo Informe Técnico Parcial del Proyecto: Equipo Telemédico para Soporte de Vida de Neonatos Críticos - Módulo de Acondicionamiento de Señales*. Contrato N°20 PIBAP – 2009 FINCYT. Lima.

- [14] TECHNOLOGIC SYSTEMS  
2003 *TS-ADC16 PC/104 Peripheral for ADC, DAC and Digital I/O.*  
Consulta: 30 de mayo del 2010.  
<<http://www.embeddedarm.com/products/board-detail.php?product=TS-ADC16>>
- [15] TECHNOLOGIC SYSTEMS  
2003 *TS-7350 Linux Computer with FPGA Expansion.* Consulta: 30 de mayo del 2010.  
<<http://www.embeddedarm.com/products/board-detail.php?product=TS-7350>>
- [16] HONEYWELL  
2003 *Installation Instructions for the MICRO SWITCH 40PC Series 1 psi Miniature Signal Conditioned Pressure Sensor, ISSUE 1 PK 80036.* Illinois, USA.
- [17] CASTILLÓN LÉVANO, Bruno  
2006 *Modelo físico de pulmón humano para ensayos de ventilación mecánica.* Tesis para optar el grado académico de Magister en Ingeniería Biomédica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Graduados.
- [18] CÓRDOVA ZAMORA, MANUEL  
2006 *Estadística Aplicada.* Primera edición. Lima: Moshera S.R.L.