



Escuela Superior de Ingenieros  
Universidad de Sevilla

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CÁMARA DE HIPOXIA CRÓNICA**

Proyecto Fin de Carrera

Autor: Antonio Ruiz González  
Tutor: Jorge Chávez Ordáez

Sevilla, Mayo 2004



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, me gustaría darles las gracias a mis padres, los cuales me han apoyado siempre, haciendo mucho más sencillo todo aquello en lo que me he embarcado.

A mis hermanas, que siempre me han dado todo su cariño, no dejándome sólo en ningún momento. Que sepáis que sois las niñas que más quiero.

No me gustaría olvidar a mis amigos: los de la carrera (sin ellos todo hubiera sido más difícil y aburrido) y al de siempre, Justo por aguantarme todas mis manías.

A todos, muchas gracias

# **ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2. SITUACIÓN ACTUAL.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3. OBJETIVO A ALCANZAR.....</b>	<b>11</b>
<b>1.4. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. INTRODUCCIÓN AL CONTROL PID.....</b>	<b>18</b>
<i>2.3.1. TIPOS DE DISEÑOS DE CONTROL.....</i>	<i>21</i>
<i>2.3.2. INTEGRACIÓN DE SISTEMAS.....</i>	<i>21</i>
<i>2.3.3. LA PLANTA.....</i>	<i>22</i>
<i>2.3.4. LOS SENSORES.....</i>	<i>22</i>
<i>2.3.5. LOS ACTUADORES.....</i>	<i>22</i>
<i>2.3.6. LAS COMUNICACIONES.....</i>	<i>22</i>
<i>2.3.7. EL CÓMPUTO.....</i>	<i>23</i>
<i>2.3.8. CONFIGURACIÓN E INTERFACES.....</i>	<i>23</i>
<i>2.3.9. HOMOGENEIDAD.....</i>	<i>23</i>
<b>2.4. MODELOS SEÑALES Y SISTEMAS.....</b>	<b>24</b>
<i>2.4.1. MODELOS EN CONTROL.....</i>	<i>24</i>
<i>2.4.2. EL POR QUÉ DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS EN CONTROL.....</i>	<i>24</i>
<i>2.4.3. COMPLEJIDAD DE MODELOS.....</i>	<i>26</i>
<i>2.4.5. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS.....</i>	<i>26</i>
<i>2.4.6. LINEALIZACIÓN.....</i>	<i>27</i>
<b>2.5. ANALISIS DE SISTEMAS REALIMENTADOS.....</b>	<b>27</b>
<i>2.5.1. ESTRUCTURAS DE REALIMENTACIÓN.....</i>	<i>27</i>
<i>2.5.2. ESTABILIDAD Y RESPUESTA EN FRECUENCIA.....</i>	<i>30</i>

<b>2.6. CONTROL PID CLÁSICO</b> .....	<b>30</b>
2.6.1. <i>INTRODUCCIÓN</i> .....	30
2.6.2. <i>AJUSTE EMPÍRICO DE CONTROLADORES PID</i> .....	32
2.6.3. <i>CONCLUSIONES</i> .....	36
<b>2.7. COMPENSADORES EN ATRASO-ADELANTO</b> .....	<b>37</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>41</b>
<b>3.2. SENSOR DE OXÍGENO</b> .....	<b>42</b>
<b>3.3. SENSOR DE HUMEDAD</b> .....	<b>45</b>
<b>3.4. SENSOR DE TEMPERATURA</b> .....	<b>48</b>
<b>3.5. ELECTROVÁLVULAS</b> .....	<b>49</b>
<b>3.6. ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL</b> .....	<b>52</b>
<b>3.7. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS</b> .....	<b>56</b>
3.7.1. <i>SOFTWARE DE CONTROL DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS</i> .....	61
<b>3.8. COMPRESOR DE AIRE Y BOMBONA DE NITRÓGENO</b> .....	<b>64</b>
<b>3.9. BOMBA EXTRACTORA</b> .....	<b>66</b>
<b>3.10. CIRCUITO DE LIMPIEZA DEL AIRE</b> .....	<b>68</b>
<b>3.11. CÁMARA DE METACRILATO</b> .....	<b>69</b>
<b>4. SOFTWARE INVOLUCRADO</b> .....	<b>71</b>
<b>4.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>71</b>
<b>4.2. SISTEMA OPERATIVO</b> .....	<b>71</b>
4.2.1. <i>DISCUSIÓN SOBRE LA NECESIDAD O NO DE UN SISTEMA OPERATIVO EN TIEMPO REAL</i> .....	71
4.2.2. <i>WINDOWS 2000 PROFESSIONAL</i> .....	75
<b>4.3. HERRAMIENTAS DE DESARROLLO</b> .....	<b>76</b>
4.3.1. <i>LABVIEW</i> .....	76
4.3.1.1. <i>DEFINICIÓN DE LABVIEW</i> .....	77
4.3.1.2. <i>CONCEPTO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL</i> .....	79
4.3.1.3. <i>ENTORNO DE TRABAJO DE LABVIEW</i> .....	85
4.3.1.4. <i>PRINCIPALES MOTIVOS DE LA ELECCIÓN DE LABVIEW</i> .....	86
<b>4.4. FUNCIONES IMPLEMENTADAS</b> .....	<b>88</b>
4.4.1. <i>ADQUISICIÓN DE DATOS</i> .....	88
4.4.2. <i>TRATAMIENTO DE DATOS</i> .....	93

4.4.3. <i>ALMACENAMIENTO DE DATOS</i> .....	100
<b>5. PRESUPUESTO</b> .....	<b>102</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y AMPLIACIONES FUTURAS</b> .....	<b>103</b>
6.1. <b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>103</b>
6.2. <b>AMPLIACIONES FUTURAS</b> .....	<b>104</b>
6.2.1. <i>MONITORIZACIÓN Y CONTROL DE ATE MÓVIL VÍA INTRANET- INTERNET</i> .....	104
6.2.1. <i>MEJORA DEL CIRCUITO DE LIMPIEZA DEL AIRE</i> .....	111

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

**Figura 1.1.** *Actual cámara de hipoxia*

**Figura 2.3.** *Sistema de control de un grado de libertad*

**Figura 2.4.** *Respuesta a lazo cerrado de la planta con PID ajustado mediante el método de oscilación de Ziegler-Nichols*

**Figura 2.5.** *Respuesta al escalón (curva de reacción) en lazo abierto de la planta*

**Figura 3.1.** *Esquema del sensor de oxígeno*

**Figura 3.2.** *Sensor de oxígeno*

**Figura 3.3.** *Sensor de Humedad*

**Figura 3.4.** *Medida de humedad con el HM 1500*

**Figura 3.5.** *Estructura interna del HM 1500*

**Figura 3.6.** *Sensor de temperatura*

**Figura 3.7.** *Etapa de acondicionamiento de señal*

**Figura 3.8.** *Esquema de la etapa de acondicionamiento*

**Figura 3.9.** *layout*

**Figura 3.10.** *Placa de la Etapa de Acondicionamiento*

**Figura 3.11.** *Bloque conector*

**Figura 3.12.** *Esquema de Adquisición de datos*

**Figura 3.13.** *Amplificador de ganancia programable*

**Figura 3.14.** *Conexión al amplificador*

**Figura 3.15.** *Tarjeta PCI 6024-E*

**Figura 3.16.** *Max mostrando los dispositivos existentes*

**Figura 3.17.** *Max mostrando el software de National Instruments existente*

**Figura 3.18.** *Compresor de aire*

**Figura 3.19.** *Bombona de Nitrógeno*

**Figura 3.20.** *Bomba extractora*

**Figura 3.21.** *Esquema de la circulación del aire*

**Figura 3.22.** *Circuito de limpieza del aire*

**Figura 3.23.** *Dimensiones de la cámara*

**Figura 3.24.** *Cámara de metacrilato*

**Figura 4.1.** *Ejemplo Labview. Torque vs Tiempo. Necesidad de un sistema en tiempo real.*

**Figura 4.2.** *Panel de control y diagrama de bloques*

**Figura 4.3.** *Menús de ventana*

**Figura 4.4.** *De Izquierda a Derecha: Paletas de Herramientas, Controles y Funciones*

**Figura 4.5.** *Diagrama de flujo para la adquisición de datos*

**Figura 4.6.** *Función AI CONFIG*

**Figura 4.7.** *Función Route Signal*

**Figura 4.8.** *Función AI START*

**Figura 4.9.** *Función AI S-SCAN*

**Figura 4.10.** *Función AI CLEAR*

**Figura 4.11.** *Función ERROR*

**Figura 4.12.** *Diagrama de flujo para el tratamiento de datos*

**Figura 4.13.** *Función Index Array*

**Figura 4.14.** *Interfaz para la monitorización de las señales*

**Figura 4.15.** *Simple PID*

**Figura 4.16.** *Diagrama de bloques del control PID*

**Figura 4.17.** *Código para la componente proporcional*

**Figura 4.18.** *Código para la componente integral*

**Figura 4.19.** *Código para la componente derivativa*

**Figura 4.20.** *Código para el almacenamiento de datos*

**Figura 6.1.** *Generación de informes en Word, Excel o en páginas HTML*

**Figura 6.2.** *Ejemplo de Envío de correo electrónico por alarma*

**Figura 6.3.** *Ejemplo de Control Remoto vía web*

**Figura 6.4.** *Volcado de VI a página web*

## **ÍNDICE DE TABLAS**

**Tabla 3.1.** *Referencias de salida del sensor de humedad*

**Tabla 4.1.** *Diferencias instrumento virtual vs tradicional*

**Tabla 4.2.** *Ejemplo Multímetro Digital Tradicional vs Multímetro Virtual*

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

### 1. INTRODUCCIÓN

En primer lugar me gustaría destacar las razones por las que elegí este proyecto. Todos sabemos que el campo de trabajo de un Ingeniero de Telecomunicación es inmensamente amplio, y por esto, la gama de Proyectos Fin de Carrera no lo es menos.

Hoy en día el trabajo en grupo es algo esencial para el desarrollo de la tecnología, y si, además, los grupos son multidisciplinares, el avance es muy significativo, ya que se unen los conocimientos de una gran diversidad de profesionales.

Esto es lo que se ha conseguido con este proyecto ni más ni menos, ya que se han unificado en un solo trabajo dos grupos de especialistas, cada uno en su terreno, dándome una bonita oportunidad para unir dos ramas las cuales me apasionan, la ingeniería y la medicina.

Por un lado tenemos estudiantes de Ingeniería de Telecomunicación que, a falta del Proyecto Fin de Carrera, ofrecen todos sus conocimientos para resolver los problemas necesarios. Por otro lado, están los investigadores del Laboratorio de Investigaciones Biomédicas del Hospital Universitario “Virgen del Rocío”, a cargo del Dr. José López Barneo, que se encuentran inmersos en

muchos proyectos de investigación entre los que se encuentra el estudio de la hipoxia en los animales superiores, y será en este estudio donde se aplicará el presente Proyecto Fin de Carrera.

Sólo con un equipo de esta índole se consigue resolver un Proyecto de Ingeniería Biomédica, muy difícil de resolver por cualquiera de los grupos por separado, sin que exista esa unión que es imprescindible hoy en día.

### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La atmósfera terrestre consiste en una mezcla de gases formada principalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (26%) así como en menor medida gases inertes, hidrógeno, dióxido de carbono, y vapor de agua. Dentro de estos gases atmosféricos el oxígeno juega un papel primordial en el desarrollo de la vida, de forma que el oxígeno es requerido para la supervivencia de todas las formas de vida superiores. Debido al papel central que ocupa como aceptor final de electrones en la cadena respiratoria mitocondrial, lo que posibilita la síntesis de ATP mediante fosforilación oxidativa.

En las formas de vida mas complejas, como es el caso de los mamíferos, el oxígeno se difunde a la sangre en los pulmones, una vez en al sangre el oxígeno se concentra en los eritrocitos uniéndose a la hemoglobina y de esta forma se distribuye por todo el cuerpo a través del sistema circulatorio.

Debido al papel tan importante que tiene el oxígeno para el mantenimiento de la vida en los organismos superiores, la tensión arterial de oxígeno se mantiene de forma activa en unos límites muy restrictivos (85-95 mm Hg) esto se consigue por una serie de mecanismos adaptativos que se producen tanto a corto como a medio plazo en respuesta a cambios en la disponibilidad o requerimientos de oxígeno.

Un ejemplo clásico de respuesta inmediata a cambios en los niveles de oxígeno, es el reflejo que se produce en la tasa respiratoria debido a la hipoxia. Este reflejo se produce debido a la activación de los quimiorreceptores arteriales de oxígeno localizados estratégicamente cerca de la arteria carótida. En estos órganos disminuciones en la tensión arterial de oxígeno producen una señal que mediante descargas a un nervio aferente es trasladada a los centros respiratorios cerebrales, produciéndose a partir de aquí una serie de respuestas que llevan entre otros mecanismos a un aumento de en la tasa respiratoria. Además una hipoxia aguda localizada produce vasorelajación en la mayoría de arterias sistémicas, en una respuesta que pretende incrementar la liberación de oxígeno a los tejidos sometidos a hipoxia, mientras que este mismo estímulo produce una constricción de las arterias pulmonares, por tanto dirigiendo la sangre hacia una mejor ventilación alveolar.

Además de estas rápidas adaptaciones funcionales a la hipoxia, alteraciones en los niveles de oxígeno también producen cambios a largo plazo en la expresión de genes que codifican tanto hormonas, enzimas como factores de crecimiento.

De este modo aunque las respuestas fisiológicas que regulan el mantenimiento de la tensión arterial de oxígeno son bien conocidas, muchos de los mecanismos celulares y moleculares que se producen en estas respuestas están aún por conocer.

Esto hace que para el estudio de estos mecanismos sea de vital importancia el desarrollo de una cámara de hipoxia ya que permitirá la experimentación en modelos animales, y facilitaría por tanto el estudio de los mecanismos celulares y moleculares que sostienen las distintas repuestas fisiológicas a la hipoxia.

## 1.2. SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente para estudiar la hipoxia se utiliza una pequeña cámara hecha por los investigadores (ver figura 1.1). Esta cámara no es adecuada para el estudio de la hipoxia por diversos motivos que a continuación enumeraremos:

- Dimensiones: las dimensiones de la caja sólo posibilita el estudio en un animal por lo que son necesarios muchos experimentos para tener un número aceptable de animales con los que poder estudiar los efectos de esta falta de oxígeno.
- La falta de limpieza de la atmósfera en el interior de la cámara, esto hace que los experimentos únicamente puedan tener una duración limitada. Esto es un gran problema puesto que como apuntábamos anteriormente existen efectos que aparecen tras una larga exposición a la hipoxia lo cual impide un estudio riguroso y completo de todos los efectos que puede llegar a causar la hipoxia.
- Otro gran problema es que la concentración de los gases existentes en esta cámara es una mezcla que ya viene hecha, con unos porcentajes ya establecidos, con lo que todos los experimentos está supeditados a ser realizados con estas concentraciones reduciendo de esta manera las posibilidades del investigador. Para poder estudiar la hipoxia con otras concentraciones de oxígeno sería necesario utilizar una bombona diferente, con esa mezcla buscada, teniendo de que tener una bombona para cada mezcla deseada.

En la figura 1.1 aparece esta cámara que acabamos de comentar.



**Figura 1.1:** Actual cámara de hipoxia

### 1.3. OBJETIVO A ALCANZAR

El objetivo a alcanzar con este Proyecto Fin de Carrera es la realización de una cámara de Hipoxia que solucione todas las carencias que anteriormente hemos citado, además de aportar gracias a las nuevas tecnologías otras ventajas que ayudarán al personal investigador a mejorar sus estudios. A continuación explicaremos como mejorar los puntos débiles de la actual cámara y cuales son las nuevas ventajas que aporta este Proyecto Fin de Carrera.

- Las dimensiones de la caja (80x70x80 cm), son suficientes para meter hasta cuatro jaulas, con tres ratas cada una, por lo que se podrían estudiar en un mismo experimento un total de doce ratas, siendo este número más que suficiente para conseguir todas las muestras necesarias para un estudio bastante amplio.
- La atmósfera del interior de la cámara estará en todo momento limpia, puesto que para ello se a implementado un circuito de extracción y limpieza del aire, para ello se utilizará una bomba extractora que succiona el aire del interior y los hace pasar antes de que vuelva a la cámara por el interior de tres filtros los cuales limpiarán este aire viciado de humedad, amoniaco y dióxido de carbono Gracias a esta limpieza continua del interior de la cámara la atmósfera existente en ella no

impedirá la larga duración de los experimentos pudiendo de esta manera comprobar todos los efectos de la hipoxia, a corto y largo plazo.

- Se ha implementado un control PID el cual nos permite establecer la concentración de oxígeno deseado en cada momento, esta concentración se realizará jugando con la mezcla de nitrógeno y aire del exterior hasta alcanzar el nivel deseado. Esto es muy importante puesto que aumenta las posibilidades actuales de realizar experimentos con distintas concentraciones con sólo indicar la concentración de oxígeno deseada. De esta manera ya únicamente sería necesario una bombona de nitrógeno para conseguir cualquier mezcla y no una bombona particular para cada mezcla.
- Este sistema aportará otras ventajas como el almacenamiento de datos de forma digital, ya que al comenzar cada experimentos de puede elegir o crear un archivo en Excel en el cual se irán introduciendo tanto los datos de todas las variables que se estudian como el oxígeno, humedad y temperatura como la hora y fecha en la que ocurrió. Estas muestras se irán introduciendo cada cierto tiempo, el cual puede ser seleccionado por el investigador.

#### 1.4. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

El documento se estructura en diversos capítulos para su mejor comprensión.

- **Capítulo 1. Introducción.** En este capítulo se pretende dar una visión general del proyecto y los motivos que han llevado a su ejecución.
- **Capítulo 2. Descripción del Sistema.** Se hace una descripción general del sistema, en esta descripción se hace tanto del hardware como del software empleado. También se dan unas nociones del control PID, ya que es una de las partes más importantes de este proyecto.
- **Capítulo 3. Descripción del Hardware.** En este capítulo se da una descripción de los dispositivos utilizados en el proyecto, además de la utilidad de cada uno de ellos. Explicando también la interconexión entre ellos.

- **Capítulo 4. Software involucrado.** En este capítulo se especifica el sistema operativo empleado en la ATE Móvil, el software para el desarrollo del presente proyecto que se ha usado (Labview), así como una explicación de los drivers de control.
  
- **Capítulo 5. Presupuesto.** En este capítulo se presenta un pequeño presupuesto necesario para la realización del proyecto.
  
- **Capítulo 6. Conclusiones y ampliaciones futuras.** Finalmente se exponen las conclusiones y aquellas ampliaciones que pueden ser acometidas en un futuro para mejorar la Cámara de Hipoxia.
  
- **Anexos.** En el CD que se aporta junto a este proyecto se localiza la diversa información técnica empleada para su desempeño en formato electrónico, contenida en el directorio de Anexos.

# Capítulo 2

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

### 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

#### 2.1. INTRODUCCIÓN

Se pueden distinguir en el diseño del proyecto dos partes claramente diferenciadas:

**Hardware:** En esta parte para una mejor concepción del funcionamiento del proyecto dividiremos el hardware en tres grupos, que serán la adquisición de datos, la actuación del sistema sobre la cámara y el circuito de limpieza del aire que se encuentra en el interior de la cámara:

- Para la adquisición de datos utilizamos tres sensores, uno para conocer la temperatura, otro para la humedad, y el último para conocer la concentración de oxígeno. Estos datos llegan a una placa que nos sirve tanto para recogerlos, como para alimentar a los sensores, además de ayudarnos a pasar esta información a la tarjeta de adquisición de datos y aislarla de las posibles subidas de tensión.
- Una vez que los datos que nos llegan de los sensores a través de esta placa de acondicionamiento de la señal son tratados por el software, donde se dictamina si es necesario o no la actuación de unas electroválvulas que controlan la salida de nitrógeno o aire, según sea la necesidad en cada ocasión.

- Para controlar la atmósfera existente en la cámara de Hipoxia se utiliza un circuito de limpieza que estará funcionando en todo momento. Este circuito se basa en una bomba de vacío que extrae el aire desde dentro de la cámara y lo hace pasar por tres filtros, los cuales limpian este aire antes de volver a entrar en la cámara de humedad, dióxido de carbono y amoníaco, gracias a los productos que contienen.

**Software:** En LABVIEW se programa la aplicación software en la que se puede visualizar el valor y trayectoria de las señales de temperatura, humedad y oxígeno.

En esta aplicación además de la monitorización de las señales anteriormente mencionadas también se puede establecer la concentración de oxígeno deseado, gracias al control PID que se ha implementado en la aplicación.

Todos los datos que han ido ocurriendo durante el experimento son guardados según el tiempo entre muestras que haya sido elegido por el usuario de la aplicación en un archivo de Excel con lo que el investigador ya tendría los datos en formato digital para su posterior tratamiento.

## **2.2. FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA**

Para la descripción del funcionamiento del sistema vamos a empezar con la recogida de datos, seguida del estudio de estos y por último como se actúa sobre el sistema.

La recogida de datos se realiza a través de los sensores, consiguiendo de esta manera las medidas existentes de humedad, oxígeno y temperatura.

Estos sensores están alimentados por una fuente de alimentación de 12 V y 1,5 A, la cual es compartida para el accionamiento de las electroválvulas.

Gracias a la etapa de acondicionamiento de señal esta alimentación de 12 V pasa a 5 V, tensión necesaria para los sensores gracias a un regulador de tensión (LM7805). La salida de estos sensores llega al bloque conector de National Instruments que hace llegar estos datos a la tarjeta de adquisición de datos (PCI 6024-E, National Instruments), en la tarjeta ya se han definido los canales virtuales los cuales se relacionan con el pincado del bloque conector que nos ayudarán a tratar esta información procedente de los sensores.

En la creación de estos canales virtuales ya se ha tenido en cuenta las características de estas señales, clasificándolos como entrada analógica con un rango de  $\pm 5V$ , y especificando el modo de conexión, RSE, para ello hemos tenido en cuenta las características del medio, de la fuente y la longitud del cable.

Una vez que la información de los sensores llega a la tarjeta de adquisición de datos tiene un tratamiento específico. Las medidas de humedad y temperatura son tratadas con el único objeto de ser almacenadas y monitorizadas. Las medidas de oxígeno sin embargo tienen un mayor tratamiento puesto que además del almacenamiento y monitorización también se utilizará para el control PID implementado. En el capítulo cuatro, trataremos más a fondo cómo se realiza esta tarea.

Este control PID, junto con el nivel de oxígeno deseado hará que se produzca o no una acción sobre el sistema. Si tras su estudio el nivel está por debajo del que el control estima necesario se producirá una inyección de aire del exterior y si por el contrario el nivel está por encima se inyectará nitrógeno.

Las acciones sobre las electroválvulas que controlan el nitrógeno o aire, se realizan a través de dos canales virtuales, configurados como salidas digitales. Estos canales están unidos a la etapa de acondicionamiento de señal por medio del bloque conector. Estos canales al ser activados alimentan la base del transistor (BC556) activando a su vez el relé que actúa como interruptor para el paso de la alimentación a cada una de las electroválvulas, tanto la que controla la inyección de nitrógeno como la inyección de aire desde el compresor.

Al margen de todo lo comentado anteriormente está el circuito de limpieza del aire. Este circuito está compuesto por la bomba extractora y tres filtros. Este circuito está funcionando en todo momento. La bomba extrae un caudal de aire, el cual pasa por los filtros limpiándolo de humedad, amonio y dióxido de carbono.

En la siguiente figura se muestra la Cámara de Hipoxia Crónica completa.



**Figura 2.1:** *Cámara de Hipoxia completa*

### **2.3. INTRODUCCIÓN AL CONTROL PID**

Puesto que el objetivo principal es el mantener la concentración de oxígeno en el interior de la cámara y esto se consigue gracias al control PID implementado, nos disponemos a explicar las características de este tipo de controles.

El control por realimentación tiene una larga historia que comenzó con el deseo primordial de los seres humanos de dominar los materiales y las fuerzas de la naturaleza en su provecho.

Los primeros ejemplos de dispositivos de control incluyen los sistemas de regulación de relojes y los mecanismos para mantener los molinos de viento orientados en la dirección del viento.

Las plantas industriales modernas poseen sofisticados sistemas de control que son cruciales para su operación correcta.

La ingeniería de control ha tenido un enorme impacto en nuestra sociedad.

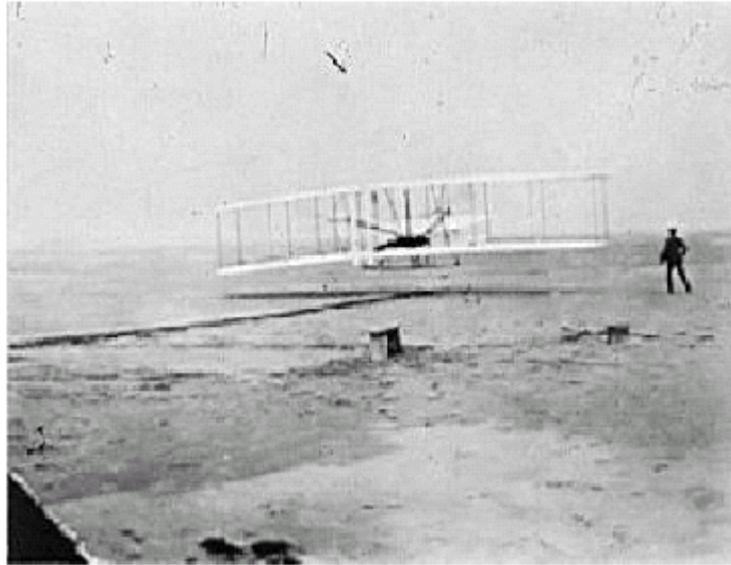
Åström cita a Wilbur Wright (1901):

« *Sabemos como construir aeroplanos.*»

«Sabemos como construir motores.»

« El no saber cómo **equilibrar** y **maniobrar** aún desafía a los estudiantes del problema de vuelo.»

«Cuando esta única dificultad sea resuelta, la era del vuelo habrá arribado, ya que todas las demás dificultades son de menor importancia.»



**Figura 2.2:** *Hermanos Wright*

Los hermanos Wright resolvieron cómo **equilibrar** y **maniobrar** y volaron el Kitty Hawk el 17 de diciembre de 1903.

De hecho, ninguno de los sistemas modernos (aviones, trenes de alta velocidad, reproductores de CD, etc.) podrían operar sin la ayuda de sofisticados sistemas de control.

### ¿Dónde se usa control?

- Procesos industriales
- Transporte
- Autos
- Trenes
- Barcos
- Aviones
- Naves espaciales
- Generación de energía
- Transmisión de energía
- Mecatrónica
- Instrumentación

- Artefactos electrónicos
- Economía
- Medicina
- Un mejor control es la clave tecnológica para lograr productos de mayor calidad
- Minimización de desperdicios
- Protección del medio ambiente
- Mayor rendimiento de la capacidad instalada
- Mayores márgenes de seguridad

### *2.3.1. Tipos de diseños de control*

El diseño de sistemas de control también toma distintas formas, cada una de las cuales requiere enfoques ligeramente distintos.

Los ingenieros de control deben resolver problemas en las distintas etapas de la «vida» de un sistema de control, por ejemplo:

- Diseño inicial «de base»
- Construcción y ajuste
- Refinamiento y actualización
- Estudio «forense»

### *2.3.2. Integración de sistemas*

El éxito en ingeniería de control se apoya en tener un enfoque «global» de los problemas. Algunos de los elementos a tener en cuenta:

- la planta, el proceso a ser controlado
- los objetivos
- los sensores
- los actuadores
- las comunicaciones
- el cómputo
- la configuración e interfaces

- los algoritmos
- las perturbaciones e incertidumbres

### *2.3.3. La planta*

La estructura física de la planta es una parte intrínseca del problema de control.

Por lo tanto, los ingenieros de control deben estar familiarizados con la «física» del proceso bajo estudio. Esto incluye conocimientos básicos de balances de energía, balances de masas, y flujo de materiales en el sistema.

### *2.3.4. Los sensores*

Los sensores son los ojos del sistema de control, que le permiten ver qué está pasando. De hecho, algo que suele decirse en control es:

Si se puede medir, se puede controlar.

### *2.3.5. Los actuadores*

Una vez ubicados los sensores para informar el estado de un proceso, sigue determinar la forma de actuar sobre el sistema para hacerlo ir del estado actual al estado deseado.

Un problema de control industrial típicamente involucrará varios actuadores distintos (ejemplo: tren de laminación).

### *2.3.6. Las comunicaciones*

La interconexión de sensores y actuadores requieren el uso de sistemas de comunicación.

Una planta típica va a tener miles de señales diferentes que se verán ser transmitidas largas distancias. Así, el diseño de sistemas de comunicación y sus protocolos asociados es un aspecto cada vez más importante de la ingeniería de control moderna.

#### *2.3.7. El cómputo*

En los sistemas de control modernos la interconexión de sensores y actuadores se hace invariablemente a través de una computadora de algún tipo. Por lo tanto, los aspectos computacionales son necesariamente una parte del diseño general.

Los sistemas de control actuales usan una gama de dispositivos de cómputo, que incluyen DCS (sistemas de control distribuido), PLC (controladores lógicos programables), PC (computadoras personales), etc.

#### *2.3.8. Configuración e interfaces*

La cuestión de qué se conecta con qué no es trivial en el diseño de un sistema de control. Podría pensarse que lo mejor siempre sería llevar todas las señales a un punto central, de manera que cada acción de control esté basada en información completa (el denominado control centralizado).

Sin embargo, esta raramente es la mejor solución en la práctica. De hecho, hay muy buenas razones por las que no conviene llevar todas las señales a un punto común. Algunas obvias son complejidad, costos, limitaciones en tiempo de cómputo, mantenimiento, confiabilidad, etc.

#### *2.3.9. Homogeneidad*

Finalmente, todos los sistemas interconectados, incluyendo sistemas de control, sólo pueden ser tan buenos como el elemento más débil.

Las consecuencias de este hecho en el diseño de control son que debe tenderse a que todos los componentes (planta, sensores, actuadores, comunicaciones, cómputo, interfaces, algoritmos, etc.) sean de una precisión y calidad aproximadamente comparable.

## **2.4. MODELOS SEÑALES Y SISTEMAS**

### *2.4.1. Modelos en control*

El diseño de un sistema de control típicamente requiere un delicado balance entre limitaciones fundamentales y soluciones de compromiso. Para poder lograr este balance, es necesario tener una comprensión cabal del proceso en cuestión.

Esta comprensión usualmente se captura en un modelo matemático. Teniendo un modelo, es posible predecir el impacto de distintos diseños posibles sin comprometer al sistema real. En este capítulo vamos a discutir brevemente cómo elegir el nivel adecuado de complejidad de un modelo; linealizar modelos no lineales; obtener experimentalmente modelos elementales.

### *2.4.2. El por qué de los modelos matemáticos en control*

El control del nivel en este proceso sólo tiene tres formas de manipular la válvula: abrirla, cerrarla, o dejarla como está.

Sin embargo, hemos visto también que el modo preciso en que estas acciones se llevan a cabo involucran compromisos delicados entre objetivos de diseño contrapuestos, tales como la velocidad de respuesta y la sensibilidad a ruido de medición.

Para muchos problemas es posible encontrar un controlador adecuado simplemente mediante prueba y error. Sin embargo, en muchos casos el enfoque de prueba y error no es factible, debido a complejidad, eficiencia, costo, o aún seguridad.

En particular, es imposible mediante prueba y error responder a cuestiones como las siguientes antes de hacer pruebas:

- Dada una planta y un objetivo deseado de operación, ¿qué controlador puede alcanzarlo? ¿Se puede alcanzar el objetivo propuesto con algún controlador?
- Dados un controlador y una planta, ¿cómo operarán en lazo cerrado?
- ¿Por qué un lazo dado opera de la forma que lo hace?
- ¿Puede mejorarse? ¿Con qué controlador?
- ¿Cómo cambiaría la operación si se cambiaran los parámetros del sistema, o si las perturbaciones fueran mayores, o si fallara algún sensor?

Para responder sistemáticamente a estas cuestiones necesitamos modelos matemáticos.

Los modelos matemáticos nos brindan los medios de capturar el comportamiento de un sistema sujeto a condiciones iniciales, entradas de control y perturbaciones mediante un conjunto de ecuaciones matemáticas.

La importancia de los modelos matemáticos radica en que pueden ser simulados en situaciones hipotéticas, ensayados en estados que serían peligrosos en el sistema real, y usados como base para sintetizar controladores.

### 2.4.3. Complejidad de modelos

Al construir un modelo es importante tener en cuenta que todo proceso real es complejo, por lo que cualquier intento de construir una descripción exacta de la planta es usualmente una meta imposible de alcanzar.

Afortunadamente, la realimentación usualmente nos permite tener éxito aún con modelos muy simples, siempre y cuando éstos capturen las características esenciales del problema.

Es importante destacar que los modelos empleados para control usualmente difieren de los utilizados, por ejemplo, para diseño del proceso.

Los sistemas reales pueden ser arbitrariamente complejos, por lo que todo modelo deberá ser necesariamente una descripción aproximada del proceso. Introducimos tres definiciones para clarificar este enunciado.

- Modelo nominal. Es una descripción aproximada de la planta que se usa para el diseño de control.
- Modelo de calibración. Es una descripción más exhaustiva de la planta. Incluye características no usadas en el diseño de control pero que tienen directa influencia en el desempeño alcanzado.
- Error de modelo. Es la diferencia entre el modelo nominal y el modelo de calibración. Los detalles de este error podrían ser desconocidos, pero podrían disponerse de cotas aproximadas.

### 2.4.5. Construcción de modelos

Dos enfoques diferenciados para la construcción de modelos:

**Experimental.** Se basa en pensar al sistema como una caja negra. En este enfoque se postula una determinada estructura de modelo, a la que se varían los parámetros, bien vía prueba y error, o bien vía algún algoritmo, hasta

que la el comportamiento dinámico del modelo se ajusta al observado en la planta mediante ensayos.

**Analítico.** Se basa en el uso de leyes físicas (conservación de masa, energía y momento). El modelo se obtiene a partir de las leyes fenomenológicas básicas que determinan las relaciones entre todas las señales del sistema.

En la práctica es común combinar ambos enfoques.

#### *2.4.6. Linealización*

Aunque casi todo sistema real tiene características no lineales, muchos sistemas pueden describirse razonablemente por modelos lineales, al menos dentro de ciertos rangos de operación.

Como normalmente un sistema de control opera en las cercanías de un equilibrio, se hace una linealización alrededor de este equilibrio. El resultado es un modelo lineal, mucho más simple, pero adecuado para el diseño de control. Para un mismo sistema no lineal, la linealización alrededor de distintos puntos de equilibrio dará, en general, distintos modelos linealizados.

## **2.5. ANALISIS DE SISTEMAS REALIMENTADOS**

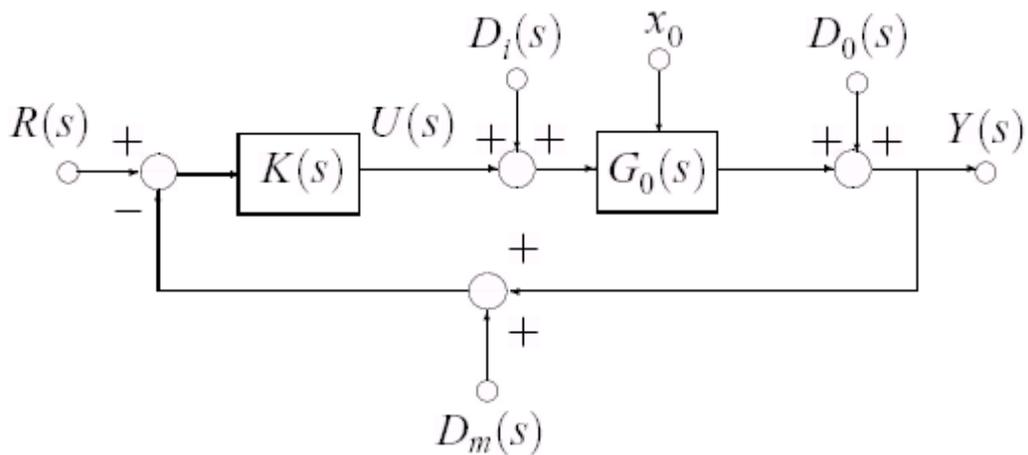
### *2.5.1. Estructuras de realimentación*

La realimentación puede tener muchas propiedades deseables, tales como la capacidad de reducir el efecto de perturbaciones, disminuir la sensibilidad a errores de modelado, o estabilizar un sistema inestable.

Sin embargo, es posible también con realimentación mal aplicada inestabilizar un sistema previamente estable, incorporar oscilaciones en una respuesta previamente suave, o generar alta sensibilidad a ruido de medición.

Comenzamos el análisis de sistemas en realimentación con la estructura de control SISO de la Figura 2.3, llamada de un grado de libertad, pues hay sólo una transferencia modificable para alcanzar los objetivos deseados: la del controlador  $K(s)$ .

Inicialmente analizaremos el lazo nominal, o sea, el formado con el modelo nominal de la planta  $G_0(s)$ . Más tarde veremos el efecto de considerar errores de modelado.



**Figura 2.3.** Sistema de control de un grado de libertad

Usamos funciones de transferencia y transformadas de Laplace para describir las relaciones entre las señales en el lazo: la entrada de referencia  $R(s)$ , las perturbaciones  $D_i(s)$ ;  $D_o(s)$ ;  $D_m(s)$ , el estado inicial de la planta  $x_0$ , la salida  $Y(s)$  y el control  $U(s)$ .

En particular,  $K(s)$  y  $G_0(s)$  representan las funciones transferencia del controlador y el modelo nominal de la planta, que pueden representarse en forma racional en la forma

$$K(s) = \frac{P(s)}{L(s)}, \quad G_0(s) = \frac{B_0(s)}{A_0(s)}.$$

Tomamos como salidas de interés en el lazo la salida perturbada de la planta,  $Y(s)$ , y la señal de control  $U(s)$ , que se relacionan a las entradas a través de las ecuaciones

$$U(s) = \frac{K(s)}{1 + G_0(s)K(s)} \left[ R(s) - D_m(s) - G_0(s)D_i(s) - \frac{f(s, x_0)}{A_0(s)} \right]$$

$$Y(s) = \frac{1}{1 + G_0(s)K(s)} \left[ G_0(s)K(s) (R(s) - D_m(s)) + D_o(s) + G_0(s)D_i(s) - \frac{f(s, x_0)}{A_0(s)} \right]$$

### Estabilidad de lazo cerrado en base al Polinomio Característico

**Lazo nominal** es el resultante de conectar un controlador al modelo nominal de la planta.

**Estabilidad interna.** Decimos que el lazo nominal es *internamente estable* si las funciones transferencia son estables.

Esta definición es equivalente a pedir que todas las señales en el lazo sean acotadas para cada conjunto de entradas  $r(t)$ ;  $d_i(t)$ ;  $d_o(t)$  y  $dm(t)$  acotadas.

**Teorema. [Estabilidad interna nominal]** *El lazo cerrado es internamente estable si y sólo si todas las raíces de la ecuación característica a lazo cerrado tienen parte real negativa.*

La idea de estabilidad interna implica más que la estabilidad de la referencia a la salida. Además se requiere que no haya cancelaciones de polos inestables entre planta y controlador.

La ecuación característica es de la forma  $p(s) = 0$ , donde  $p(s)$  es el **polinomio característico** del lazo cerrado.

### *2.5.2. Estabilidad y respuesta en frecuencia*

Una herramienta clásica y durable para determinar la estabilidad de un lazo de realimentación es el **criterio de estabilidad de Nyquist**. En el criterio de Nyquist, la estabilidad del sistema a lazo cerrado se determina a partir de la respuesta en frecuencia del sistema a lazo abierto,  $G_o(s)K(s)$ , que se grafica en un **diagrama polar**.

## **2.6. CONTROL PID CLÁSICO**

### *2.6.1. Introducción*

Examinamos una particular estructura de control que es casi universalmente utilizada en la industria.

Se trata de la familia de controladores de estructura fija llamada familia de controladores PID.

Estos controladores han mostrado ser robustos y extremadamente beneficiosos en el control de muchas aplicaciones de importancia en la industria.

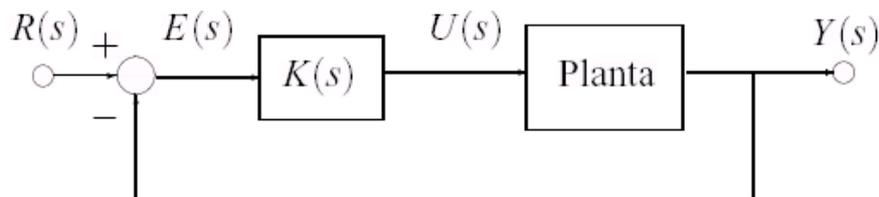
PID significa Proporcional, Integral y Derivativo.

Históricamente, ya las primeras estructuras de control usaban las ideas del control PID. Sin embargo, no fue hasta el trabajo de Minorsky de 1922, sobre conducción de barcos, que el control PID cobró verdadera importancia teórica.

Hoy en día, a pesar de la abundancia de sofisticadas herramientas y métodos avanzados de control, el controlador PID es aún el más ampliamente utilizado en la industria moderna, controlando más del 95 % de los procesos industriales en lazo cerrado.

### Estructura PID

Consideramos el lazo básico de control SISO



Las formas estándar de controladores PID:

Proporcional

$$K_P(s) = K_p$$

Proporcional e Integral

$$K_{PI}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Proporcional y Derivativo

$$K_{PD} = K_p \left( 1 + \frac{T_d s}{\tau_d s + 1} \right)$$

Proporcional, Integral y Derivativo

$$K_{PID}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_r s} + \frac{T_d s}{\tau_d s + 1} \right)$$

Alternativamente, tenemos la forma serie

$$K_{\text{serie}}(s) = K_s \left( 1 + \frac{I_s}{s} \right) \left( 1 + \frac{D_s s}{\gamma_s D_s s + 1} \right),$$

y la forma paralelo

$$K_{\text{paralelo}}(s) = K_p + \frac{I_p}{s} + \frac{D_p s}{\gamma_p D_p s + 1}.$$

### 2.6.2. Ajuste empírico de controladores PID

Debido a su difundido uso en la práctica, presentamos a continuación varios métodos de ajuste empírico de controladores PID, basados en mediciones realizadas sobre la planta real.

Estos métodos, referidos como **clásicos**, comenzaron a usarse alrededor de 1950.

Los métodos clásicos de ajuste que presentaremos son

- El método de oscilación de Ziegler-Nichols
- El método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols

- El método de la curva de reacción de Cohen-Coon

### **Método de oscilación de Ziegler-Nichols**

Este método es válido sólo para plantas estables a lazo abierto.

El procedimiento es el siguiente:

1. Aplicar a la planta sólo control proporcional con ganancia  $K_p$  pequeña.
2. Aumentar el valor de  $K_p$  hasta que el lazo comience a oscilar. La oscilación debe ser lineal y debe detectarse en la salida del controlador ( $u(t)$ ).
3. Registrar la ganancia crítica  $K_p = K_c$  y el período de oscilación  $P_c$  de  $u(t)$ , a la salida del controlador.
4. Ajustar los parámetros del controlador PID

Es importante saber cuál es la estructura (estándar, serie o paralelo) del PID al que se aplica el ajuste propuesto por Ziegler y Nichols. Existe cierta controversia respecto a cuál fue la estructura originalmente usada por Ziegler y Nichols; las reglas dadas aquí se proponen para la estructura estándar.

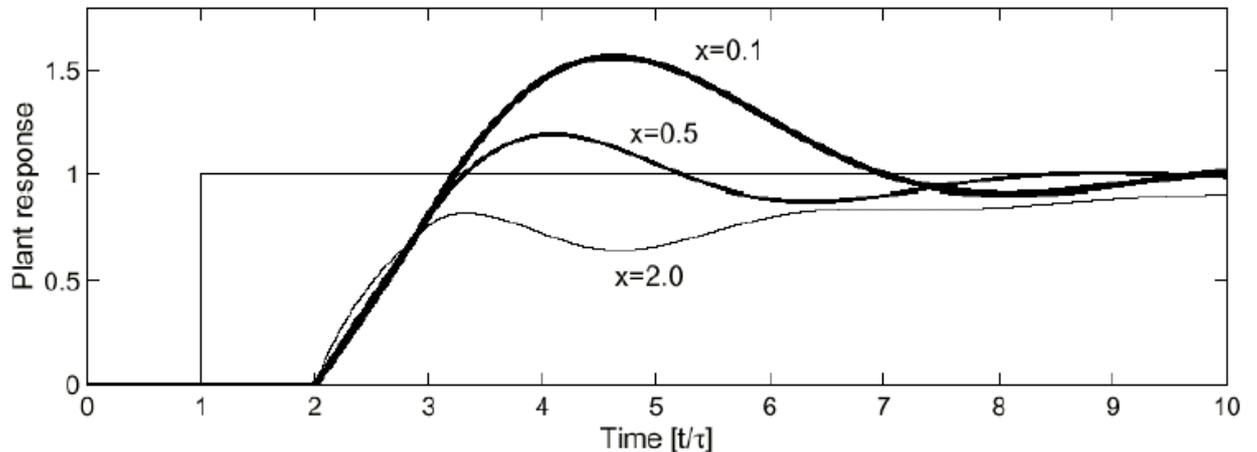
### **Desempeño con el método de oscilación de Z-N**

Notar que el modelo intrínsecamente obtenido en el experimento es sólo **un punto de la respuesta en frecuencia**, que corresponde a fase  $-180^\circ$  y magnitud  $K_c^{-1}$ , dado que el diagrama de Nyquist cruza el punto  $(-1; 0)$  cuando  $K_p = K_c$ .

Para analizar el efecto del ajuste de control proporcionado por el método de oscilación de Ziegler-Nichols consideremos una planta general con función transferencia

$$G_0(s) = \frac{k_0 e^{-s\tau_0}}{\gamma_0 s + 1}; \quad \gamma_0 > 0.$$

La Figura 2.4 muestra la respuesta del lazo cerrado con un controlador PID ajustado mediante el método de oscilación de Ziegler-Nichols para distintos valores de  $x = t_0 = g_0$ . El eje de tiempos se representa normalizado en unidades de  $t = t_0$ .



**Figura 2.4.** Respuesta a lazo cerrado de la planta con PID ajustado mediante el método de oscilación de Ziegler-Nichols

Vemos que el ajuste es muy sensible al cociente  $t_0 = g_0$ . Otra limitación es que se requiere forzar en la planta una oscilación que puede ser peligrosa o inconveniente en muchos casos.

### Método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols

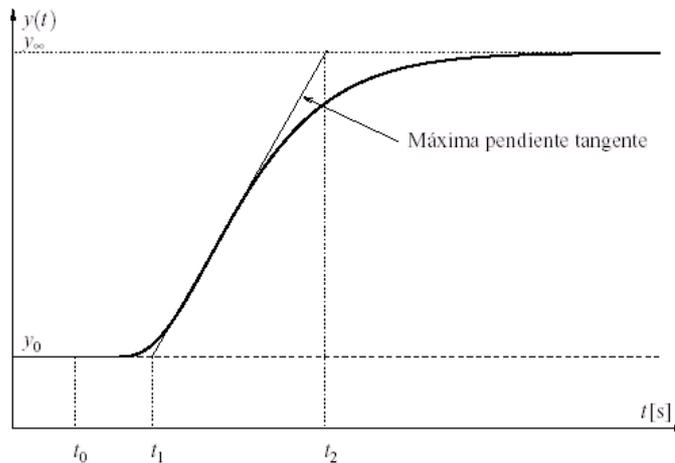
Una versión linealizada cuantitativa de este modelo puede obtenerse mediante un experimento a lazo abierto con el siguiente procedimiento:

1. Llevar manualmente la planta a lazo abierto a un punto de operación normal manipulando  $u(t)$ . Supongamos que la planta se estabiliza en  $y(t) = y_0$  para  $u(t) = u_0$ .
2. En un instante inicial  $t_0$  aplicar un cambio escalón en la entrada, de  $u_0$  a  $\infty$ , el salto debe estar entre un 10 a 20% del valor nominal.

3. Registrar la respuesta de la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación. La Figura 2.5 muestra una curva típica.

4. Calcular los parámetros del modelo de las fórmulas

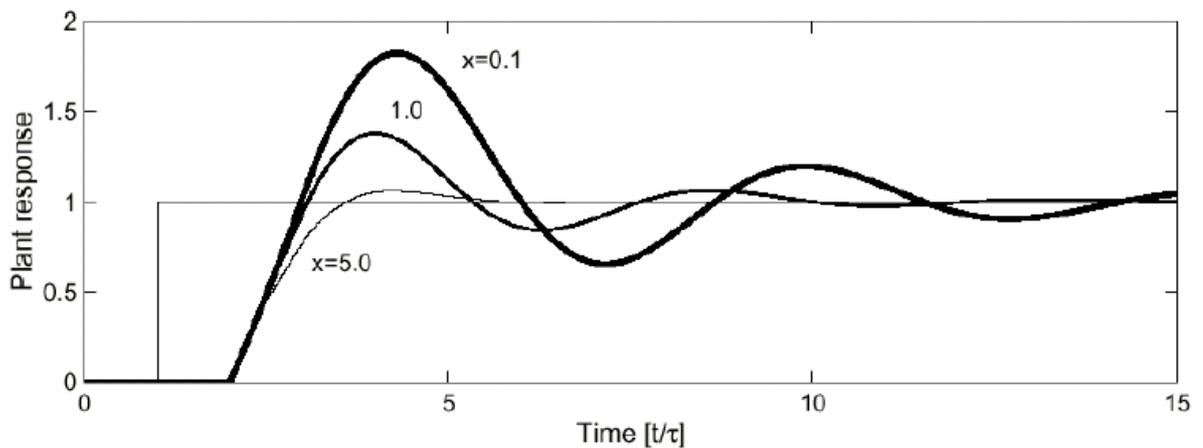
$$k_0 = \frac{y_\infty - y_0}{u_\infty - u_0}, \quad \tau_0 = t_1 - t_0, \quad \gamma_0 = t_2 - t_1.$$



**Figura 2.5.** Respuesta al escalón (curva de reacción) en lazo abierto de la planta

### Desempeño con el método de la CR de C-C

La Figura 2.6 muestra la respuesta de lazo cerrado con el ajuste Cohen-Coon. Aunque aún es sensible a  $x = t/g_0$ , la respuesta es mucho más homogénea que con el ajuste Ziegler-Nichols.



**Figura 2.6:** *Respuesta a lazo cerrado de la planta con PID ajustado de la curva de reacción vía Cohen-Coon*

### 2.6.3. Conclusiones

Los controladores PID se usan ampliamente en control industrial.

Desde una perspectiva moderna, un controlador PID es simplemente **un controlador de segundo orden con integración**. Históricamente, sin embargo, los controladores PID se ajustaban en términos de sus componentes **P, I y D**.

La estructura PID ha mostrado empíricamente ofrecer suficiente flexibilidad para dar excelentes resultados en muchas aplicaciones.

El término básico en el controlador PID es el proporcional **P**, que origina una actuación de control correctiva proporcional al error.

El término integral **I** brinda una corrección proporcional a la integral del error. Esta acción tiene la ventaja de asegurar que en última instancia se aplicará suficiente acción de control para reducir el error de regulación a cero. Sin embargo, la acción integral también tiene un efecto desestabilizador debido al corrimiento de fase agregado.

El término derivativo **D** da propiedades predictivas a la actuación, generando una acción de control proporcional a la velocidad de cambio del error. Tiende a dar más estabilidad al sistema pero suele generar grandes valores en la señal de control.

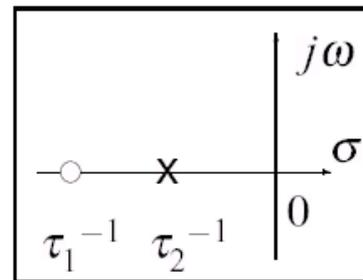
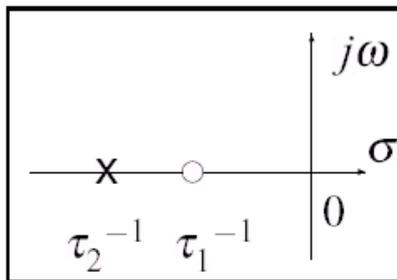
Varios métodos empíricos pueden usarse para determinar los parámetros de un PID para una dada aplicación. Sin embargo, **el ajuste obtenido debe tomarse como un primer paso** en el proceso de diseño.

Debe prestarse atención al particular tipo de estructura de PID disponible (por ejemplo, estándar, serie o paralelo).

## 2.7. Compensadores en Atraso-Adelanto

Una idea muy cercana a la del control PID es la de compensación en **atraso-adelanto**. La función transferencia de estos compensadores es de la forma

$$K(s) = \frac{\tau_1 s + 1}{\tau_2 s + 1}.$$



Si  $t_1 > t_2$  el compensador es una **red de adelanto**.

Si  $t_1 < t_2$  el compensador es una **red de atraso**.

Las redes de atraso y adelanto permiten modificar localmente la respuesta en frecuencia de la planta, respectivamente agregando o restando fase, dentro del rango de frecuencias comprendido entre el cero y el polo del compensador.

El compensador final en un diseño dado podría construirse como la cascada de varias redes de atraso o adelanto. De esta forma el diseño se subdividía en etapas, en cada una de las cuales se modificaban porciones específicas de la respuesta en frecuencia de la planta.

Estos compensadores eran muy fácilmente ajustados en forma gráfica utilizando los diagramas de Bode o Nyquist.

La red de adelanto **aumenta** la fase del sistema dentro de un rango limitado de frecuencias.

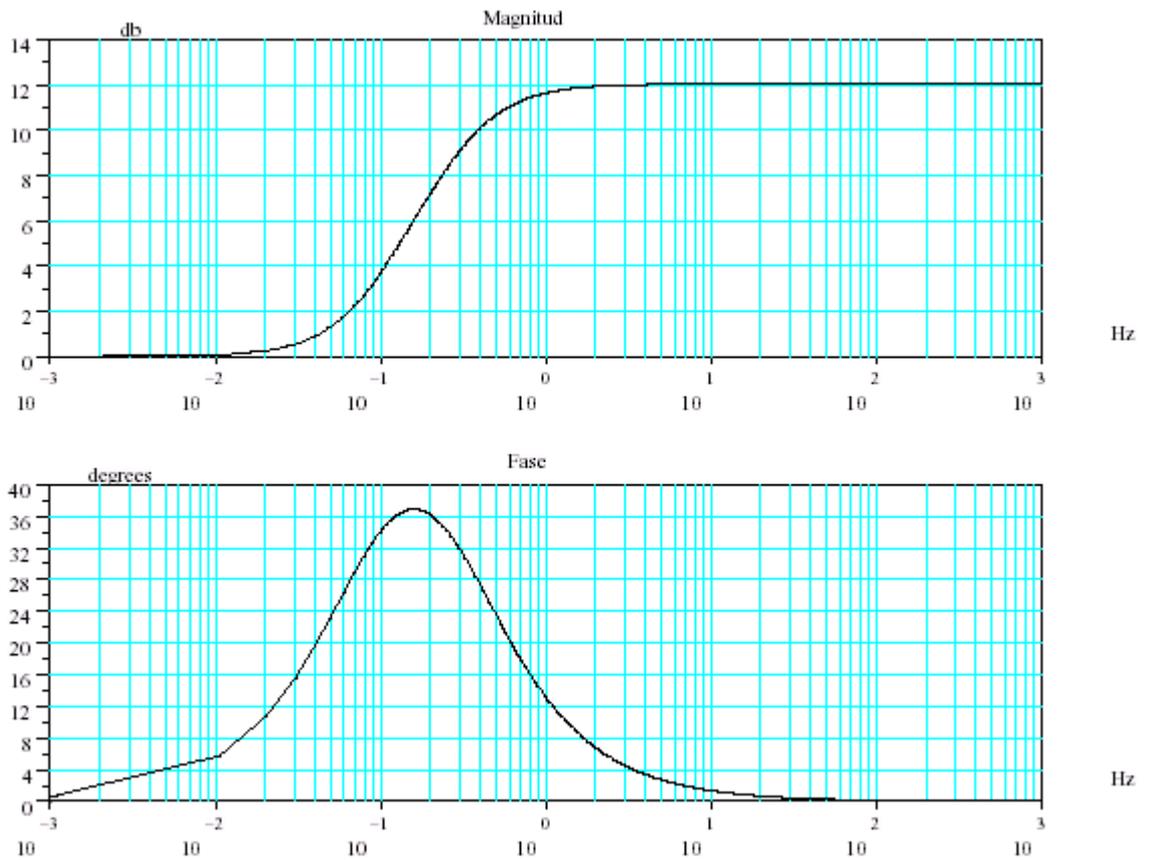


Diagrama de Bode de una red de adelanto.

La red de atraso **disminuye** la fase del sistema dentro de un rango limitado de frecuencias.

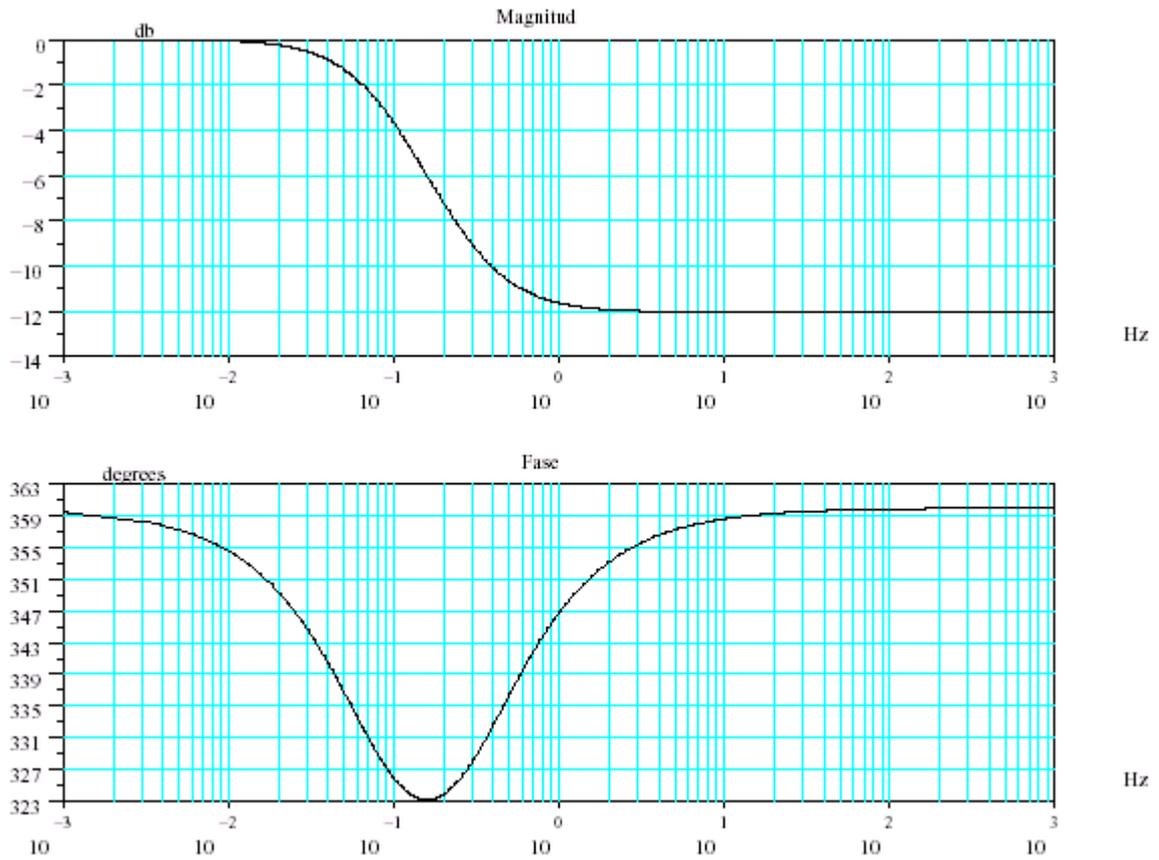
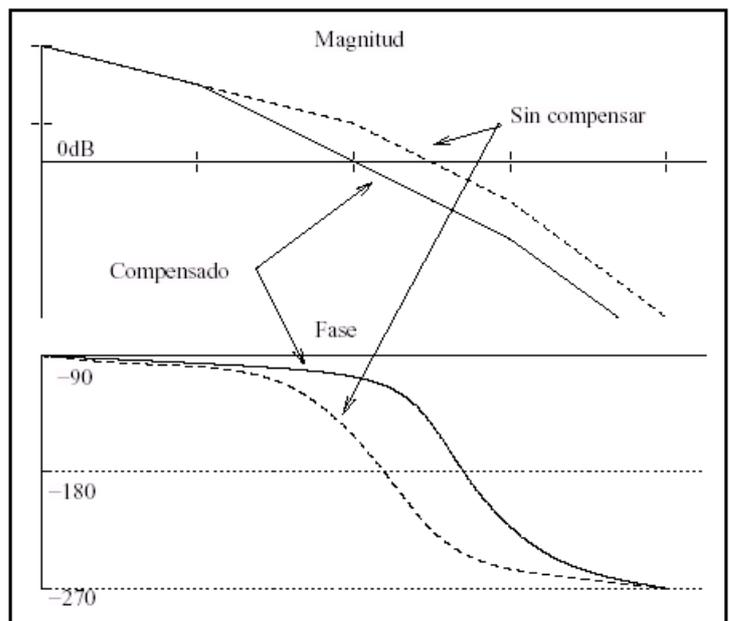
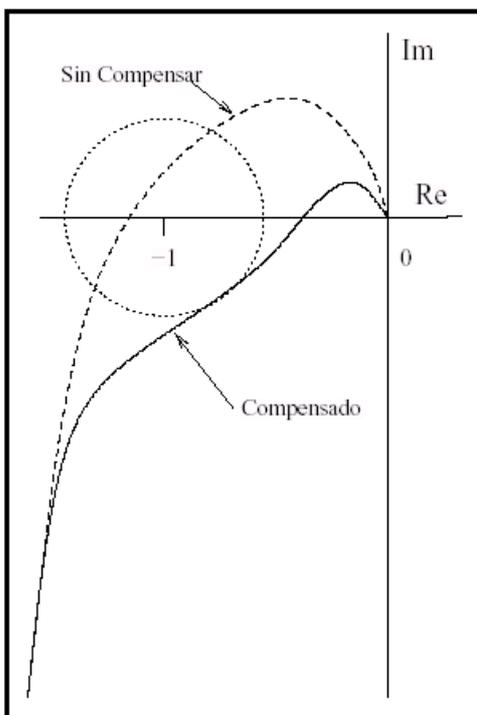


Diagrama de Bode de una red de atraso.



Efecto de compensación por adelanto en una planta de tipo

$$G_0(s) = \frac{1}{s(\alpha_1 s + 1)(\alpha_2 s + 1)}$$

en diagrama de Nyquist (izquierda) y Bode (derecha).

# Capítulo 3

## DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

### 3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se ha descrito el sistema en general y cuál es el objetivo. La componente hardware existente es bastante amplia puesto que este proyecto engloba todas las acciones necesarias para llegar al nivel de oxígeno deseado dentro de la cámara y el posterior mantenimiento de una atmósfera adecuada para la salud de los animales.

El sistema completo, en lo que a hardware se refiere, consta de:

- Sensor de oxígeno.
- Sensor de humedad.
- Sensor de temperatura.
- Electroválvulas.
- Etapa de acondicionamiento de la señal.
- Tarjeta de adquisición de datos.
- Compresor de aire.
- Bomba extractora.
- Cámara de metacrilato.
- Circuito de limpieza del aire.
- PC.

Cada una tiene una función muy clara que seguidamente se reflejan.

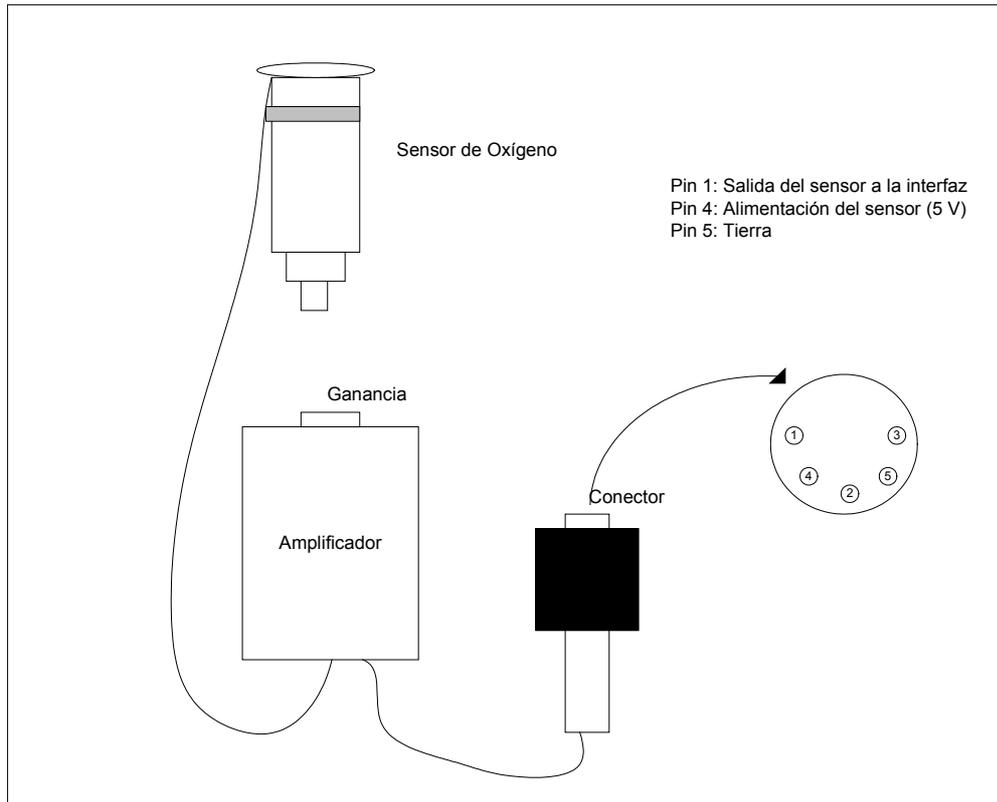
### **3.2. Sensor de Oxígeno**

Este sensor es comercializado por la empresa Qubit Systems. Este sensor nos va permitir conocer la concentración de oxígeno existente en el interior de la cámara en cada momento de forma que podamos realizar las acciones necesarias para establecer la mezcla que deseemos en cada experimento.

La información de este sensor será recogida por la tarjeta de adquisición de datos a través de la etapa de acondicionamiento, para gracias al control PID implementado en el software poder dar las repuestas necesarias en cada momento, permitiendo la entrada de nitrógeno en el caso de que queramos disminuir la concentración de oxígeno o la de aire del exterior en el caso de que la concentración de oxígeno fuera excesiva.

Por lo tanto es este sensor una parte muy importante del sistema ya que es gracias a él con el que podremos ajustar el nivel de hipoxia en los animales que se encuentran en el interior de la cámara.

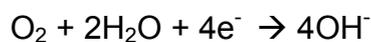
Un esquema de este sensor es el siguiente:



**Figura 3.1.** Esquema del sensor de oxígeno

El sensor S-101 se comporta como una célula galvánica consistiendo en un ánodo de plomo, un cátodo en  $O_2$ , y un ácido electrolítico. También lleva una membrana de teflón permeable al  $O_2$  con un electrodo de oro unido a esta superficie. El oxígeno que se difunde a través de esta membrana es reducido electroquímicamente en el electrodo de oro. Con el sensor se produce la siguiente reacción:

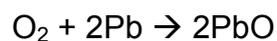
Cátodo:



Ánodo:



Global:



Una resistencia es conectada entre el ánodo y el cátodo, así la batería esta siempre descargada. La corriente que fluye a través de la resistencia es

proporcional a la presión parcial de oxígeno en contacto con la membrana, de forma que para conocer la concentración de oxígeno sólo es necesario determinar esta corriente que fluye por la resistencia.

La calibración es un aspecto muy importante para tener una certeza en nuestros resultados, en este aspecto es donde interviene el amplificador que incorpora este sensor. La caja de amplificación incorpora un control de ganancia. La salida del sensor está entre los 0 y 4.5 V, y el control de ganancia puede ser usado para establecer el máximo voltaje a cualquier concentración entre los 15% y 100%. El 0% reporta unos 0.01 V independientemente de la ganancia, y la salida del sensor es lineal a la concentración existente. Por todo esto la mejor forma de calibración es sabiendo que en la atmósfera hay una concentración de un 20.9% de oxígeno hacemos que en esta situación la salida del sensor sea la máxima de forma que con una fácil ecuación lineal podamos saber la concentración existente en cada momento.

Algunas características importantes:

➤ Rango de detección	0 - 100%
➤ Tiempo de respuesta (90%)	12 Segundos
➤ Tiempo de vida	5 años
➤ Rango de temperatura	5 – 40 °C
➤ Rango de presión	0.5 – 1.5 atm
➤ Especificaciones	0 – 5 V
➤ Alimentación	5 V
➤ Peso	125 g



**Figura 3.2.** *Sensor de oxígeno*

### **3.3. SENSOR DE HUMEDAD**

Es comercializado por la empresa *Humirel*. Este sensor nos va permitir controlar la humedad existente dentro de la cámara de metacrilato, algo muy importante puesto que los experimentos a realizar pueden durar largos periodos de tiempo.

Si no tuviésemos en cuenta la humedad de la cámara esta podría ser muy elevada, ya que la propia respiración y efluvios de las ratas harían que la humedad aumentase mucho, causando graves problemas físicos a las ratas.

La elección de este sensor de humedad y no otro ha sido basada tras un estudio del conjunto de elementos que componen la máquina, intentando que

las características de todos fueran las más parecidas entre sí para facilitar de este modo la integración en el conjunto además de reunir todas las características necesarias par conseguir el objetivo deseado.

Las características principales del sensor son:

- Pequeño tamaño.
- No se afecta por la inmersión en agua.
- Fácil integrabilidad.
- Alta fiabilidad
- Baja dependencia ante la temperatura.
- Rápida respuesta en el tiempo.
- Alta resistencia a productos químicos.
- Recuperación inmediata tras largos periodos en fase de saturación.
- Voltaje de salida de 1 a 4 voltios mientras exista un rango de 1 a 100% RH alimentado con 5 voltios de corriente continua.

Condiciones de medida:

- HM 1500 está preparado para realizar medidas entre el 15 y el 95% RH.
- La salida de este rango de medidas no afecta a la fiabilidad de sus características.



**Figura 3.3.** *Sensor de Humedad*

La ecuación que nos relaciona la humedad existente con la respuesta en voltios que nos da el sensor es:  $V_{out} = 9E^{-4}RH^3 - 1.3E^{-1}RH^2 + 30.815RH + 1030$

TABLA DE REFERENCIA DE SALIDAS

RH (%)	V <sub>out</sub> (mV)	RH (%)	V <sub>out</sub> (mV)
10	1325	55	2480
15	1465	60	2605
20	1600	65	2730
25	1735	70	2860
30	1860	75	2990
35	1990	80	3125
40	2110	85	3260
45	2235	90	3405
50	2360	95	3555

Tabla 3.1. Referencias de salida del sensor de humedad

Típica medida de humedad con el HM 1500

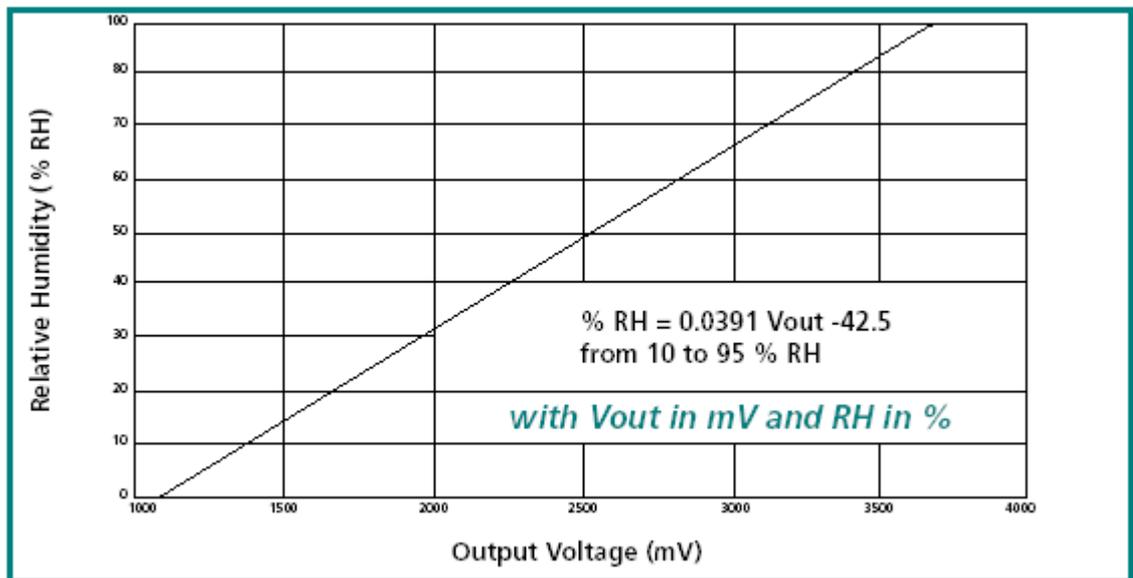


Figura 3.4. Medida de humedad con el HM 1500

Estructura interna del HM 1500

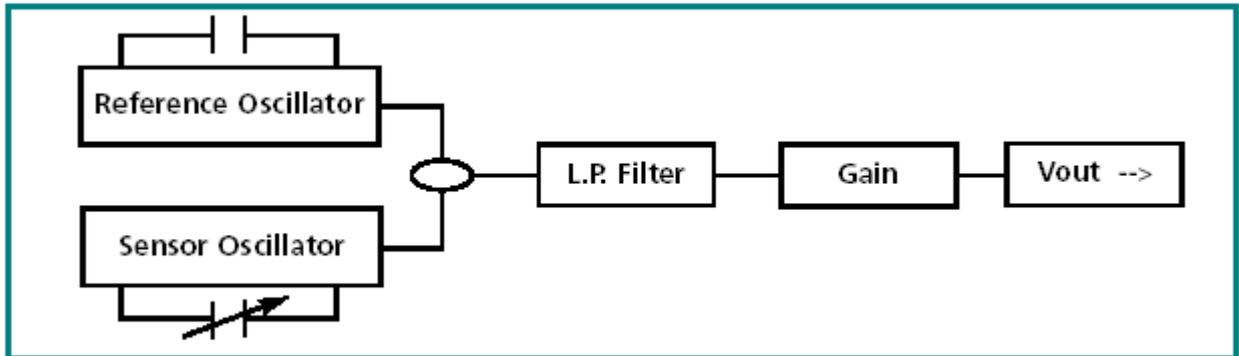


Figura 3.5. Estructura interna del HM 1500

### 3.4. SENSOR DE TEMPERATURA

Una de las medidas a realizar es la temperatura existente en la cámara ya que los animales deben permanecer en ella durante muchas horas, e incluso días y debido a su respiración, temperatura corporal y sus excrementos la temperatura podría llegar a ser un factor decisivo en el experimento, es por eso que gracias a este sensor podremos monitorizar la temperatura, y los investigadores poder de esta forma regularla, para que sea admisible.

Tras un estudio de los distintos sensores de temperatura existentes en el mercado, en el que hemos estudiado el rango de temperaturas, exactitud y tiempo de vida nos hemos decidido por este sensor, cuyas características son:

- La temperatura en grados centígrados corresponde con el voltaje de salida más 10.
- Rango de temperatura de 0 – 50 °C
- Vin 12 V cc
- Salida analógica de 0 a 5 voltios
- Consumo MAX: 10 mA
- Medidas reducidas: 53mm x 44mm x 22mm



**Figura 3.6.** *Sensor de temperatura*

### 3.5. ELECTROVÁLVULAS

En este proyecto serán necesarias dos electroválvulas para poder controlar el paso tanto del nitrógeno procedente de la bombona como el aire procedente del compresor.

Aunque las válvulas son dispositivos relativamente sencillos y poco complicados, hay unos cuantos principios que hay que tener en cuenta a fin de asegurarse de que la válvula sea la adecuada para un sistema determinado. A continuación, se especifican los criterios más importantes para:

- La elección entre válvulas de solenoide y válvulas de accionamiento neumático
- la elección del tamaño y el tipo de válvula correctos y, de ser necesario, de bobina

La elección entre válvulas de solenoide y válvulas de accionamiento neumático:

Las válvulas de solenoide ofrecen una solución sencilla para el control y la regulación de líquidos y gases. Son particularmente indicadas para:

- Medios con algunas partículas de suciedad

- Volúmenes de caudal moderados
- Presiones diferenciales moderadas

Las válvulas de accionamiento neumático se utilizan en situaciones especiales. Generalmente:

- En medios con un alto contenido de partículas de suciedad
- En medios con una viscosidad elevada
- En temperaturas ambiente altas
- Para grandes capacidades
- En ambientes húmedos
- Cuando haya riesgo de explosión debido al uso de válvulas de accionamiento eléctrico

La selección del tamaño y del tipo de válvula y, de ser necesario, de bobina depende de:

- Presión, la presión diferencial en la válvula es crucial en el momento de elegir el tipo y el tamaño de la válvula.
- Volumen de caudal
- Temperatura del medio, aunque se exceda la temperatura máxima especificada, en general las válvulas siguen funcionando pero su vida útil puede verse acortada.
- Características del medio, se debe elegir una válvula con una junta y un cuerpo de válvula de un material adecuado para el medio en el que vaya a ser utilizada.
- Filtro, si el medio contiene partículas de suciedad hay que poner siempre un filtro delante de la válvula.
- Frecuencia y tensión de la bobina
- Temperatura ambiente, si supera los +50 °C hay que utilizar una bobina de tipo 018Z.

Según las características comentadas anteriormente hemos elegido las electroválvulas de la casa Danfoss, del tipo EVI .

Son válvulas de accionamiento directo. Cuyo funcionamiento es el siguiente:

Cuando la alimentación de la bobina está desconectada el resorte se cierra y la presión del medio aprieta el inducido con los platos de válvula contra el orificio de la válvula. Mientras la alimentación de la bobina esté desconectada, la válvula permanecerá cerrada.

Cuando la bobina recibe alimentación, el inducido con los platos de la válvula se levanta y abre el orificio de la válvula. Ahora la válvula está abierta y deja pasar el caudal. Mientras la bobina reciba alimentación, la válvula permanecerá abierta.

Las especificaciones de esta válvula son:

- Conexión de G1/8.
- Se puede trabajar con ella tanto con agua, aire o aceite.
- 15 W c.c.
- Presión diferencial de 0 – 10 bar

Se debe hacer hincapié en que la válvula que controla la salida del aire procedente del compresor tiene 3 vías en lugar de sólo dos esta diferencia es debido a que ya que el compresor está continuamente encendido se piensa que es necesario que también en todo momento el aire esté salido y es por eso que al tener tres vías un se emplea para la entrada del aire y las otras dos para la salida dando paso al aire al espacio libre o al interior de la cámara según sea necesario.

### 3.6. ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

A continuación describimos la etapa de acondicionamiento de señal empleada, debido a la semejanza de las dos salidas digitales tratadas sólo explicaremos un módulo siendo el siguiente exactamente igual. En lo que hemos llamado etapa de acondicionamiento se encuentra tanto la propiamente hecha por nosotros como el bloque conector de la casa Nacional Instruments.



**Figura 3.7.** *Etapa de acondicionamiento de señal*

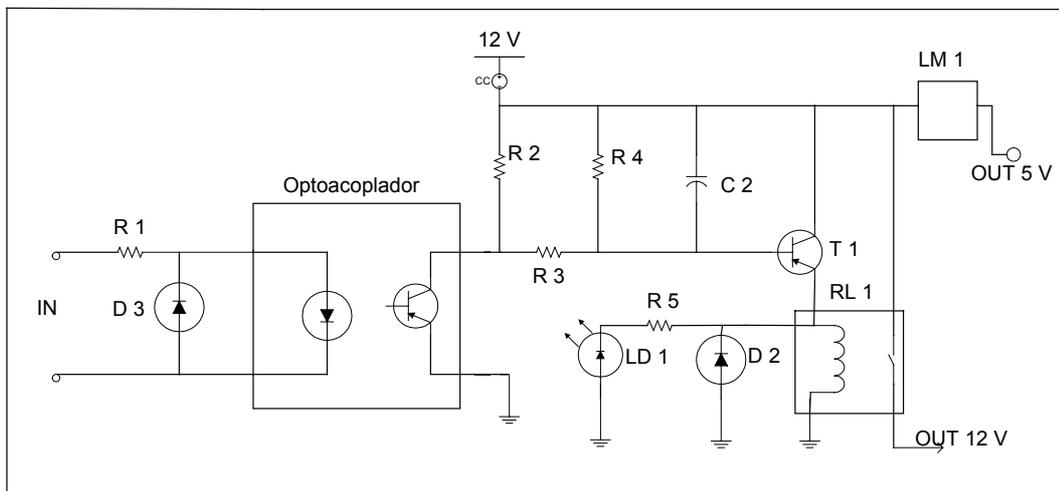
Esta etapa cumple una serie de objetivos, los cuales nos disponemos a describir.

En primer lugar nos servirá para recoger la respuesta de los sensores, puesto que de esta manera la salida de los transductores están conexas con el bloque conector, en el cual se puede ver el pinedado que soporta la

tarjeta, permitiendo de una forma fácil introducir los datos en los canales que configuremos posteriormente en nuestra aplicación.

Otra ventaja que nos permite esta etapa es el acondicionamiento de las señales para atacar a las electroválvulas, esto es muy importante puesto que de esta manera con los canales de salida digital (5 V) de la tarjeta podemos accionar las electroválvulas, las cuales necesitan de otra fuente de alimentación para ello puesto que su consumo es demasiado alto para ser alimentadas con la sola salida de las tarjetas. De esta manera sólo las utilizamos como un interruptor de los relés que serán a través como se accionarán las electroválvulas.

También aprovechamos con esta etapa la fuente de alimentación que tenemos para el accionamiento de las electroválvulas para alimentar a los tres sensores puesto que su consumo es muy bajo, y todos se alimentan con 5 V, para ello se coloca un regulador de voltaje con el que se fijara la alimentación de los sensores.



**Figura 3.8.** Esquema de la etapa de acondicionamiento

Valores de los distintos componentes:

R 1: 1K $\Omega$	D 2: IN4002	Octoacoplador: 4N25
R 2: 100K $\Omega$	D 3: IN4002	LM 1: LM7805

R 3: 15 K $\Omega$

LD 1: LED

RL 1: RELÉ FINGER

R 4: 47 K $\Omega$

C 2: 4.7  $\mu$ F

R 5: 1 K $\Omega$

Descripción del funcionamiento de los distintos dispositivos:

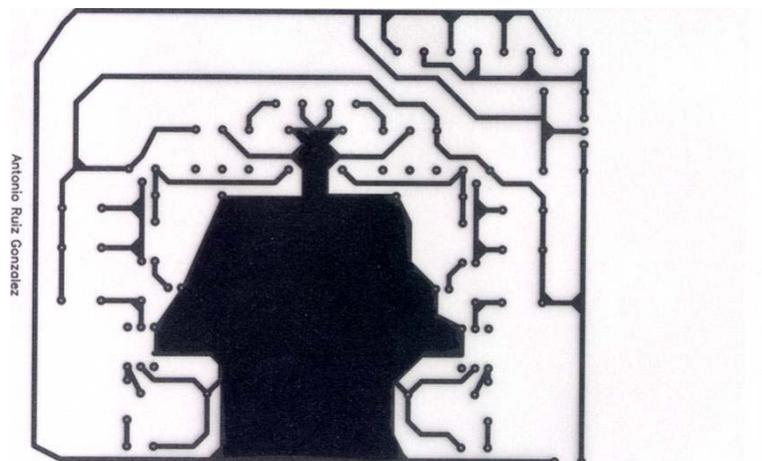
**Octoacoplador**, dispositivo que nos permite separar la etapa de acondicionamiento con la tarjeta de adquisición de datos.

**RL 1**, microrelé de la casa finger conmuta con 5 V, hace las funciones como interruptor ante la apertura o cierre de la electroválvula, que es accionada por la salida del transistor que a su vez permite el paso al alimentar la base a través de la salida del octoacoplador.

**LM 1**, es un regulador de voltaje el cual nos transforma los 12 V que nos da la fuente de alimentación externa a 5 V los cuales son necesarios para la alimentación de los sensores.

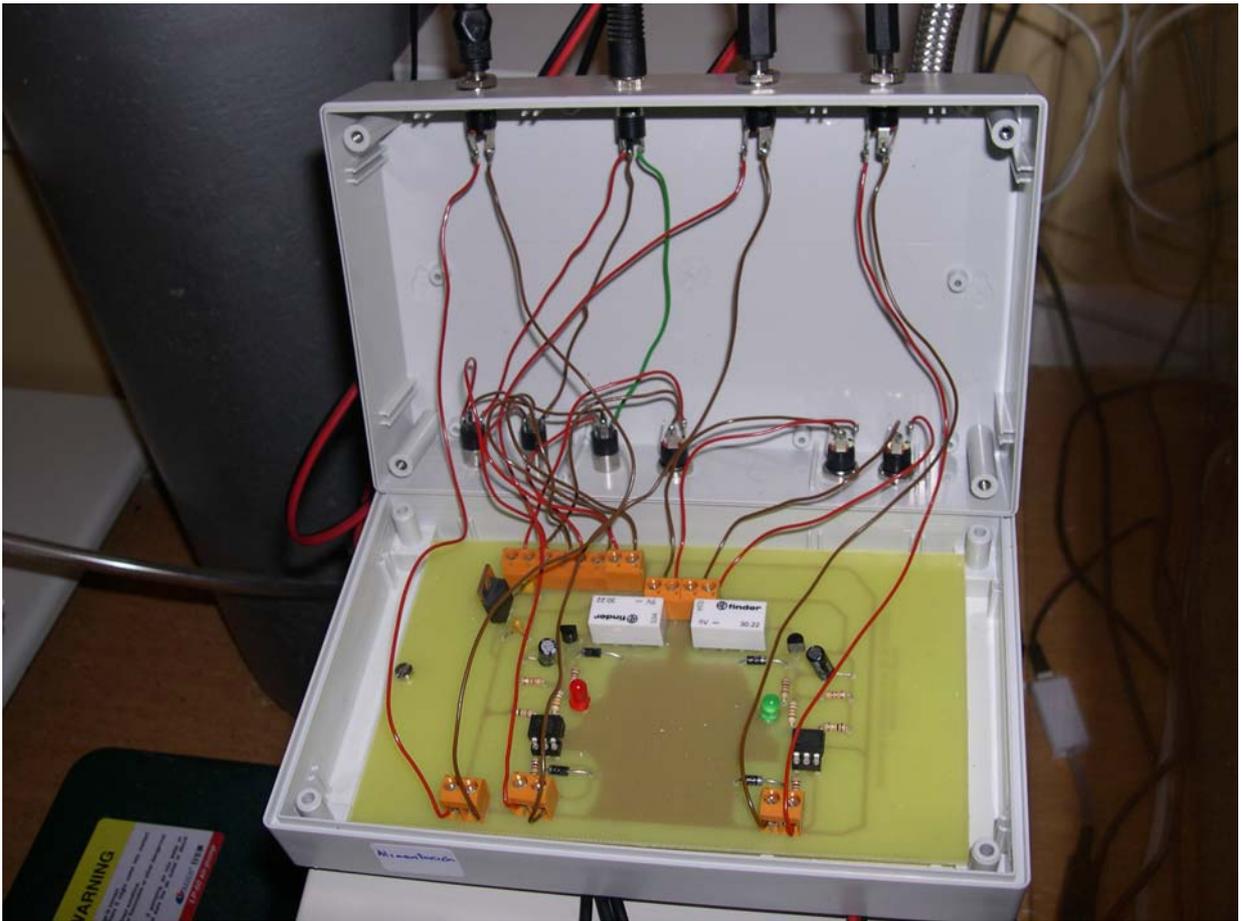
**LD 1**, diodo led el cual nos indica el estado de la electroválvula, se iluminará siempre que se accione la electroválvula.

Para la creación de la placa, se hizo el siguiente layout:



**Figura 3.9.** Layout de la etapa de acondicionamiento de la señal

Quedando la placa definitiva como se muestra a continuación.



**Figura 3.10.** *Placa de la Etapa de Acondicionamiento*

Además de esta placa realizada por nosotros también existe un bloque conector de la casa National Instruments que nos servirá para realizar las conexiones tanto de las señales capturadas como de las salidas dadas por la tarjeta.



**Figura 3.11.** *Bloque conector*

Todas estas conexiones entre el bloque conector y la tarjeta de adquisición de datos se realiza mediante el cable conector, también de la casa National Instruments.



**Figura 3.12.** *Cable conector*

Todas las características de estos dispositivos podrán ser vistas en el ANEXO I.

### **3.7. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

La tarjeta de adquisición de datos es uno de los elementos más importantes de este proyecto ya que sobre ella actuará todo el software implementado, lo cual es realmente importante puesto que este será el interfaz que manejará el investigador siendo para ellos el resto del hardware unos meros aparatos los cuales no tienen porque comprender su funcionamiento.

Para la elección de esta tarjeta hemos tenido en cuenta muchas características como pueden ser el hecho de salidas analógicas, puesto que en un primer momento se pensaba utilizar electroválvulas de accionamiento proporcional. Más tarde cuando se empezó a llevar a cabo la realización del control de las válvulas se vio que gracias al control PID el accionamiento de la bombona de nitrógeno y el compresor de aire se podían realizar con válvulas todo-nada, las cuales tenían un coste mucho más asequible. Por lo tanto el echo de que también tuvieran salidas digitales era otro factor a buscar en lo que iba a ser nuestra tarjeta de adquisición de datos.

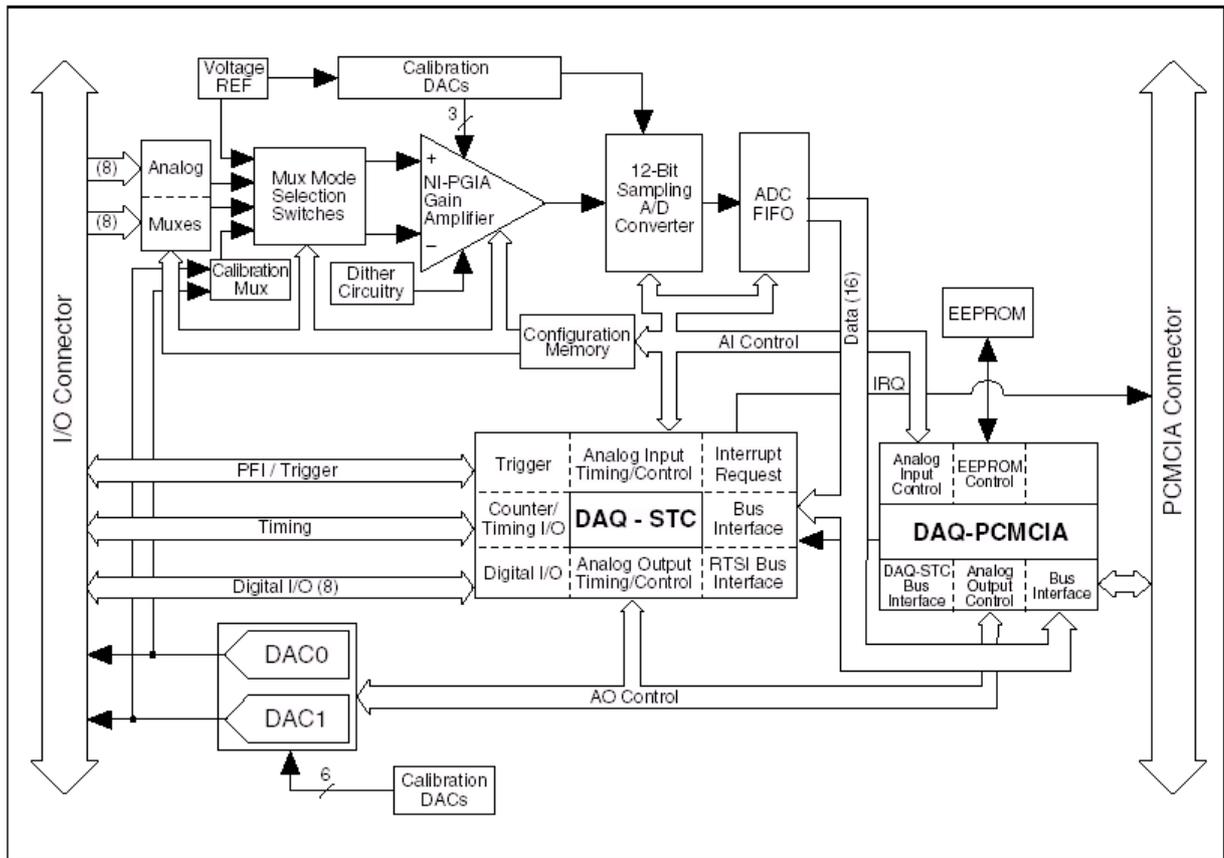
En un primer momento sólo se pensaba trabajar con los sensores de oxígeno, humedad, y temperatura, pero no se descarta el estudio de otros parámetros como podrían ser la presión o el amoníaco existente en la cámara. Debido a esto también se debía tener en cuenta tanto el número de entrada analógicas, como el muestreo que fuera capaz de realizar.

Una vez todos los datos fueron barajados, la tarjeta que se consideró óptima fue la PCI-6024-E de National Instruments.

Las principales características son:

- 16 entradas analógicas.
- 2 canales para salidas analógicas.
- 8 canales I/O digital.
- Resolución de 12 bits A/D.
- 12 KS/s
- Tiene una conexión de 68 pines.

El diagrama de bloques de esta tarjeta es el siguiente:



**Figura 3.11.** Esquema de Adquisición de datos

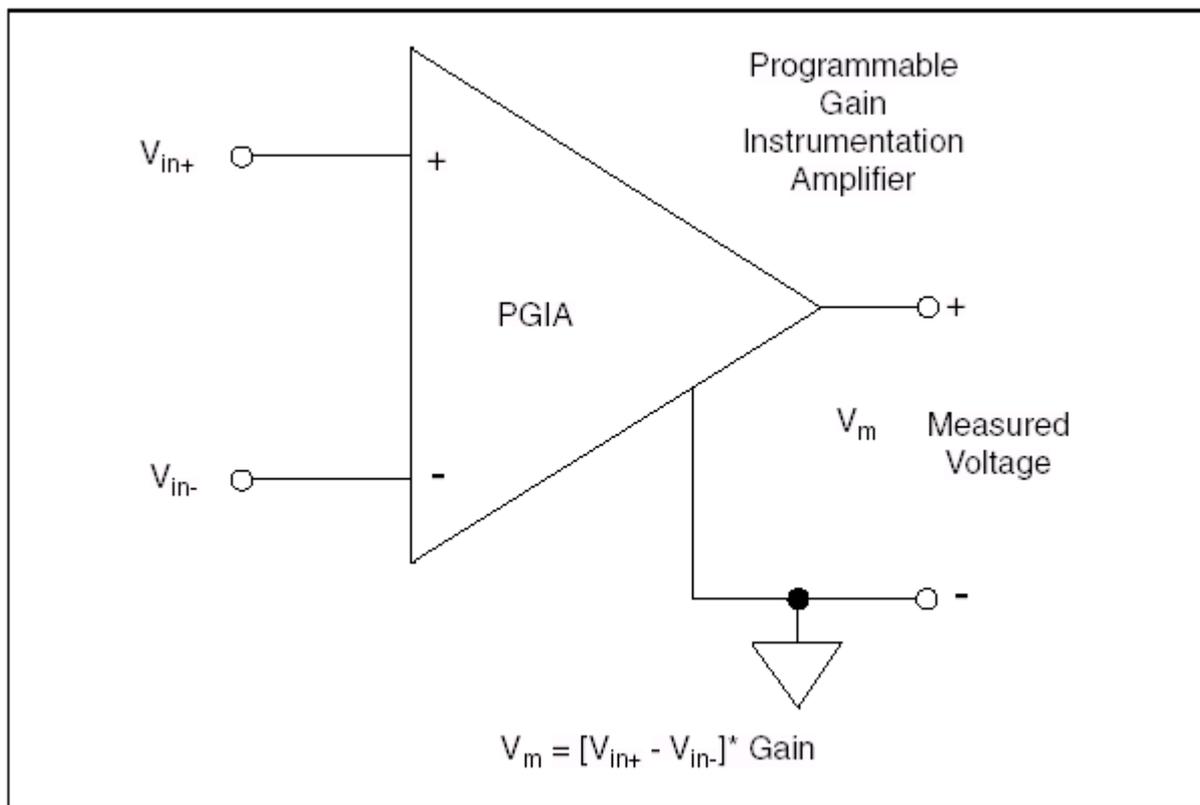
Este dispositivo tiene tres modos de entradas analógica, nonreferenced single-ended (NRSE), referenced single-ended (RSE), y differential (DIFF). De modo que puedes tener 16 entradas referenced single-ended u 8 en modo differential. Aunque también puede existir una combinación entre ellas, esta diferenciación se hace canal por canal de un modo muy fácil a través de la aplicación Measurement & Automation, que de una forma interactiva te permite configurar las características de los canales que más tarde vas a utilizar en la aplicación que vaya a desarrollar.

El rango de entrada de los canales se puede programar mediante una ganancia, que en nuestro caso hemos elegido una ganancia de 1.0 de forma que el rango de entrada es de  $-5$  a  $+5$  V, siendo la precisión de 2.44 mV aprovechado de esta manera los 12 bits del CAD.

Este dispositivo como comentamos anteriormente tiene dos salidas analógicas las cuales se mueven en un rango de  $\pm 10$  V.

Las ocho salidas digitales son de propósito general I/O(DIO<0...7>). Por software, mediante la aplicación Measurement & Automation, puede configurarse cada una de estas líneas como entrada o salida.

Un punto muy importante es la elección del modo conexión de las entradas procedentes de los sensores a nuestra tarjeta, existes tres modos de los que ya hablamos anteriormente, NRSE, RSE o DIFF. Dependiendo de modo de conexión que hagamos podremos utilizar de una forma u otra el la ganancia programable (PGIA).



**Figura 3.13.** Amplificador de ganancia programable

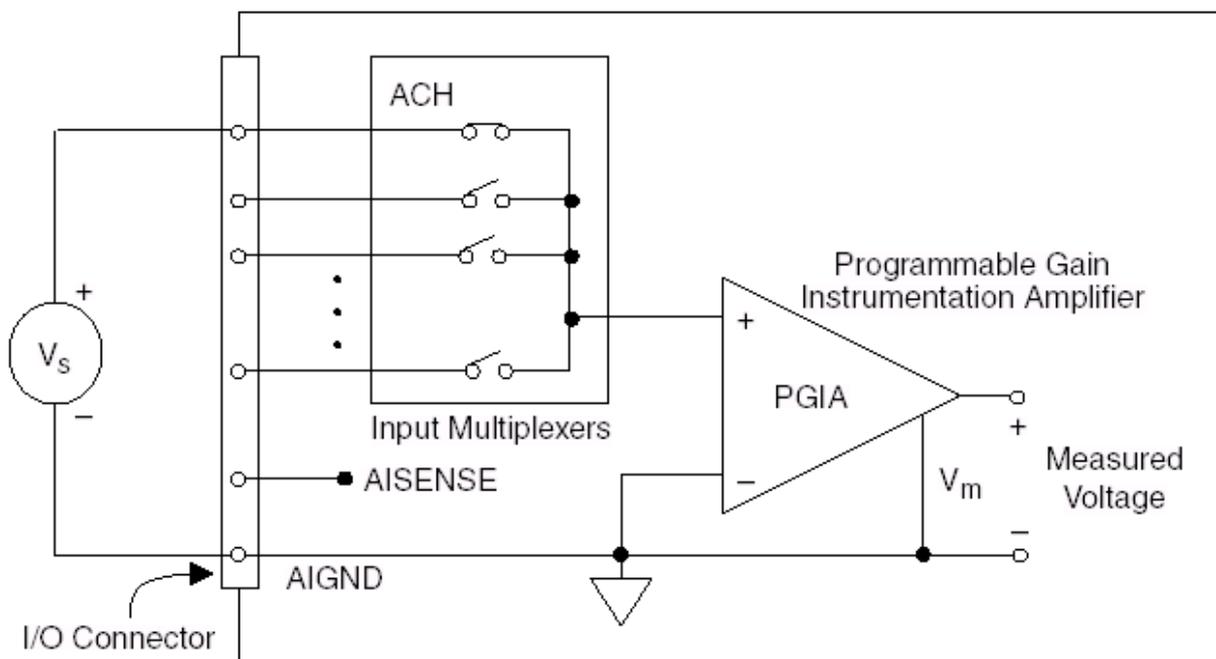
En el modo single-ended las señales conectadas a ACH<0...15> son conectas al terminal positivo de PGIA. En DIFF las señales conectadas a ACH<0...7> son conectadas al terminal positivo del PGIA, mientras que las

señales conectadas a ACH<8...15> son conectadas al terminal negativo del PGIA.

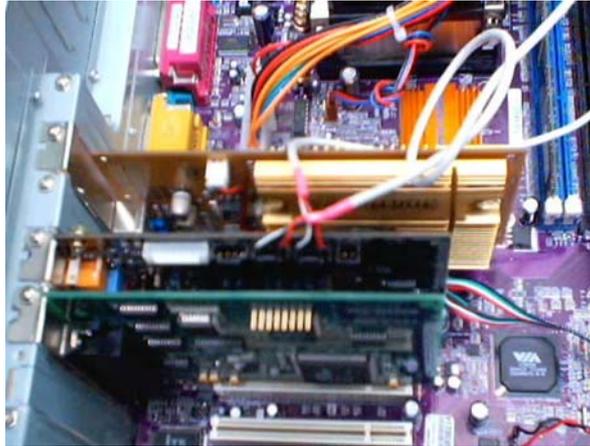
Teniendo en cuenta algunas características que se van a dar en la realización de nuestro Proyecto Fin de Carrera como:

- El nivel de las señales de entrada es mayor a 1 V.
- La longitud de los cables es menos a 3 m.
- Las señales de entrada pueden tener un punto de referencia común con otras señales.

Debido a esto hemos seleccionado el modo single-ended.



**Figura 3.13.** Conexión al amplificador



**Figura 3.15.** *Tarjeta PCI 6024-E*

Gracias a la conexión de la tarjeta a través del bus PCI y de su sencilla instalación, el manejo de la misma ha sido bastante simple. En el ANEXO II se puede visualizar el manual de usuario proporcionado por National Instruments.

### *3.7.1. SOFTWARE DE CONTROL DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS*

Cabe destacar distintas aplicaciones que se han utilizado para el manejo de la tarjeta de adquisición de datos.

Para el gobierno de la tarjeta, se tienen: el programa **Measurement & Automation Explored (MAX)**, con el cual se detectan posibles fallos tanto en el hardware previo como en la tarjeta conectada al bus PCI.

Lo primero que se ha de realizar, después de la conexión de la tarjeta en el bus PCI y de la configuración de los drivers de la misma, es una comprobación de que la tarjeta está bien conectada y de que el ordenador la ha reconocido. Esto se efectúa con el programa que nos ocupa.

Con este programa podemos acceder a todos los dispositivos de National Instruments como DAQ, GPIB, IMAQ, IVI, Motion, VISA, y VXI. Con el podemos realizar varias tareas como:

- Configurar tu hardware y software de National Instruments
- Añadir nuevos canales, interfaces e instrumentos virtuales
- Ejecutar sistemas de diagnósticos
- Ver los dispositivos e instrumentos conectados a tu sistema
- Poner al día tu software de National Instruments

Vamos a estudiar más detenidamente como poder llevar a cabo las opciones que acabamos de enumerar y cuales son los distintos apartados para ello.

*Data Neighborhood*, nos da acceso a DAQ Channel Wizard y a todos nuestros canales virtuales. Los canales virtuales nos permiten dar un nombre a los canales físicos que luego vamos a utilizar. Data Neighborhood nos permite hacer cosas como:

- Insertar un nuevo canal virtual, además de configurar sus características como el nivel de tensión que va a soportar, adjudicarle los números de canales que va utilizar, definirlo como entrada o salida, tanto si es analógico como digital, y el modo de conexión, es decir NRSE, RSE, O DIFF.
- Realizar un test indicando, cuando así se le requiere, el nivel de tensión que está recibiendo por cualquiera de sus entradas, pudiendo comprobar si el hardware que se ha creado está funcionando correctamente o, por el contrario, hay algún problema. Esta herramienta ha sido de muchísima ayuda en el desarrollo del proyecto.
- Duplicar un canal, conservando de esta manera las características del primero.
- Eliminar o cambiar las características de un canal.

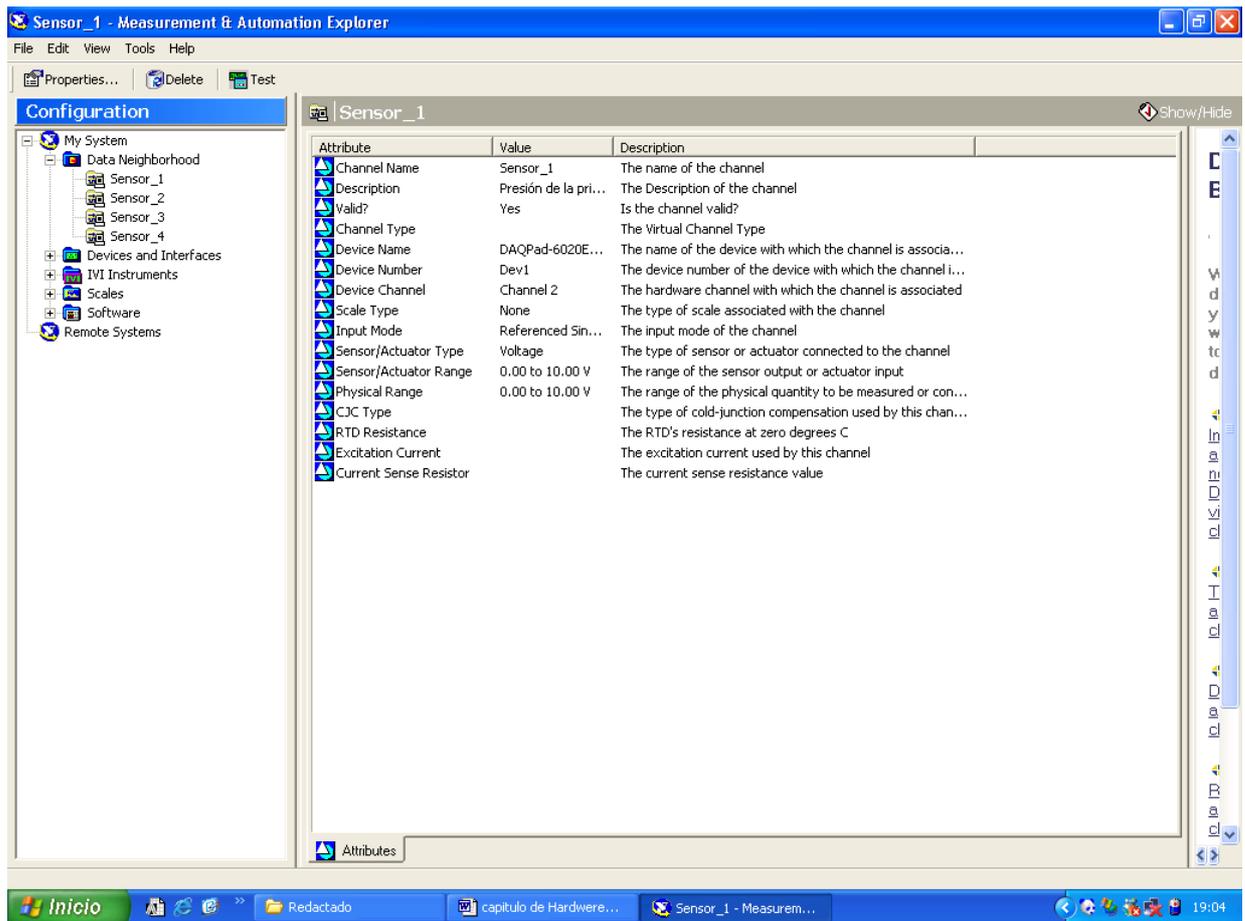
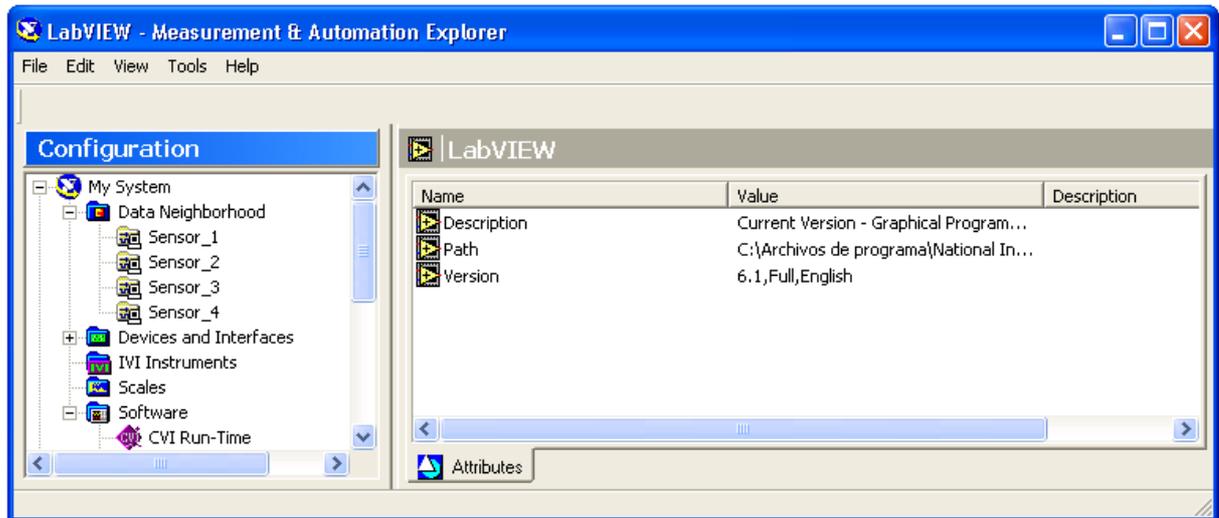


Figura 3.15. Max mostrando los dispositivos existentes

*Devices and Interfaces*, esta opción nos permite conocer los distintos dispositivos que se encuentran disponibles en nuestro sistema de desarrollo.

*Software*, esta opción nos permite conocer todo el software de National Instruments existente en nuestro puesto de desarrollo, además de lanzarlo y actualizarlo.



**Figura 3.17.** *Max mostrando el software de National Instruments existente*

Gracias a este menú, se puede realizar un programa en LABVIEW a través del cual se controlan todas las operaciones de captura de datos de la tarjeta de adquisición.

A medida que se vayan explicando los programas realizados en LABVIEW con más detenimiento, se van a ir aclarando cada uno de los objetos utilizados para el desarrollo de los mismos, de forma que quede mucho más claro para qué se han utilizado.

### **3.8. COMPRESOR DE AIRE Y BOMBONA DE NITRÓGENO**

El objetivo principal de este Proyecto Fin de Carrera es poder controlar la concentración de oxígeno en el interior de la cámara donde se introducirán los animales. Para ello siempre vamos a jugar con la mezcla entre aire del exterior y nitrógeno de la bombona.

El juego será el siguiente, si la concentración de oxígeno está por debajo de la marcada se introducirá aire al interior gracias al compresor. Sin embargo si la concentración de oxígeno es mayor de la deseada se introducirá en el

interior de la cámara nitrógeno de forma que este vaya desplazando al oxígeno existente hasta que se llegue a la concentración deseada.

Las características de nuestro compresor son las siguientes:

- Este compresor es alimentado en alterna, a 220 V 50 Hz
- El aire que introduce en el interior de cámara es recogido desde el exterior



**Figura 3.18.** *Compresor de aire*



**Figura 3.19.** *Bombona de Nitrógeno*

### **3.9. BOMBA EXTRACTORA**

El hecho de que los experimentos sean de larga duración hace necesario la limpieza de la atmósfera existente en la cámara, debido a la constante respiración de los animales hace que la humedad sea excesiva para la vida en el interior, además de la orina de las ratas que aumenta el nivel de amoníaco, convirtiendo la atmósfera en nociva para respiración de los animales.

Por esto se hace necesaria la extracción del aire para su posterior limpieza de amonio y humedad. Para ello utilizamos una bomba extractora.

A la hora de elegir la bomba de extracción hemos tenido en cuenta varios aspectos, los cuales convirtieron esta búsqueda en algo bastante tedioso y difícil.

Las características de esta bomba son:

- El nivel de ruido debía ser mínimo puesto que la bomba está en continuo funcionamiento, lo que provocaría un grado de excitación en las ratas que haría fracasar los experimentos.
- IP: 55
- Bomba de membrana, puesto que las de aceite podían contaminar el aire.
- 220 / 240 V
- 0.66 / 0.7 A
- 50 / 60 Hz

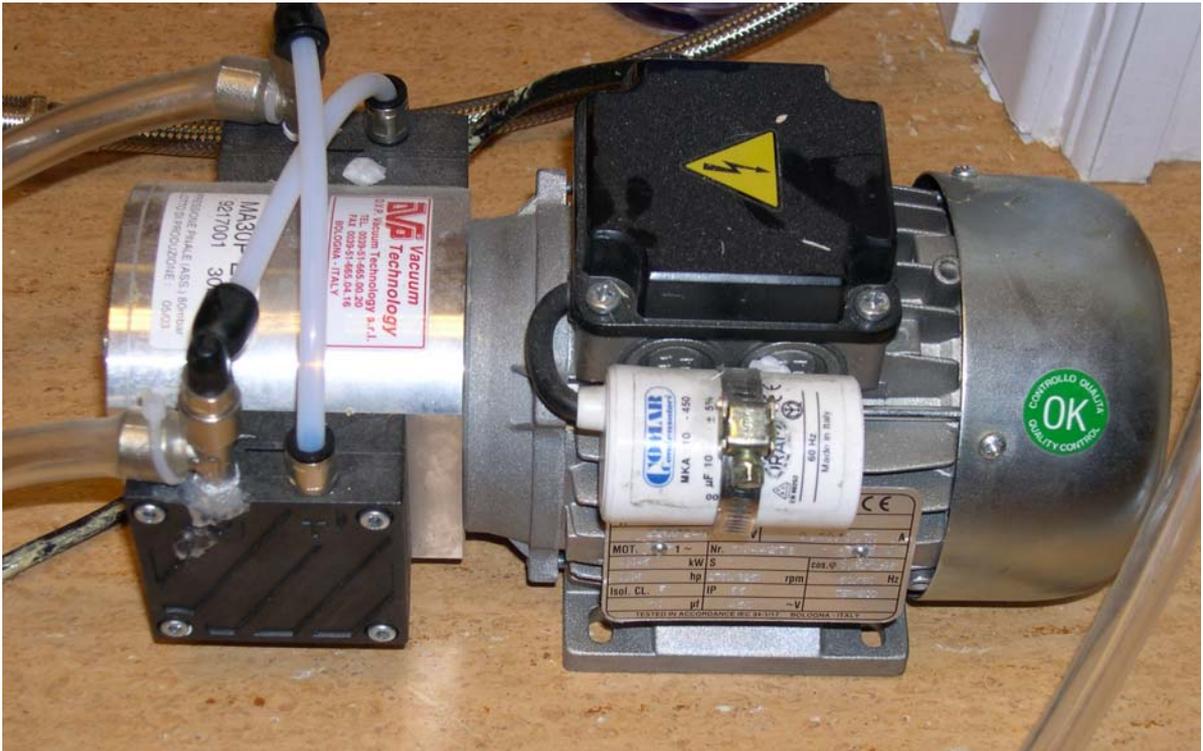


Figura 3.20. Bomba extractora

### 3.10. CIRCUITO DE LIMPIEZA DEL AIRE

Como se ha comentado en el apartado anterior es necesario limpiar la atmósfera del interior del aire de humedad, amonio y dióxido de carbono. Para ello después de extraer el aire gracias a la bomba extractora anteriormente comentada esta aire pasa por tres filtros que realizan la limpieza. Una vez limpio el aire que se extrajo vuelve al interior de cámara.

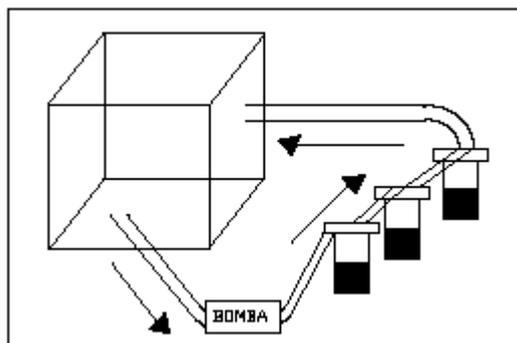


Figura 3.21. Esquema de la circulación del aire



**Figura 3.22.** *Circuito de limpieza del aire*

### 3.11. CÁMARA DE METACRILATO

En el interior de esta cámara estarán los animales introducidos en sus respectivas jaulas, por lo que se debe tener en cuenta las dimensiones de esta para que no haya ningún problema a la hora de ubicar las distintas jaulas en el interior.

Esta caja estará realizada en metacrilato por el expreso se deseo de los investigadores, y tras realizar un estudio de los precios que ofrecen las distintas empresas españolas se encarga su realización a Faberplas, empresa zaragozana especializada en el uso del metacrilato.

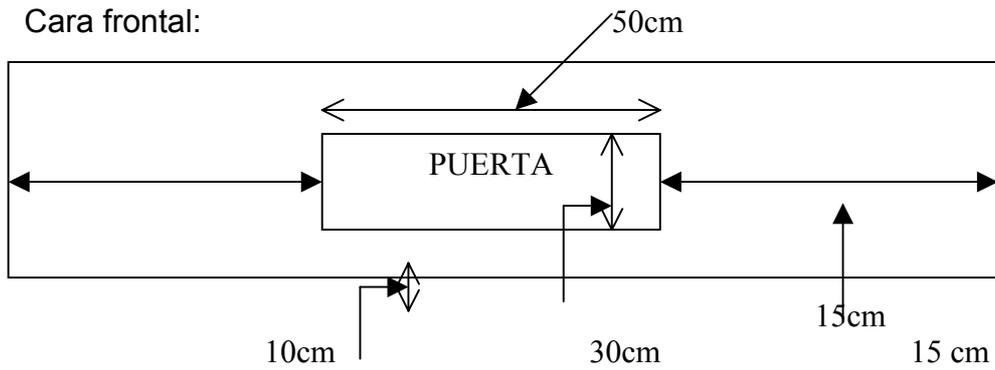
Las dimensiones de esta caja son las siguientes:

Largo de la cámara: 80 cm

Ancho de la cámara: 70 cm

Alto de la cámara: 80 cm

Cara frontal:



**Figura 3.23.** Dimensiones de la cámara

:



**Figura 3.24.** Cámara de metacrilato

# Capítulo 4

## SOFTWARE INVOLUCRADO

### 4. SOFTWARE INVOLUCRADO

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se pretende hacer una descripción del software que se ha empleado para el buen desarrollo del presente proyecto. Se comentará el sistema operativo. También se realizará una breve descripción del entorno de programación (Labview).

#### 4.2. SISTEMA OPERATIVO

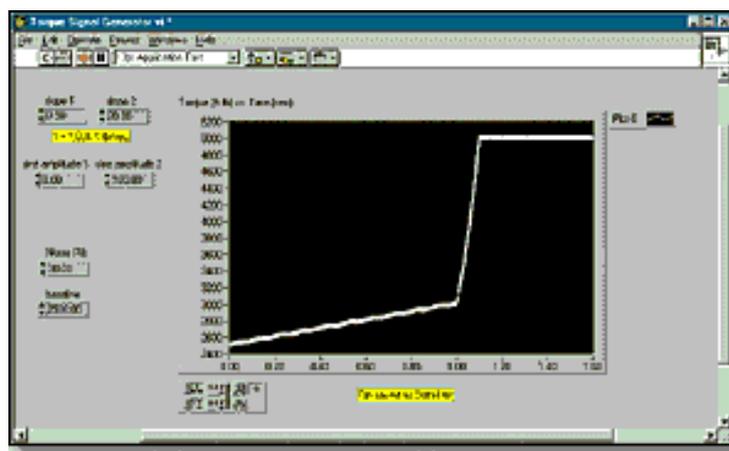
En el presente apartado se discutirá cuando es necesario o no un sistema en tiempo real, para terminar definiendo el sistema operativo usado en este proyecto así como sus razones principales.

##### *4.2.1. DISCUSIÓN SOBRE LA NECESIDAD O NO DE UN SISTEMA OPERATIVO EN TIEMPO REAL*

Una solución de tiempo real es requerida para aplicaciones que deben ejecutar determinísticamente una tarea en software sin interrupciones o interferencias de otras tareas no-críticas. Las aplicaciones que se ejecutan determinísticamente muchas veces realizan una tarea crítica en iteraciones y

estas iteraciones consumen siempre la misma cantidad de tiempo del procesador. De esta manera las aplicaciones determinísticas son apreciadas no tanto por su velocidad, sino por su confiabilidad a responder con consistencia a entradas y generar salidas con muy poco "parpadeo" o jitter. (Jitter es el término que se usa para identificar el promedio de las diferencias en tiempo que le toma a un ciclo ejecutarse).

Un ejemplo común de una aplicación determinística es un lazo de control de tiempo crítico. Un lazo de control de tiempo crítico adquiere información de un sistema físico y responde a esa información con una salida de tiempo muy precisa. Por ejemplo, en la el hangar de ensamblaje de piezas de avión, donde cientos de piezas se ensamblan al día. A medida que dos piezas son unidas desde sus dos puntas, un torque es requerido para girar las piezas, embobinen y queden interconectadas. Suponga que la máquina que conecta las piezas usa un lazo de control que responde a los incrementos en la resistencia entre las piezas aplicando más torque. Ahora suponga que cuando se llega a un nivel crítico de torque, el lazo de control responde terminando su tarea. Bajo estas condiciones, el lazo debe ejecutarse determinísticamente porque un retraso en el software puede causar daños severos a las piezas y al equipo. La gráfica 4.1 que se muestra a continuación ilustra torque contra tiempo en LabVIEW, note el abrupto cambio de nivel el cual corresponde a la conexión completa entre las dos piezas.



**Figura 4.1.** Ejemplo Labview. Torque vs Tiempo. Necesidad de un sistema en tiempo real.

Debe de usarse un sistema operativo de tiempo real para garantizar que la tarea crítica se ejecuta de manera precisa en el horario establecido. El sistema operativo de Windows esta diseñado para ofrecer o compartir tiempo del procesador a tareas que corren en el fondo. Como en este caso el usuario tiene muy poco control sobre cómo el procesador comparte su tiempo, Windows no es considerado un sistema operativo de tiempo real.

De esta manera, tareas no críticas (como un protector de pantalla o software de protección de virus) pueden interferir con un proceso de tiempo crítico en LabVIEW, como una aplicación de adquisición de datos o un lazo de control. Pensemos en el siguiente ejemplo. Si se le pide a Windows que abra un Web browser (como Netscape o Internet Explorer), el procesador suspende temporalmente la ejecución de LabVIEW para empezar a ejecutar las instrucciones requeridas para abrir Internet Explorer.

Desde el punto de vista del usuario, esto tal vez no represente un cambio visible en el panel frontal de LabVIEW, pero si varias instancias de Internet Explorer ocurren, el usuario eventualmente notaría un retraso en la interfaz al usuario.

Al considerar soluciones de prueba y medición para una aplicación, debe de ser capaz de distinguir entre las aplicaciones que requieren procesamiento en tiempo real y aquellas que no lo necesitan. Algunos sistemas de adquisición de datos no requieren procesamiento en tiempo real porque no involucran un proceso de tiempo crítico en software. Considere una aplicación en donde se debe adquirir datos, procesar y almacenar a disco continuamente a una razón de 1 Mmuestra/s. La aplicación no responde con una salida, simplemente colecciona datos muy rápido con un tiempo muy preciso. National Instruments cuenta con las tarjetas de multifunction de la serie E (MIO) las cuales pueden realizar esta tarea sin necesidad de tecnología de tiempo real. Esta aplicación solamente necesita relojes en hardware precisos para asegurar que las muestras se digitalizan en el intervalo de tiempo especificado. Una vez digitalizada la señal, la tarjeta MIO almacena los valores en un buffer FIFO en

hardware el cual se empieza a llenar. Una vez que el buffer FIFO llega a su nivel crítico, los datos son transferidos en bloques a un buffer en RAM hasta que LabVIEW los lee del buffer en RAM. La razón a la cual se leen los datos del buffer en RAM dependen de qué tan rápido LabVIEW puede "leer" los datos en un ciclo, el cual a su vez es gobernado por la velocidad del procesador y otros factores como: Escritura/Lectura de archivos, Procesamiento de señales, Tareas corriendo en el fondo (como protector de pantalla, Web browser, software anti-virus, etc.), Actividad en la interfaz al usuario, Otras comunicaciones de hardware (como GPIB, serial RS-232, etc.)

A medida que el programador asigna más tareas al lazo, las iteraciones del lazo requieren de más tiempo para completar. De la misma manera, a medida que el usuario interactúa con otros programas, genera eventos en la interfaz de usuario y realiza otras entradas/salidas de hardware la velocidad de ejecución del lazo se volverá más lenta.

Esto se debe a que el sistema operativo debe asignar y compartir el tiempo del procesador entre un mayor número de instrucciones. Ahora, asuma que existe un mínimo de actividad en el bus de datos y solamente hay algunas otras aplicaciones corriendo además de LabVIEW. Bajo estas condiciones, la mayoría de las computadoras modernas pueden fácilmente leer del buffer en RAM a una razón suficiente para evitar que los datos sean sobre escritos o perdidos, esto es asumiendo que la tarjeta MIO esta adquiriendo a su velocidad máxima. Además, típicamente cada vez que los datos son leídos de la RAM el procesador cuenta con tiempo extra para realizar otras tareas como almacenar datos a disco y procesamiento de señales. A medida que las condiciones varían, el usuario empíricamente determina las limitaciones de la computadora y ajusta los parámetros adecuadamente. El punto a recalcar es que aún con las interrupciones de software de otros procesos la adquisición de datos o proceso en hardware consistentemente adquiere a una razón de 200 KS/s. La razón de esto es que la tarjeta MIO cuenta con temporizadores/contadores dedicados que regulan las conversiones análogas-digitales (A/D) así que no hay posibilidad de que otro proceso en software afecte esta velocidad. Pero como

mencionamos, el lazo en LabVIEW que lee los datos del buffer en RAM es susceptible a dichas interrupciones.

El usuario debe asegurarse que otras aplicaciones no tomen todo el valioso tiempo de procesador que LabVIEW requiere para coleccionar los datos que están en RAM. La lección que se aprende en este apartado es que el lazo que lee en LabVIEW no se ejecuta determinísticamente pero los datos son adquiridos determinísticamente por el hardware. De hecho, es muy improbable que dos operaciones de lectura tomen el mismo número de ciclos de reloj ya que el sistema operativo asigna remandas de tiempo a otros procesos que están sucediendo al mismo tiempo. Y mientras el procesador pueda regresar al lazo de lectura frecuentemente para leer los datos en RAM, la razón de adquisición de datos en hardware no pasará al tiempo promedio de lectura en software.

La presencia de un buffer en RAM elimina el riesgo de pérdida de datos cuando el tiempo del procesador se comparte con otras aplicaciones. Esta técnica es conocida como búferes acquisition o adquisición con buffer y es muy común en la adquisición de datos. Esta discusión ilustra cuando un sistema no necesita incorporar tecnología de tiempo real. Hoy en día muchos sistemas de adquisición de datos operan de manera similar al ejemplo expuesto porque una adquisición controlada por un reloj en hardware resulta datos que están espaciados de manera precisa y los cuales pueden ser procesados posteriormente. Pero cuando la aplicación "como el ejemplo del torque en las piezas" adquiere señales las cuales deben de ser procesadas inmediatamente y deben incorporar una señal de respuesta rápida y muy precisa, entonces es una aplicación de tiempo real y típicamente requiere de hardware y software especial de tiempo real. Este no es el caso de la cámara de hipoxia, donde el tiempo no es un factor crucial.

#### *4.2.2. WINDOWS 2000 PROFESSIONAL*

El sistema operativo instalado en el ordenador donde se encuentra la tarjeta de adquisición de datos para la cámara de hipoxia crónica es la versión profesional de Windows 2000 y en este apartado se pretende exponer las razones que justifican la elección de este sistema operativo, una descripción detallada del mismo se sale del alcance de este proyecto.

Hay dos motivos fundamentales que han llevado a la elección de este sistema:

Por un lado la seguridad ya que dispone de un sistema de seguridad que permite la protección de datos del usuario tanto de forma local como a través de una red de área local, redes telefónicas o Internet. Dispone de un sistema de control de acceso de los usuarios al sistema, pudiendo existir varios tipos de usuarios que usen el mismo sistema cada uno con distintos privilegios. Esto lo hace ideal para el caso de que como ampliación del proyecto, cámara se pueda acceder a través de internet, pudiendo protegerlo de un mal uso.

Por último cabe destacar su versatilidad ya que combina la potencia y seguridad de su predecesor Windows NT con la facilidad de uso del Windows 98.

### **4.3. Herramientas de desarrollo**

Las herramientas con las que se ha trabajado para la elaboración de la aplicación de control y monitorización de la cámara de hipoxia ha sido principalmente con Labview. Por su importancia en el presente proyecto, se ofrece a continuación una breve descripción de estos entornos de programación de National Instruments.

#### *4.3.1. LABVIEW*

A diferencia de los lenguajes de propósito general (Visual C, Visual Basic, etc...) , Labview se encuentra totalmente orientado al control de instrumentación, siendo perfecto para el desempeño del presente proyecto.

#### 4.3.1.1. DEFINICIÓN DE LABVIEW

LabVIEW quiere decir *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* en inglés, y es una herramienta de desarrollo basado en un lenguaje de programación gráfica que usa iconos en vez de líneas de texto para crear aplicaciones.

Es un entorno de desarrollo especialmente diseñado para crear aplicaciones de medida, automatización y control, con funcionalidades específicas de adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de medidas y representación de datos.

LabVIEW está completamente integrado para comunicaciones con el hardware, tales como: GPIB, VXI, RS232, RS485 y tarjetas de adquisición de datos y también tiene múltiples librerías para estándares de software como: redes TCP/IP y Active X.

En contraste con los lenguajes de programación basados en texto, donde las instrucciones determinan la ejecución del programa, LabVIEW usa una programación de flujo de datos, en la que el flujo de datos determina la ejecución de la aplicación.

La programación tradicional basada en texto en un diseño *top-down*, en el que se debe escribir el código que se ejecuta línea por línea. En vez de una ejecución secuencial LabVIEW se basa en el concepto de flujo de datos.

Los archivos básicos creados con LabVIEW se denominan Instrumentos Virtuales o VI (siglas en inglés de *Virtual Instruments*), porque su aspecto y

funcionamiento imitan a instrumentos reales como los ya descritos en el capítulo dos de este documento.

Un VI contiene los siguientes tres elementos:

**Panel Frontal:** que sirve como interfaz de usuario de la VI.

**Diagrama de bloques:** que contiene el código fuente gráfico que define la funcionalidad del instrumento virtual.

**Icono y panel de conectores:** que identifica al VI y sirve para interconectar VIs.

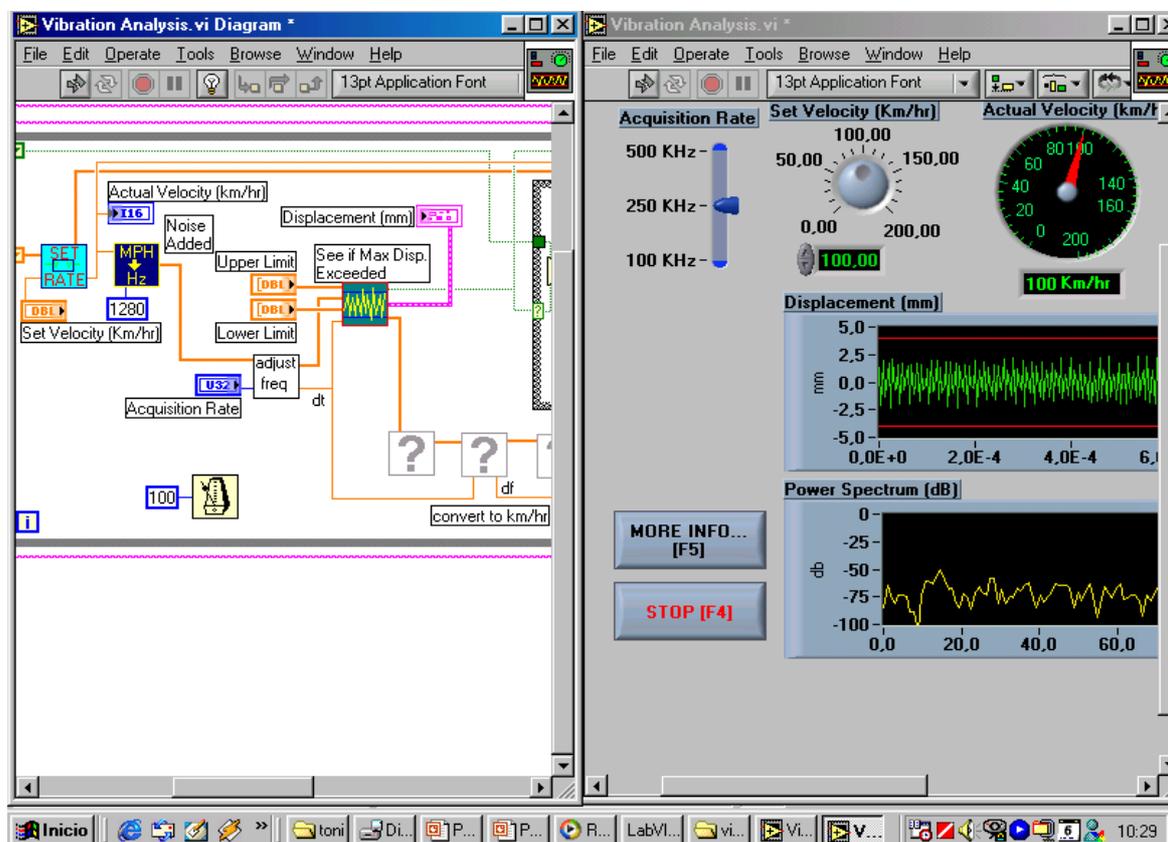


Figura 4.2. Panel de control y diagrama de bloques

En LabVIEW se diseña la interfaz de usuario usando un conjunto de herramientas de diseño y objetos, y es lo que se conoce como panel frontal. Se le añade el código usando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. El diagrama de bloques es el que

contiene ese código fuente gráfico que en algunos aspectos se parece a un diagrama de flujo.

En el panel frontal se diseña con controles e indicadores, que son las variables que maneja el instrumento virtual. Los controles pueden ser botones, interruptores, *knobs*, diales y otros dispositivos de entrada mientras que los indicadores son LEDs, gráficos y otros displays. Los controles simulan dispositivos de entrada y suministran los datos al diagrama de bloques del VI, en cambio los indicadores simulan dispositivos de salida y muestran los datos adquiridos o generados por el diagrama de bloques. Todos los VI usan funciones que manipulan la entrada de la interfaz de usuario u otras fuentes y muestra esa información o la mueve a otros ficheros u otros ordenadores.

En el diagrama de bloques se encuentra el código fuente. Este código se implementa de una forma gráfica, a veces puede ser similar a un diagrama de flujo. Para ello se cuenta con una serie de librerías que aporta la opción de *function palette*, la cual aporta funciones de muy variadas características como aritméticas, de adquisición de datos, filtrado, lógicas, de almacenamiento de datos...., lo cual ayuda enormemente en el desarrollo de cualquier nueva aplicación.

#### 4.3.1.2. CONCEPTO DE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

Muchas veces la realización de una medida requiere la intervención de varios equipos e instrumentos electrónicos; unos generan estímulos sobre el dispositivo que se pretende medir, y otros recogen la respuesta a estos estímulos. Este conjunto de instrumentos que hace posible la realización de la medida, recibe el nombre de sistema de instrumentación IS (Instrumentation System). Todo sistema de instrumentación consta de unos equipos, un sistema de interconexión de éstos y un controlador inteligente que gestiona el funcionamiento de todo el sistema y da las órdenes para que una medida se realice correctamente.

La utilización manual de instrumentos para realizar medidas es prácticamente un hecho aislado, sólo en los procesos de investigación y desarrollo de nuevos prototipos, o en entornos docentes es una práctica habitual. A nivel industrial las medidas para el control de un determinado proceso, las pruebas funcionales sobre un equipo o el control de calidad de la producción se realizan de manera automática. La automatización de las medidas requiere que los equipos gocen de un cierto grado de inteligencia para que puedan ser gobernados por un controlador que se comunica con los instrumentos a través de un BUS de instrumentación (GPIB, VXI, RS232...).

La compañía National Instruments ha definido un instrumento virtual (IV) de la siguiente manera:

“Un instrumento que no es real, se ejecuta en una computadora y tienes sus funciones definidas por software.” (National Instruments, 2001).

El concepto de instrumentación virtual nace a partir del uso del computador personal (PC) como "instrumento" de medición de tales señales como: temperatura, presión, caudal, etc. Es decir, el PC comienza a ser utilizado para realizar mediciones de fenómenos físicos representados en señales de corriente (Ej. 4-20mA) y/o voltaje (Ej. (0-5Vdc).

Sin embargo, el concepto de "instrumentación virtual" va más allá de la simple medición de corriente o voltaje, sino que también involucra el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados con la medición de una o varias señales específicas. Es decir, el instrumento virtual no se conforma con la adquisición de la señal, sino que también involucra la interfaz hombre-máquina, las funciones de análisis y procesamiento de señales, las rutinas de almacenamiento de datos y la comunicación con otros equipos.

Un ejemplo; el osciloscopio tradicional tiene una funcionalidad ya predefinida desde la fábrica donde lo diseñan, producen y ensamblan. Es decir,

la funcionalidad de este tipo de instrumento es definida por el fabricante del equipo, y no por el usuario mismo. El término "virtual" nace precisamente a partir del hecho de que cuando se utiliza el PC como "instrumento" es el usuario mismo quién, a través del software, define su funcionalidad y "aparición" y por ello se dice que "virtualizamos" el instrumento, ya que su funcionalidad puede ser definida una y otra vez por el usuario y no por el fabricante. Incluso por medio del instrumento virtual se pueden realizar funciones que no están disponibles mediante el uso manual del instrumento real.

El instrumento virtual es definido entonces como una capa de software y hardware que se le agrega a un PC en tal forma que permite a los usuarios interactuar con la computadora como si estuviesen utilizando su propio instrumento electrónico "hecho a la medida".

¿Cómo construir un instrumento virtual? Para construir un instrumento virtual, sólo se requiere un PC, una tarjeta de adquisición de datos con acondicionamiento de señales (PCMCIA, ISA, XT, PCI, etc.) y el software apropiado, los tres elementos clave en la conformación de un instrumento virtual, teniendo un chasis de acondicionamiento de señales como elemento opcional. El "acondicionamiento de señales" es opcional, porque dependiendo de cada señal y/o aplicación, se puede o no requerir amplificación, atenuación, filtraje, aislamiento, etc. de cada señal. Si la señal está en el rango de los +/- 5Vdc y no se requiere de aislamiento o filtraje, la misma puede ser conectada directamente a la tarjeta de adquisición de datos.

En el instrumento virtual, el software es la clave del sistema, a diferencia del instrumento tradicional, donde la clave es el hardware. Con el sistema indicado anteriormente, se podría construir un osciloscopio "personalizado", con la interfaz gráfica que uno desee, agregándole inclusive más funcionalidad. Sin embargo, este mismo sistema puede también ser utilizado en la medición de temperatura, o en el control de arranque/parada de una bomba centrífuga. Es allí donde radica uno de los principales beneficios del instrumento virtual, su

flexibilidad. Este instrumento virtual no sólo permite visualizar la onda, sino que a la vez permite graficar su espectro de potencia en forma simultánea. Sería complicado poder hacer algo así con un instrumento convencional. Para finalizar, la siguiente tabla (ver Tabla 4.1) indica algunas de las principales diferencias entre el instrumento convencional o tradicional, y el instrumento virtual.

Instrumento Tradicional	Instrumento Virtual
Definido por el fabricante	Definido por el usuario
Funcionalidad específica, con conectividad limitada.	Funcionalidad ilimitada, orientado a aplicaciones, conectividad amplia.
Hardware es la clave.	Software es la clave
Alto costo/función	Bajo costo/función, variedad de funciones, reusable.
Arquitectura "cerrada"	Arquitectura "abierta".
Lenta incorporación de nuevas tecnología.	Rápida incorporación de nuevas tecnologías, gracias a la plataforma PC.

<b>Instrumento Tradicional</b>	<b>Instrumento Virtual</b>
Bajas economías de escala, alto costo de mantenimiento.	Altas economías de escala, bajos costos de mantenimiento.

**Tabla 4.1.** *Diferencias instrumento virtual vs tradicional*

La flexibilidad, el bajo costo de mantenimiento, la reusabilidad, la personalización de cada instrumento, la rápida incorporación de nuevas tecnologías, el bajo costo por función, el bajo costo por canal, etc... son algunos de los beneficios que ofrece la instrumentación virtual.

La instrumentación virtual puede también ser implementada en equipos móviles (laptops), equipos distribuidos en campo (RS-485), equipos a distancia (conectados vía radio, ethernet, etc.), o equipos industriales (NEMA 4X, etc.). Existe una tarjeta de adquisición de datos para casi cualquier bus o canal de comunicación en PCs (ISA, PCI, USB, serial RS-232/485, paralelo EPP, PCMCIA, CompactPCI, etc.).

Por ejemplo, las técnicas utilizadas normalmente para evaluar las características de medición de un multímetro digital (DMM o Digital Multi-Meter) pueden ser utilizadas para evaluar las características de medición de un instrumento virtual (VMM o Virtual Multi-Meter). Entre dichas características se encuentran las siguientes:

	<b>DMM</b>	<b>VMM con tarjeta especializada</b>	<b>VMM con tarjeta de propósito general</b>
<b>Hardware utilizado</b>	HP 34401 A DMM	DAQCard 4050	PCI-MIO-16XE-10
<b>No. de Canales</b>	1	1	16 (Diferencial)

	<b>DMM</b>	<b>VMM con tarjeta especializada</b>	<b>VMM con tarjeta de propósito general</b>
<b>Conversión AC</b>	True RMS	True RMS	True RMS (por software)
<b>Resolución (convertidor de 16-bits)</b>	6 1/2 - 4 1/2 dígitos	5 1/2 dígitos	4 1/2 dígitos
<b>Rango de entrada (ACV)</b>	100 mV - 750 V	20 mV - 250 V	100mV - 250 V (con acondicionamiento SCXI)
<b>Sensibilidad (ACV)</b>	0.1 uV	0.1 uV	1.5 uV
<b>Rango de Entrada (DCV)</b>	100 mV - 1000 V	20 mV - 250 V	100 mV - 250 V
<b>Sensibilidad (DCV)</b>	0.1 uV	0.1 uV	1.5 uV
<b>NMRR</b>	60 dB	80 dB	variable (80-120 dB)
<b>CMRR</b>	70 dB (AC), 140 dB (DC)	90 dB (AC), 30 dB (DC)	variable (80-120 dB)
<b>Velocidad de medición (lecturas/seg.)</b>	5-1 K lecturas/seg	10, 50, 60 K lecturas/seg	100 K lecturas/seg

**Tabla 4.2. Ejemplo Multímetro Digital Tradicional vs Multímetro Virtual**

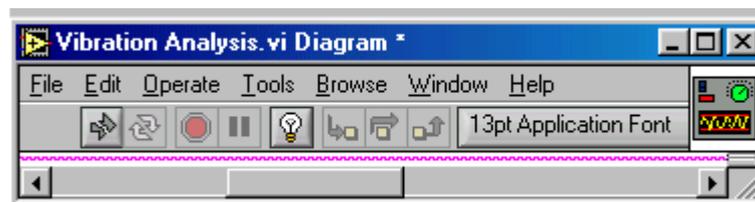
Un instrumento virtual puede realizar las tres funciones básicas de un instrumento convencional: adquisición, análisis y presentación de datos. Sin

embargo, el instrumento virtual permite personalizar el instrumento, y agregarle mucha más funcionalidad sin incurrir en costos adicionales. El instrumento virtual se apalanca en la flexibilidad y poder del PC, y mediante el software que lo acompaña, el nivel de adaptabilidad y personalización del instrumento virtual es casi ilimitado.

#### 4.3.1.3. ENTORNO DE TRABAJO DE LABVIEW

Los elementos de trabajo básicos del entorno *LabVIEW* son los menús de la ventana de aplicación, la paleta de herramientas, la paleta de controles y la paleta de funciones.

**Menús de Ventanas:** En los menús ventanas es análogo al de las aplicaciones de Windows con la incorporación de nuevas funcionalidades específicas de LabVIEW. Es donde están recogidas las funcionalidades típicas como operaciones de fichero (nuevo, guardar, propiedades, etc.), operaciones de edición (cortar, pegar, etc.), temas específicos de operación, herramientas, buscador, aspectos de ventana y de ayuda.



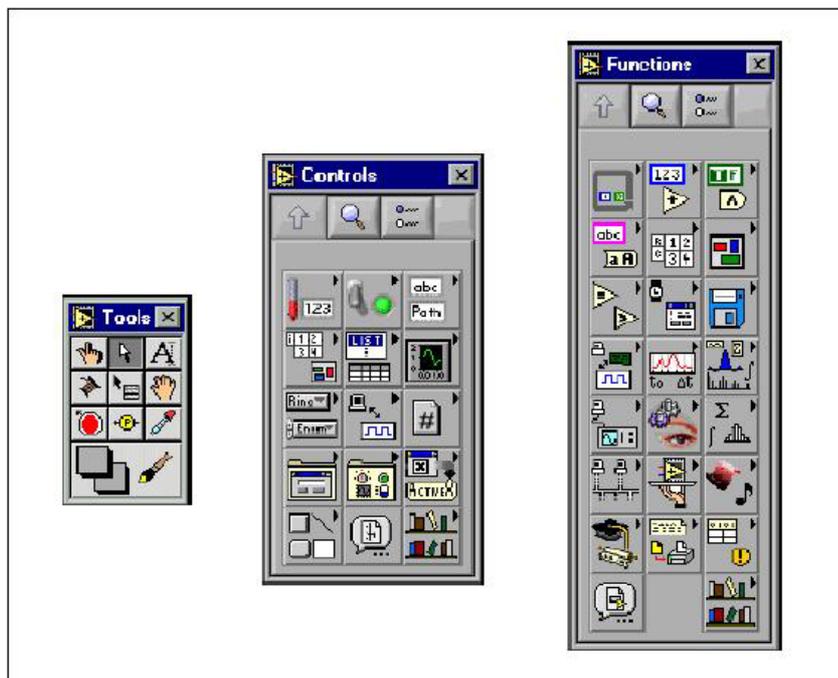
**Figura 4.3.** Menús de ventana

**Paleta de Herramientas:** Es accesible tanto desde el panel frontal como desde el diagrama de bloques. Una herramienta de dicha paleta es un modo de operación especial del cursor del ratón. Al seleccionar una herramienta el icono del cursor cambia su aspecto al de la herramienta seleccionada. Las Herramientas se usan para modificar los objetos del panel frontal y del

diagrama de bloques. En la figura 3.2 se puede ver el aspecto de la *Tool Palette*.

**Paleta de Controles:** Tan sólo es accesible desde el panel frontal, y contiene los controles e indicadores que se usan para diseñar la interfaz de usuario. En la figura 3.2 se puede ver esta paleta de controles.

**Paleta de Funciones:** Es accesible sólo desde el diagrama de bloques y contiene los objetos utilizados para programar las VIs, tales como funciones aritméticas, lógicas, de cadenas de caracteres, de manejo de ficheros, bucles, adquisición de datos, etc. En la figura 4.4 se puede ver el aspecto de la paleta de funciones.



**Figura 4.4.** De Izquierda a Derecha: Paletas de Herramientas, Controles y Funciones

#### 4.3.1.4. PRINCIPALES MOTIVOS DE LA ELECCIÓN DE LABVIEW

Los sistemas automáticos y de medida tradicionales consisten en un conjunto de instrumentos caros y cerrados diseñados para una tarea

específica. Normalmente en estos sistemas es necesario diseñar todo desde abajo a arriba, y programar todo el software de control del sistema que es totalmente dependiente del hardware. En los sistemas tradicionales el hardware define el sistema.

Al usar instrumentos basados en computadores cambia todo, ya que se pueden sistemas automáticos y de medida con la ventaja de usar una tecnología de PC, flexible y de bajo costo.

El concepto de instrumentación virtual permite al usuario diseñar su propia solución mediante un software de desarrollo integrado en el ordenador para una amplia variedad de hardware de medida. Con una solución basada en LabVIEW es posible la adquisición de datos de varios dispositivos hardware, definir una aplicación para analizar o tomar decisiones según los datos adquiridos y entonces representar los datos de varias formas como interfaces gráficas, páginas web, bases de datos, archivos, etc.

LabVIEW proporciona la flexibilidad de un lenguaje de programación potente pero sin la complejidad de los entornos de programación tradicionales ya que usa un entorno de programación gráfico e intuitivo.

Tiene una buena integración con los instrumentos y dispositivos de medida, que permite configurar rápidamente cualquier dispositivo de medida y usarlos virtualmente, desde tarjetas de adquisición de datos a controladores de movimiento, sistemas adquisición de imágenes o PLCs.

Además se puede comunicar con otras aplicaciones y compartir datos a través de ActiveX, la Web, DLLs, SQL, librerías compartidas, TCP/IP, XML, OPC, etc. Esto permite crear aplicaciones flexibles y abiertas que pueden comunicarse con otras aplicaciones.

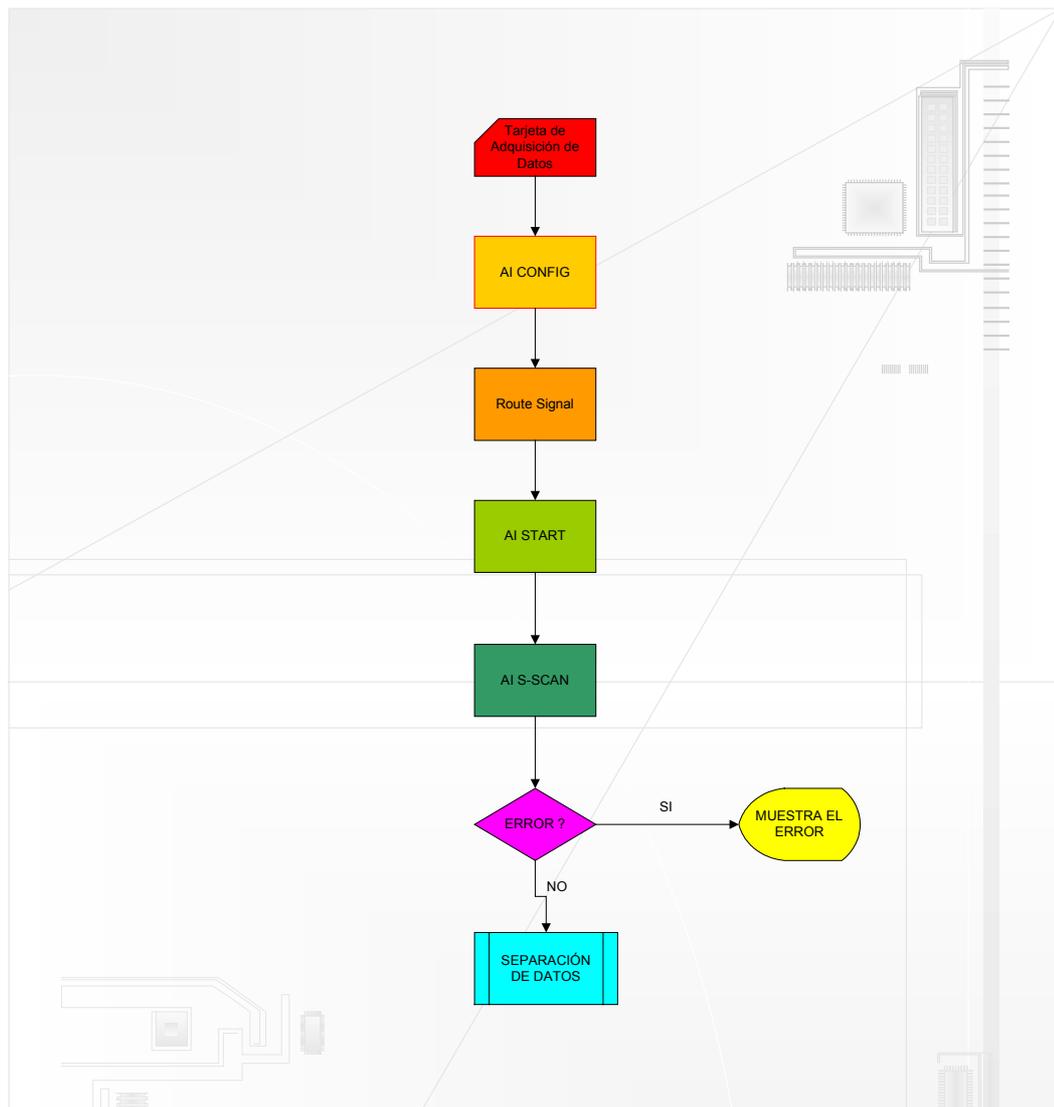
#### **4.4. FUNCIONES IMPLEMENTEDAS**

A continuación vamos a explicar el funcionamiento de las funciones implementadas para la realización de este proyecto.

Todo el proceso que se realiza mediante el software se puede dividir en cuatro grupos; adquisición, tratamiento, monitorización y almacenamiento de datos. Por ello para la explicación del software involucrado haremos esa distinción, lo que nos ayudará a comprender mejor el funcionamiento.

##### *4.4.1. ADQUISICIÓN DE DATOS*

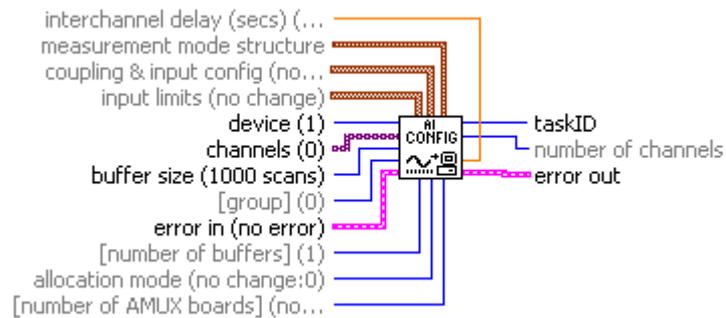
La adquisición de datos analógicos en LabVIEW se basa en una serie de funciones disponibles en la librería *anlogin.llb*, que permiten la captura de información a través de los canales de entrada analógica de la tarjeta DAQ con diferentes opciones.



**Figura 4.5.** Diagrama de flujo para la adquisición de datos

En concreto, para la Captura de Datos utilizamos una serie de funciones:

**AI CONFIG:** esta función permite seleccionar los canales desde donde van a proceder los datos de las entradas analógicas. Este VI permite configurar el hardware y el buffer de datos.



**Figura 4.6.** Función AI CONFIG

A continuación indicamos los parámetros y los valores que utilizamos en nuestro caso:

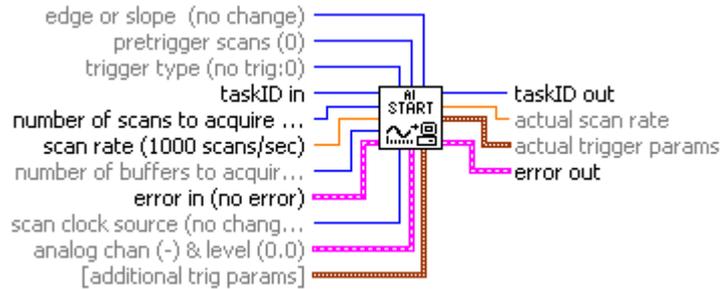
- Device: este parámetro indica el dispositivo de National Instruments desde el cual se adquiere los datos, que en nuestro caso es PCI-DAQ 6024-E. Para referirnos a este dispositivo le hemos asignado el número 1.
- Channels: este parámetro crea una variable en el panel frontal desde la cual podemos seleccionar los canales desde los que recibir los datos.
- Se pueden ir almacenando en la memoria un número de datos durante la adquisición de estos, es con este parámetro con el que se establece este número de datos almacenados.
- Task, este parámetro hace identifica la tarea que se está realizando, esta etiqueta, será usada por el resto de funciones de adquisición de datos y funciones de error.
- Error, identifica el tipo de error que pueda ocurrir durante el proceso realizado por las funciones de adquisición de datos, este error será mostrado al llegar a la función Error.

*ROUTE SIGNAL*; se usa este VI para encaminar una señal especificada como entrada o salida.



**Figura 4.7. Función Route Signal**

*AI START*; se usa este VI para empezar a almacenar datos. Con esta función podemos establecer el periodo de muestreo, el número de muestras a adquirir, las condiciones del trigger.

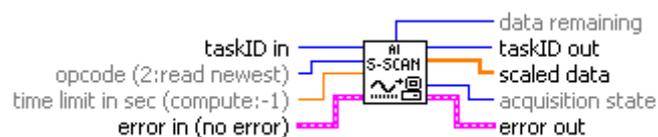


**Figura 4.8. Función AI START**

Los parámetros que utilizamos son:

- TaskID in se utiliza para tener identificada la tarea en la que se está cada momento. Esta unido a taskID out de la función Route Signal.
- Error out indica si ha ocurrido algún error durante el desarrollo de esta función, va unido a error in de la función AI S-SCAN.
- Scan rate, es el número de muestras a adquirir. Equivale al tiempo de muestreo por canal. En nuestro caso tiene un valor de 10 muestras/seg.
- Number of scans to acquire, es el número total de muestras que LabVIEW adquiere antes de completar al adquisición. Una muestra es un punto por canal. En nuestro caso tiene un valor de 0, que significa la adquisición continua.

*AI-S SCAN*, devuelve una muestra adquirida desde los canales de la tarjeta de adquisición de datos, si los datos no son almacenados o una muestra de los datos que habían sido almacenadas.

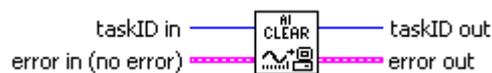


**Figura 4.9.** *Función AI S-SCAN*

En esta función los parámetros utilizados son los siguientes:

- TaskID in se utiliza para tener identificada la tarea en la que se está cada momento. Esta unido a taskID out de la función AI-START. TaskID out está unido a TaskID in de AI CLEAR.
- Error out indica si ha ocurrido algún error durante el desarrollo de esta función, va unido a error in de la función AI CLEAR. También error in está unido a error out de AI-START.
- Opcode, especifica el tipo de datos que son recuperados por el VI, en nuestro caso es *read oldest data*.
- Scaled data, contiene los datos adquiridos, se crea una especie de matriz en donde cada fila contiene los datos de un canal distinto, de esta forma, se pueden separar estos datos y trabajar con los datos de cada canal con los criterios que se establezcan para cada uno.

**AI CLEAR**, limpia todas la tareas asociadas a la tarea identificada con TaskID in.

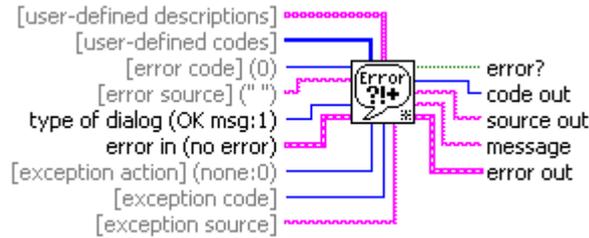


**Figura 4.10.** *Función AI CLEAR*

Los parámetros utilizados son:

- TaskID in se utiliza para tener identificada la tarea en la que se está cada momento. Esta unido a taskID out de la función ERROR.
- Error out indica si ha ocurrido algún error durante el desarrollo de esta función, va unido a error in de la función AI CLEAR. También error in está unido a error out de AI S-SCAN.

**ERROR**, esta función indica si ha ocurrido un error en algún momento. Cuando ocurre algún error da una pequeña descripción del mismo. También existe la opción de un diálogo indicando el error que ha aparecido y preguntando cual es el siguiente paso.

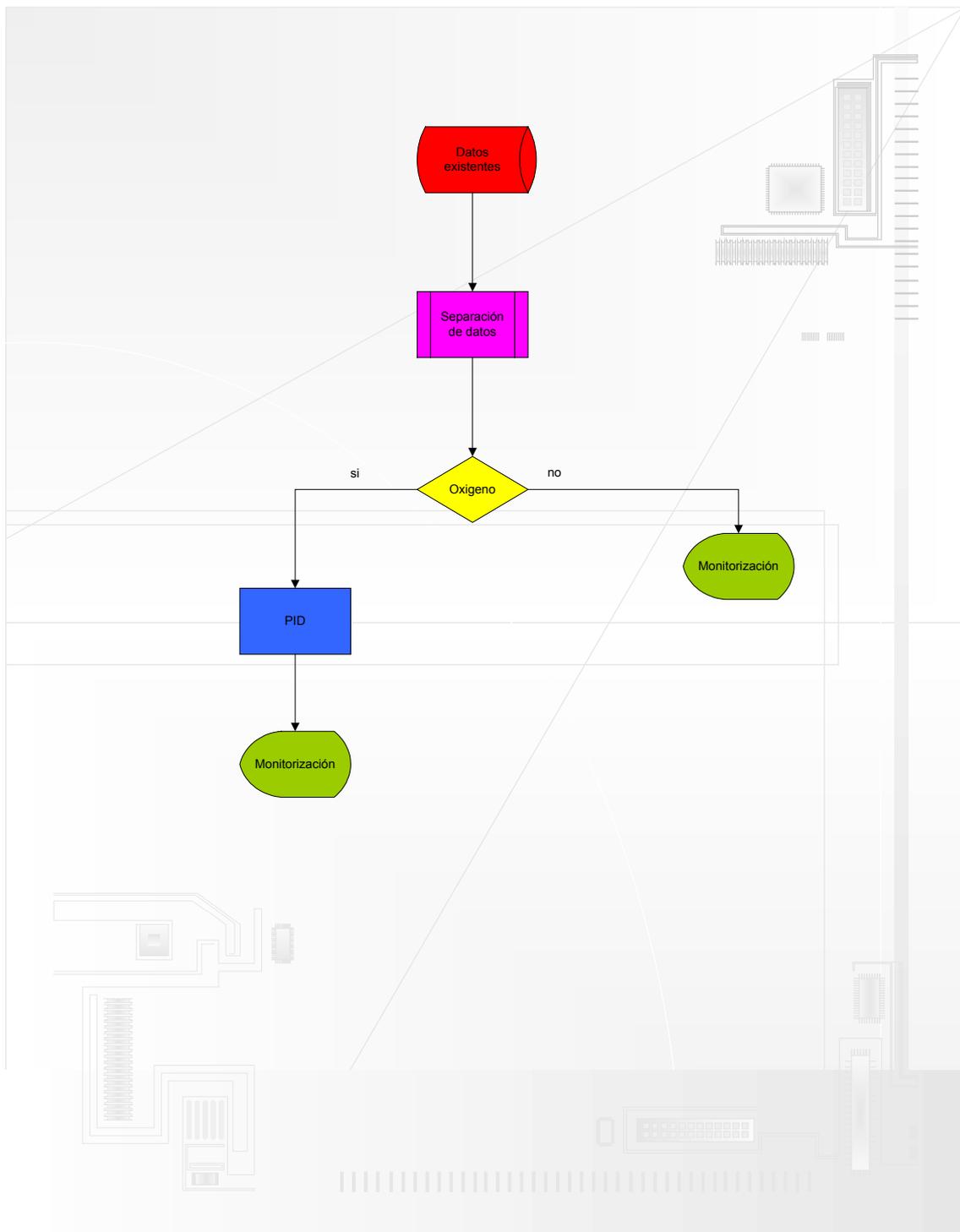


**Figura 4.11.** *Función ERROR*

El único parámetro que utilizamos es error in, en este parámetro se indica si ha ocurrido algún error durante el desarrollo del proceso y qué tipo de error.

#### 4.4.2. TRATAMIENTO DE DATOS

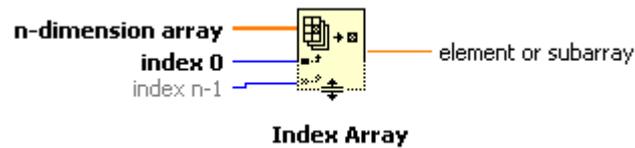
El tratamiento de los datos dependerá del tipo de datos de que se trate, para la humedad y temperatura sólo se realizará una monitorización y almacenamiento de ellos. Por el contrario con los datos referentes a la concentración de oxígeno existente en el interior de la cámara se realizará, además de la monitorización y almacenamiento de ellos se utilizarán para la realización de un control PID con el que podremos controlar en cada momento la mezcla de gases.



**Figura 4.12.** Diagrama de flujo para el tratamiento de datos

Los datos proceden de la función AI S-SCAN como comentamos anteriormente para poder separar los datos referentes a humedad, temperatura y oxígeno, es necesario separarlos, ya que vienen dados como en una matriz,

para ello utilizamos un elemento en el que indicamos el índice de la matriz que queremos extraer teniendo de esta manera los distintos datos.



**Figura 4.13.** *Función Index Array*

Los datos vienen datos en voltaje, para poder monitorizarlos con las unidades que deseamos es necesario convertirlos según las siguientes ecuaciones:

Para humedad:

$$\% = ((1000 * X) - 1079) / 25,68$$

Para temperatura:

$$^{\circ}\text{C} = 10 * X$$

Para el oxígeno:

$$\% = (20,9 * x) / 4.93$$

Interfaz para la monitorización:

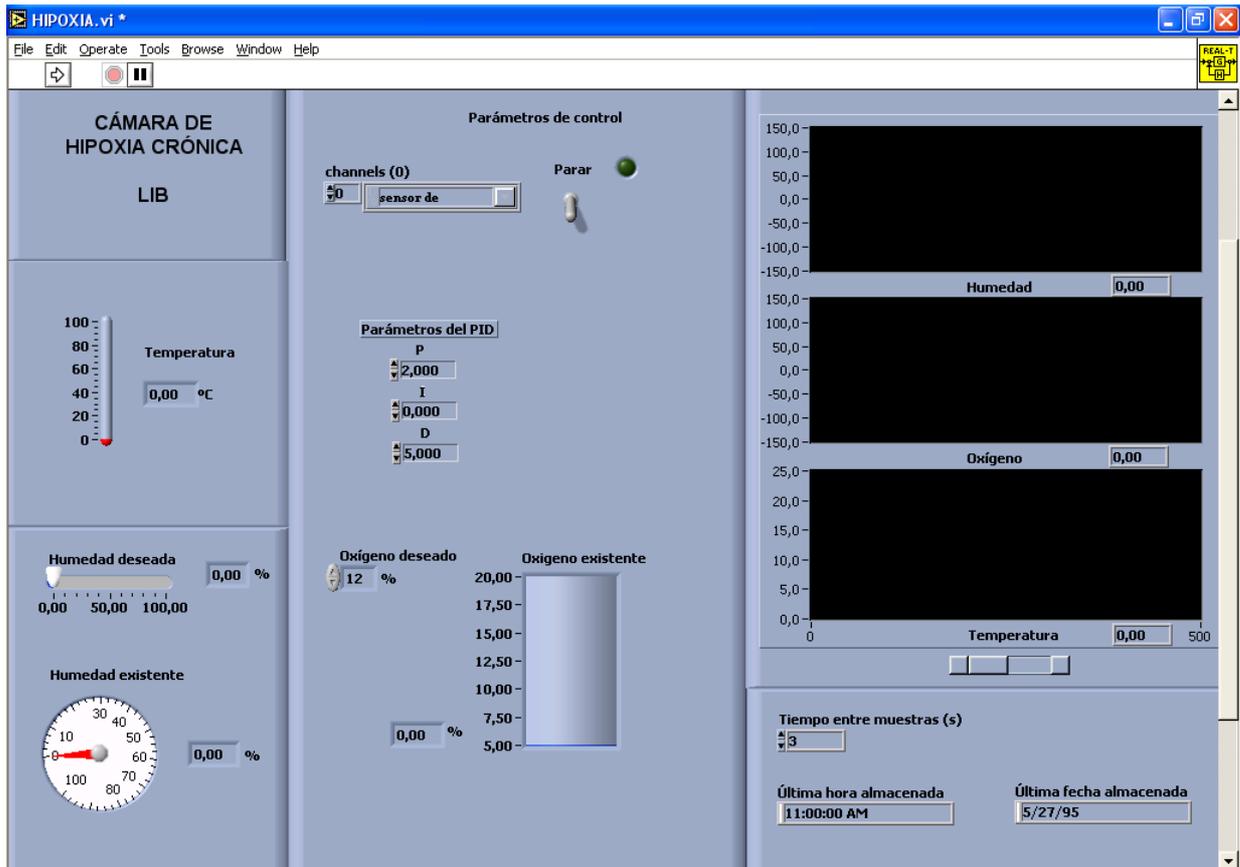


Figura 4.14. Interfaz para la monitorización de las señales

En el caso de los datos procedentes del sensor de oxígeno no sólo se usan para su monitorización y almacenado, sino que son utilizados para realizar el control PID con el que regular la mezcla de gases en el interior de la cámara.

Antes de explicar como hemos realizado este control PID mediante software, vamos a dar una pequeña explicación de en qué consiste un control PID.

En el diagrama de bloques el control PID aparece como un SubVI, tal como muestra la Figura 4.15.

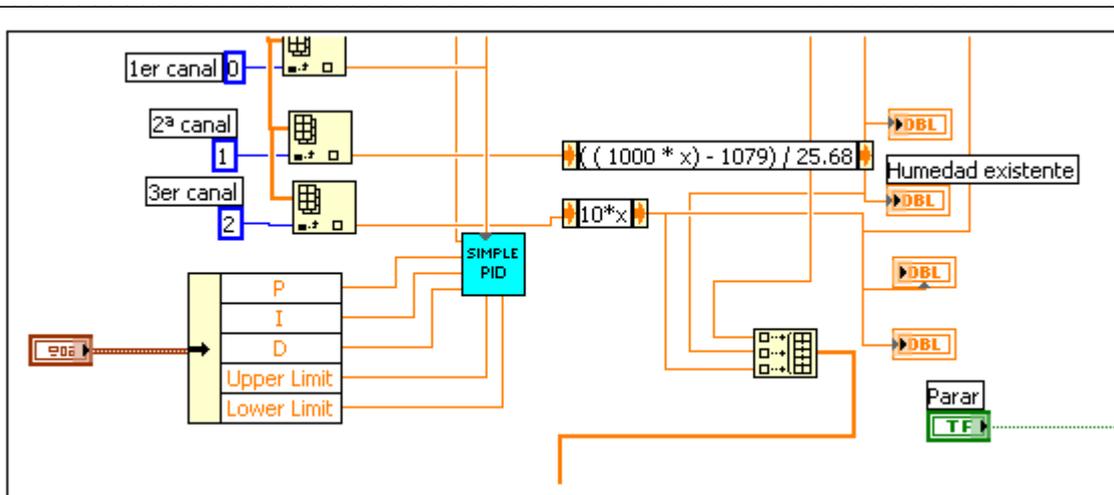


Figura 4.15. Simple PID

El código de este control aparece en la siguiente figura.

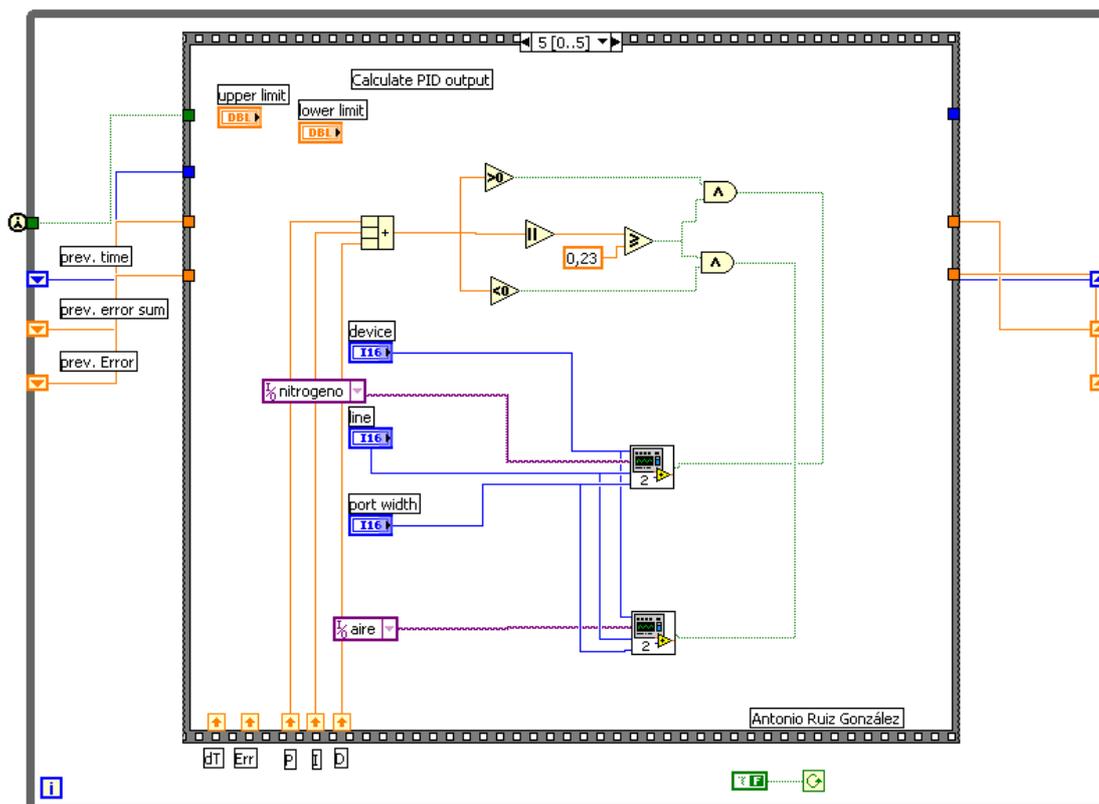
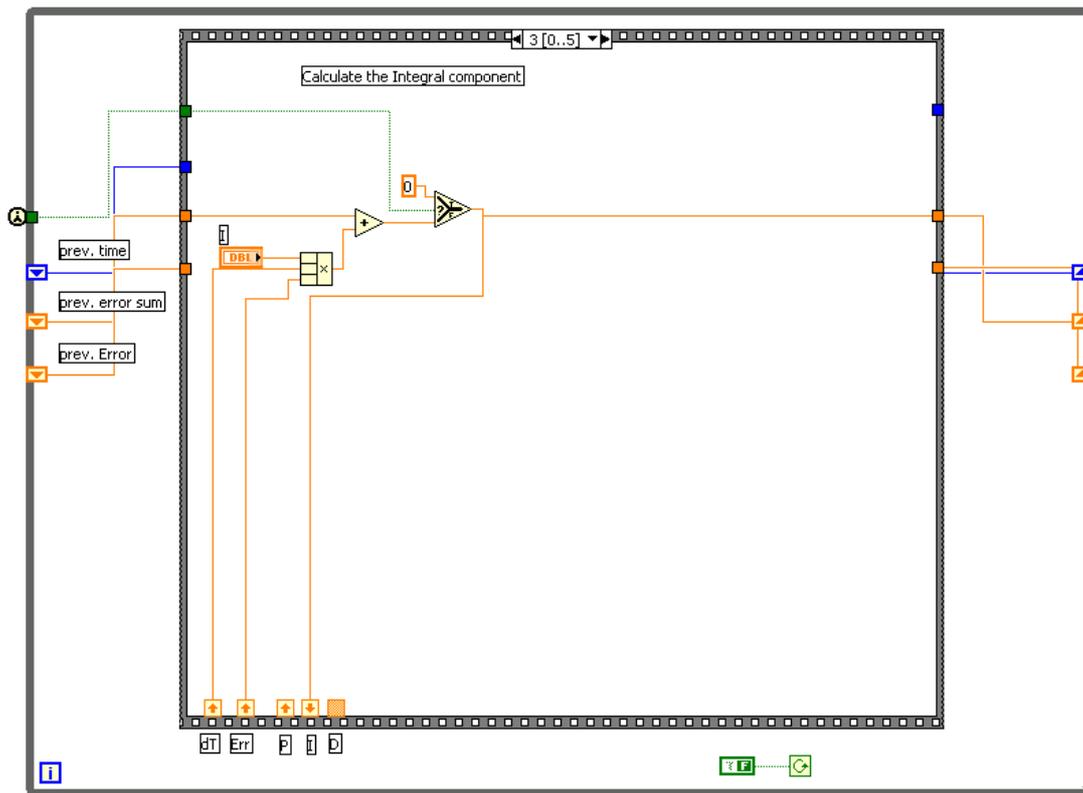


Figura 4.16. Diagrama de bloques del control PID

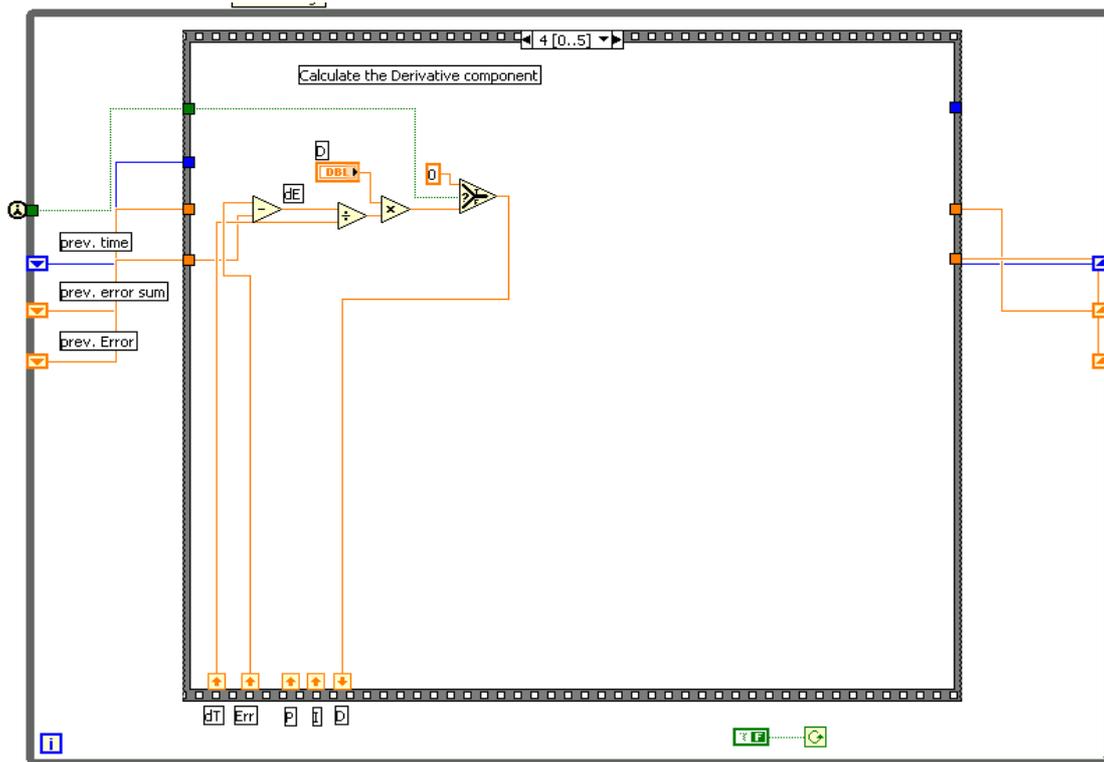
Esto es un simple PID el cual se usa para controlar el sistema. La idea de un PID es controlar el sistema por comparación entre el punto que hemos establecido y el valor real de la variable a controlar, dando una salida a los





**Figura 4.18.** Código para la componente integral

D es la componente derivativa. Gracias a esta componente el control PID tendrá en cuenta que es lo que ha ocurrirá en el futuro. Su código es el de la Figura 4.19.



**Figura 4.19.** Código para la componente derivativa

#### 4.4.3. Almacenamiento de datos

Los datos deseados como el oxígeno existente dentro de la cámara, la humedad y la temperatura, tras ser recogidos por los sensores son almacenados en un archivo de Excel, el cual ha sido creado al inicio de la ejecución del programa o bien reemplazando los datos existentes en un archivo ya creado. Esto se consigue mediante la función *Write Character To File.vi*.

En este archivo a demás de los datos procedentes de los sensores también es almacenado la fecha y hora en que ha sido capturados. Esto se consigue mediante la función *CREATE DATA STRING*.

También se podrá elegir el tiempo entre las muestras a almacenar. Esto se consigue mediante la función *MULTI DELAY*.

A continuación se muestra el código que permite todo esto.



# Capítulo 5

## PRESUPUESTO

### 5. PRESUPUESTO

A continuación desglosaremos los precios necesarios para la elaboración de este Proyecto Fin de Carrera.

EMPRESA A LA QUE SE SOLICITA	PRODUCTO	COSTE
Qubit Systems Inc.	Sensor de Oxígeno	375,00 €
Humirel	Sensor de Humedad	140,00 €
Domótica.net	Sensor de Temperatura	33,25 €
National Instruments	PCI-6024	929,25 €
National Instruments	Cable Conector	86,36 €
National Instruments	Bloque Conector	124,27 €
National Instruments	LabVIEW	1010,60 €
Vacuum Technology s.r.l	Bomba Extractora	300,00 €
Danfoss	Electrovalvulas	300,00 €
Faberplas	Cámara de metacrilato	1324,72 €
Leroy Merlin	Circuito del aire	120,00 €
UPI	PC	1000,00 €
MLEON	Componentes Electrónicos	300,00 €
	<b>TOTAL</b>	<b>6.043,45 €</b>

# Capítulo 6

## CONCLUSIONES Y AMPLIACIONES FUTURAS

### 6. CONCLUSIONES Y AMPLIACIONES FUTURAS

#### 6.1. CONCLUSIONES

A lo largo de esta memoria se ha descrito con profundidad el proceso de diseño e implementación de la Cámara de Hipoxia Crónica. A pesar de que las soluciones aportadas pueden resultar obvias a posteriori, son fruto de un largo proceso de análisis del problema y de las posibles alternativas para satisfacer las especificaciones definidas en el capítulo 1.

En primer lugar, la dimensiones de esta nueva cámara hace que se solucione el problema de poder tener en un mismo experimento un número mayor de animales para su posterior estudio.

El control PID implementado hace solucionar los problemas de control de gases, además de poder variar de forma fácil la concentración de las mezclas en el interior de la cámara. Aportando una gran flexibilidad en los experimentos a realizar.

Los datos obtenidos con los sensores aportan un elevado grado seguridad en los datos obtenidos por los científicos que utilizan esta Cámara de Hipoxia, dotando de una gran exactitud los estudios realizados.

En definitiva, se trata de un proyecto muy completo, que abarca múltiples y diferentes aspectos tecnológicos, integrando software y hardware. Sin olvidar el estudio previo para realización de esta nueva Cámara, pensando en la mejor forma de llevar a cabo las especificaciones requeridas, además de la posterior búsqueda de los distintos materiales en todo el mundo hasta encontrar los que mejor se adaptan para la consecución de este Proyecto Fin de Carrera.

## **6.2. Ampliaciones futuras**

### 6.2.1. Monitorización y Control de ATE Móvil vía Intranet-Internet

Hoy en día la Web es parte esencial en la manera que operan los negocios. La Web no solamente ofrece una manera de ganar visibilidad, compartir información y vender productos, además brinda el poder de mejorar la manera en que se diseñan, manufacturan y se prueban productos. Se puede usar la Web como una herramienta para reducir el tiempo de diseño, asegurar calidad y compartir información a lo largo de la empresa.

Así como los avances en la tecnología de las PCs transformaron la manera en que se automatizan las mediciones y el control, las redes están revolucionando la arquitectura fundamental de los sistemas de medición basados en PC. Algunos proponen que las nuevas tecnologías de red están propiciando una era "Post-PC ", pero las redes no están anticuando a los PCs sólo están revolucionando este tipo de sistemas. Los componentes básicos que se encuentran en un PC como procesadores, memoria, almacenamiento y despliegue siguen siendo bloques de construcción, pero ya no tienen que ser empaquetados como una sola unidad. Con las tecnologías de red, se pueden distribuir estos componentes a los lugares más apropiados para la aplicación. La plataforma sigue fundamentalmente la misma, pero las capacidades de distribución se han mejorado radicalmente. Al usar las tecnologías de red en los sistemas de medición, se puede distribuir procesamiento adicional para análisis en el centro de control, almacenar información post-análisis en bases

de datos corporativas y desplegar información clave a clientes o empleados de la empresa alrededor del mundo vía un browser Web. La herramienta esencial que se necesita para amarrar todas las piezas es el software. LabVIEW provee una plataforma para diseñar un sistema de prueba que toma ventaja de las tecnologías más recientes mientras el ambiente sigue enfocado a desarrollar las aplicaciones rápidamente.

Existen muchas tecnologías disponibles para compartir información y datos a través de la Web y es útil entender algunas de las clasificaciones básicas antes de comentar su posible aplicación. Por conveniencia y claridad se ha dividido las aplicaciones en tres diferentes tipos:

**Publicación de Datos** es generar un informe Web estático de los resultados de las pruebas que después se puede compartir con otros. Esta función es la versión electrónica del tradicional informe impreso pero tiene la ventaja de ser fácilmente accedido a través de un browser Web estándar.

**Compartir Datos** expande las funciones de la publicación de datos para incluir la transferencia de datos entre computadoras donde diferentes tipos de análisis se pueden realizar dependiendo de las necesidades de ese ingeniero en particular. Algunas aplicaciones requieren la transferencia de datos para almacenamiento, procesamiento o monitoreo adicional. Por ejemplo, un ingeniero puede actualizar los parámetros de entrada mientras la prueba sigue en progreso.

**Control Remoto** expande el concepto de sólo compartir datos para habilitar otra computadora a que se conecte a la prueba y lo controle remotamente.

*Publicación de datos:*

El uso de la Web para distribuir información, como la actualización continua de acciones en el mercado bursátil se ha vuelto parte del día a día. De

la misma manera que la Web provee esta información diaria, es el medio ideal para compartir los resultados de las pruebas con otros. Una de las maneras más fáciles de compartir información a través de la red es publicando un informe o resumen. Estos informes le ayudan a diseminar información vital rápidamente a varios grupos.

Con el servidor Web ya incluido en LabVIEW se puede publicar el panel frontal de una aplicación sin tener que invertir tiempo adicional de desarrollo al proyecto. Una preferencia de configuración se selecciona para que el servidor Web comience a generar imágenes del panel frontal que puedan ser accedidas vía un Web browser. Algunas veces se querrá extender la capacidad de los informes más allá de la publicación de una imagen del panel frontal, como la creación de un informe que incluya tablas, listas, información del operador, gráficas con fechas y horas y análisis presentado en el panel frontal de LabVIEW. También se puede emplear las funciones de generación de informes en formato HTML listas para publicarse en la Web. Estas funciones documentan profesionalmente los resultados de una aplicación rápido y fácilmente al añadir gráficas, paneles, listas y tablas haciendo más fácil la integración de las aplicaciones a la Web.

Muchas veces también se querrá generar informes usando aplicaciones estándar como Microsoft Word o Excel. El Report Generation Toolkit para Microsoft Office se le puede añadir fácilmente a LabVIEW para proveer funciones de alto nivel que facilitan la creación de este tipo de informes. No se necesita conocer la interfaz jerárquica de ActiveX para interactuar con Microsoft Word o Excel porque estas funciones de alto nivel incorporan las herramientas más comunes para que se pueda generar informes profesionales. Además de la habilidad de crear informes para uso interno, este toolkit también tiene funciones que se pueden usar para generar páginas HTML desde Microsoft Word o Excel de esta manera los informes se pueden compartir fácilmente con el mundo.

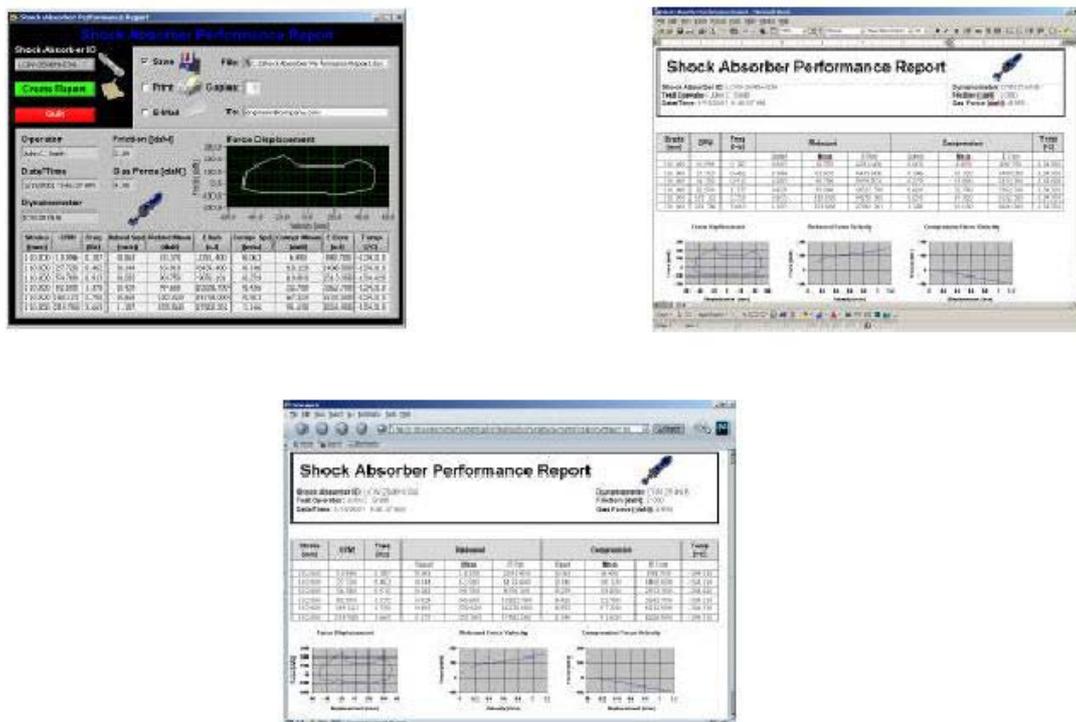


Figura 6.1. Generación de informes en Word, Excel o en páginas HTML

Mientras que se ha hablado de los métodos más comunes para permitir la compartición y visualización de datos a través de la Web, existen muchos otros métodos. Con el Internet toolkit, LabVIEW también soporta el uso de FTP para transferir datos de archivo a través de la Web. Los sitios FTP son una buena solución para compartir archivos grandes que no es apropiado enviar vía correo electrónico y que puede ser difícil crear páginas HTML alrededor de ellos.

Rápidamente puede observarse que la web se ha vuelto el medio preferido para diseminar datos de prueba porque es fácil crear informes y enviar actualizaciones. Además con las herramientas ya incluidas en LabVIEW es fácil aprovechar estas tecnologías.

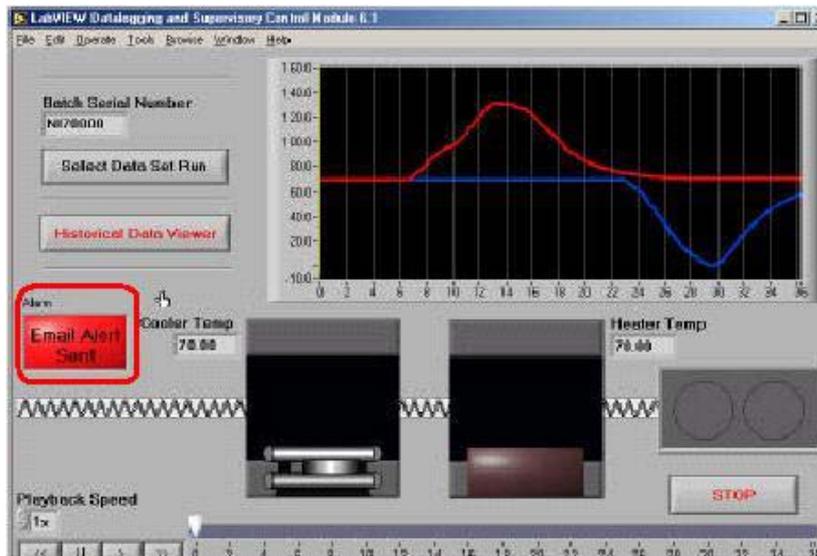
**Compartir datos:**

Un informe ofrece una vista estática de información compilada. Mientras este nos entrega un resumen fácil de leer de una prueba completa, no provee una manera fácil de acceder a los datos que crearon el informe. En muchas aplicaciones el acceso en tiempo real a los datos adquiridos es necesario para

controlar o monitorear un proceso o realizar una prueba a lo largo de la red. Los resultados de un proceso de medición y automatización pueden ser transferidos directamente al siguiente proceso. En este tipo de aplicaciones, lo importante es el compartir la información contrario a las aplicaciones de informe de datos donde la visualización estática con un informe o página Web son suficientes.

Para compartir datos, XML se está volviendo rápidamente en el método estándar para transferir datos en modo de texto legible, el cual fácilmente se puede desplegar en páginas Web. Gracias al estándar universal XML se puede generar un informe Web con un conjunto definido de datos los cuales se pueden pasar fácilmente a otras aplicaciones. Ya que los datos están ampliamente disponibles, otras aplicaciones pueden bajar cualquier documento XML, partir los datos y posteriormente realizar análisis especializado. Se puede aprovechar esta nueva tecnología porque LabVIEW provee funciones ya incluidas que pueden crear o leer documentos XML.

Otro método de compartir datos directamente con otras áreas de la empresa es a través del uso de DataSocket. Usando DataSocket, una tecnología de National Instruments construida encima de TCP/IP, rápidamente se puede transferir datos entre computadores y aplicaciones. Las implementaciones con DataSocket no requieren tiempo de desarrollo extra ya que habilita una gráfica u otro objeto en el panel a transferir los datos que se están desplegando a través de la red. Ya que DataSocket también esta implementado como un control ActiveX, un Java Bean y un componente de Measurement Studio para C/C++ y Visual Basic, se puede incorporar esta tecnología en varias aplicaciones. Para suscribirse al servidor DataSocket del objeto que contiene los datos estas aplicaciones usan una dirección URL para empezar a recibir datos y las actualizaciones que se envíen.



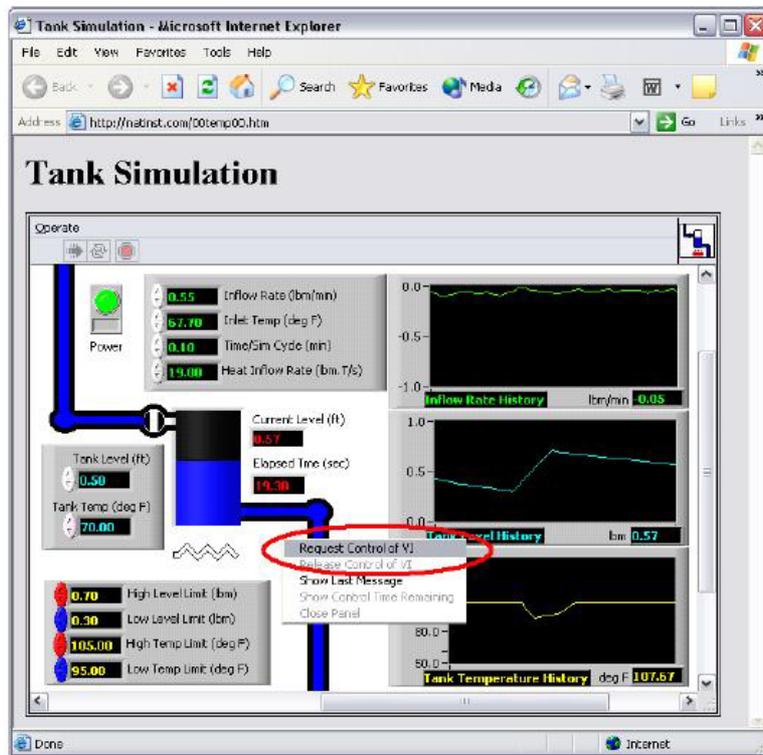
**Figura 6.2.** *Ejemplo de Envío de correo electrónico por alarma*

También se puede aprovechar el teléfono móvil para desarrollar una aplicación. Con el Internet toolkit, LabVIEW se puede usar para enviar un correo electrónico de alarma (ver figura 6.5). Las notificaciones electrónicas después pueden ser creadas por los operadores que usan teléfonos móviles para recibir alertas cuando ciertos valores del proceso exceden límites establecidos. El operador recibe actualizaciones a medida que la prueba se lleva a cabo y así usar su tiempo en tareas más productivas.

#### *Control Remoto:*

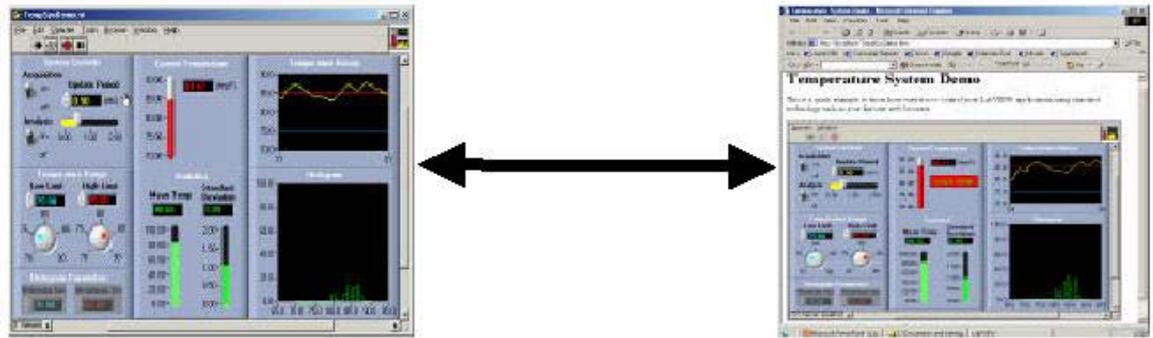
Al usar control remoto, un ingeniero puede controlar la ejecución de un sistema desde otra computadora en un lugar remoto. Puede ser que se quiera realizar monitorización y control remoto, o correr un diagnóstico mientras el sistema se dedica a ejecutar la adquisición y control. Algunas veces las pruebas están diseñadas para correr por largos periodos de tiempo pero en ciertos intervalos los parámetros deben cambiarse o empezar la ejecución de otras pruebas. El operador de la prueba no quiere estar manejando de casa al trabajo los fines de semana o por la noche solo para hacer pequeñas modificaciones a la prueba, así que el operador puede entrar a la red desde su

casa, conectarse a la prueba y hacer los cambios como si el o ella estuviera en el sitio.



**Figura 6.3.** Ejemplo de Control Remoto vía web

Con LabVIEW la ejecución remota para cualquier aplicación se logra con unos cuantos clicks del ratón. Sin programación adicional se puede configurar cualquier programa en LabVIEW para lograr control remoto a través de un Web browser. El usuario simplemente direcciona el Web browser a la página Web asociada con la aplicación. Después la interfase de usuario que aparece en el Web browser es completamente accesible al usuario remoto. La adquisición sigue en proceso en la computadora anfitriona o host, pero el usuario remoto tiene control completo de la aplicación. Otros usuarios también pueden direccionar su Web browser al mismo URL para visualizar la prueba. Para evitar confusión solo un cliente a la vez puede controlar la aplicación, pero ese control se puede pasar fácilmente entre varios clientes durante la ejecución. En cualquier momento durante el proceso la computadora anfitriona puede recuperar el control de la aplicación de cualquiera de los usuarios remotos que tengan el control.



**Figura 6.4.** Volcado de VI a página web

Usando las herramientas incluidas en LabVIEW se pueden aprovechar las poderosas tecnologías de red para aplicaciones basadas en Web a través de una interfaz común como lo es un Web browser. Asimismo estas mismas herramientas permiten usar las tecnologías más recientes de Windows con las aplicaciones de LabVIEW.

Algunas otras veces se querrá usar un Web browser para iniciar la aplicación de medición y automatización pero no controlar el instrumental. En este caso un operador puede acceder a la computadora, colocar ciertos parámetros y después ejecutar la aplicación. Esto se puede lograr usando CGI. Con CGI se puede comunicar con un programa servidor o un script ejecutado por un servidor HTTP en respuesta a una petición confirmada en HTTP de un Web browser. Este programa normalmente construye dinámicamente una página HTML accediendo a otras fuentes de datos como bases de datos. Como parte de la petición de http, el browser puede enviar al servidor parámetros que después se usen en la aplicación.

### 6.2.1. Mejora del circuito de limpieza del aire.

Una posible ampliación sería la mejora del circuito de limpieza de aire. Esta mejora consistiría en la adquisición de un nuevo sistema de extracción del aire, sin contaminarlo, junto con unos filtros de mayor volumen para tener de

esta manera la posibilidad de introducir más animales, además de tener una mayor cantidad de horas sin tener que recargar los filtros.

## *BIBLIOGRAFÍA*

- LABVIEW 6.1 GETTING STARTED MANUAL. National Instruments.
- LABVIEW 6.1 USER MANUAL. National Instruments.
- WEB DE NATIONAL INSTRUMENTS. Dispone de una amplia variedad de artículos y una vasta información sobre instrumentación virtual. Muy útil en este proyecto. [www.ni.com](http://www.ni.com).
- Faulkenberry L.M.: *Introducción a los amplificadores operacionales: con aplicaciones a CI lineales*, Limusa, 1990.
- Malvino A.P.: *Principios de electrónica*, McGraw-Hill, 1993,639-817.
- Marchais J.C.: *El amplificador operacional y sus aplicaciones*, Marcombo-Boixareu, 1974,73-124.
- Manuel A. et al.: *Instrumentación virtual: adquisición, procesado y análisis de señales*, Edicions UPC, 2001.
- Agilent Technologies: *VEE Pro User's Guide*, 20-74
- Proakis J.: *Tratamiento digital de señales*, Prentice Hall, 1998.
- Helfrick A.D. y Cooper W.D.: *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*, Prentice-Hall Hispanoamericana, 1991.

*ANEXOS*