



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICA Y NATURALES

## **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON FINES DIDÁCTICOS**

Trabajo Final para obtener el grado de Ingeniero Aeronáutico

Autor: Stuchi, Fabricio

Director: Ing. Giraudó, Pedro

CORDOBA, 2016



El proyecto Integrador “Diseño, Construcción y Ensayo de una Estación Meteorológica con Fines Didácticos” desarrollado por el alumno “Stuchi, Fabricio” ha sido dirigido por el Prof. Ing. “Giraudó, Pedro”.

**Director del Proyecto Integrador**

Giraudó Pedro – Córdoba

.....

**Firma**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

El presente proyecto integrador de la carrera de Ingeniería Aeronáutica ha sido aprobado el .../.../..... , mereciendo la calificación de..... (.....)

Tribunal Evaluador

Nombre:

Nombre:

Nombre:





## AGRADECIMIENTOS

- ✚ A mis padres, Norberto F. Stuchi y Analía C. Grioni, por el constante apoyo con el cual me acompañaron a lo largo de toda mi vida.
  
- ✚ A mi esposa, María Guadalupe Rodríguez Frosi, por brindarme todo su amor.
  
- ✚ A todos mis amigos y compañeros, con quienes he compartido las luchas y vivencias a lo largo de la carrera. Solo ellos conocen los sacrificios que fueron necesarios afrontar para lograr alcanzar la meta.
  
- ✚ Al Ingeniero, Giraudo Pedro, por darme la oportunidad para desarrollar este trabajo. Sin su valiosa guía, los resultados obtenidos no habrían alcanzado las expectativas iniciales.
  
- ✚ A todos los profesores, de la Facultad de Ciencias Exactas de Físicas y Naturales, por contribuir a mi formación académica con cada desafío, corrección y consejo.



## RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla el diseño, construcción y ensayo de una Estación Meteorológica (con fines didácticos) destinada a relevar valores de presión atmosférica, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento. Este dispositivo, fue montado y probado en el Laboratorio de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad Nacional de Córdoba y les permitirá a los alumnos de ingeniería y carreras afines, la inmediata visualización de valores ambientales, que resultan necesarios a la hora de realizar diversas tareas (Pintado, laminación con material compuesto, ensayos de laboratorio, etc).

Este trabajo inicia con una introducción a la meteorología seguida por el estudio detallado del diseño de la estación meteorológica. Abordando cada parte de la misma, desde la función que realizará, pasando desde el diseño, construcción, programación y ensayo, llegando a una conclusión, particular y general, sobre cada uno de estos componentes.

Entre las tareas efectuadas en el desarrollo del trabajo se destaca:

- La Instalación, Programación y Ensayo de un Sensor de Presión Barométrica (Bosch BMP085). Los Test realizados sobre este instrumento tuvieron como objeto, comparar la veracidad de los datos que arrojaba y determinar su comportamiento a elevadas alturas.
- La adaptación de dos Sensores de Temperatura y Humedad Relativa, distintos en modelo, con el fin de realizar una serie de ensayos (comparativo estático y de velocidad de respuesta) que nos permita arribar a una decisión acertada en cuanto a la selección de uno de ellos. La finalidad de esto, es lograr que nuestro producto final tenga una buena fidelidad en los datos que arrojará.
- El diseño, Programación y Ensayos de un sistema anemométrico, experimental y didáctico, para ser empleado en conjunto con el túnel de viento N° 1 de la Facultad de Ciencias Exactas de Físicas y Naturales – UNC.
- El diseño y Programación de una veleta electrónica.
- La programación y adaptación de un sistema interno de soporte horarios (Modulo DS3231).

Los resultados y conclusiones de las pruebas realizadas sobre el equipo se presentaran de manera general en la sección “Conclusión”, de este trabajo, destacando las cualidades y limitaciones del equipo.



Se anexara, al momento de la presentación del trabajo, un Cd-Room en donde se citaran y agregaran todos los Datasheets que se utilizaron en el momento de la fabricación y programación de este dispositivo.



## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>4</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVO DEL TRABAJO .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPITULO 1 DISEÑO DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 METEOROLOGÍA Y ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.1 Meteorología.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.2 Estaciones Meteorológicas .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.2.1 Instrumentos y Variables Medidas.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.2.2 Clasificación .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 DISEÑO DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.1 Elementos Utilizados .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3 VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS RELEVADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.1 Visualización Indirecta de los Datos Relevados .....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.2 Visualización Directa de los Datos Relevados .....</b>	<b>22</b>
<b>1.4 DISPOSICIÓN Y CONEXIÓN DE LOS ELEMENTOS .....</b>	<b>24</b>
<b>1.5 MEDICIÓN DEL TIEMPO .....</b>	<b>26</b>
<b>1.5.1 Introducción al Modulo Reloj (externo).....</b>	<b>26</b>
<b>1.5.2 Forma de Conexión.....</b>	<b>27</b>
<b>1.5.3 Desarrollo de Software .....</b>	<b>28</b>
<b>CAPITULO 2 PRESIÓN ATMOSFERICA .....</b>	<b>30</b>
<b>2.1 PRESIÓN ATMOSFÉRICA (BARÓMETRO) .....</b>	<b>31</b>
<b>2.1.1 Introducción al Sensor BMP085 – Bosch.....</b>	<b>31</b>
<b>2.1.1.1 Características Eléctricas del Sensor .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1.2 Operación del Sensor de Presión .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1.3 Medición de Presión y Temperatura .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2 CONEXIÓN DEL SENSOR A LA PLACA ARDUINO.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3 PROGRAMACIÓN DEL SENSOR PRESIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>2.4 ENSAYOS.....</b>	<b>43</b>
<b>2.4.1 Ensayo Comparativo entre Sensor BMP085 y Barómetro de Columna de Mercurio Modelo Fuess 4K.....</b>	<b>43</b>
<b>2.4.1.1 Resumen.....</b>	<b>43</b>
<b>2.4.1.2 Objetivo del Ensayo.....</b>	<b>43</b>
<b>2.4.1.3 Fundamentos Teóricos “Instrucciones de Funcionamiento para el Barómetro Standard Fuess 4K” .....</b>	<b>43</b>
<b>2.4.1.4 Desarrollo del Ensayo.....</b>	<b>47</b>
<b>2.4.2 Ensayo Comparativo entre “Sensor de Presión BMP085 y Sensor de Presión Vaisala” con Simulación de Altura en Cámara de Vacío.....</b>	<b>55</b>
<b>2.4.2.1 Resumen:.....</b>	<b>55</b>
<b>2.4.2.2 Objetivo del Ensayo:.....</b>	<b>55</b>
<b>2.4.2.3 Desarrollo del Ensayo.....</b>	<b>55</b>
<b>2.5 CONCLUSIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>CAPITULO 3 HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA.....</b>	<b>65</b>
<b>3.1 TEMPERATURA Y HUMEDAD.....</b>	<b>66</b>
<b>3.2 INTRODUCCIÓN AL SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD MODELO DHT 11 .....</b>	<b>66</b>
<b>3.2.1 Conexión del Sensor y Especificaciones del Fabricante .....</b>	<b>67</b>



3.2.1.1	Especificaciones Técnicas.....	68
3.2.1.2	Alimentación .....	68
3.2.1.3	Proceso de Comunicación.....	68
3.2.1.4	Características Eléctricas.....	68
3.2.1.5	Dimensiones.....	69
3.2.1.6	Operación .....	69
3.2.1.7	Procedimiento de Recuperación del Estado de Calibración del Sensor.....	69
3.2.1.8	Efecto de la Temperatura y de la Luz Solar sobre el Sensor .....	70
3.2.1.9	Otras Consideraciones.....	70
3.3	INTRODUCCIÓN AL SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD MODELO DHT 22 .....	70
3.3.1	<i>Conexión del Sensor y Especificaciones del Fabricante .....</i>	71
3.3.1.1	Especificaciones Técnicas.....	71
3.3.1.2	Especificaciones Eléctricas.....	72
3.3.1.3	Dimensiones.....	72
3.3.1.4	Condiciones de Trabajo y Almacenamiento .....	73
3.3.1.5	Impacto de la Exposición a Sustancias Químicas.....	73
3.3.1.6	Influencia de la Temperatura y de la Luz Solar sobre el Sensor .....	73
3.3.1.7	Procedimiento de Recalibración .....	74
3.3.1.8	Otras consideraciones.....	74
3.4	HIGRÓMETRO DIGITAL – MODELO 485-2 – FABRICANTE DWYER .....	74
3.4.1	<i>Introducción.....</i>	74
3.4.2	<i>Especificaciones Técnicas del Higrómetro Modelo 485-2 .....</i>	75
3.4.3	<i>Instrucciones de Uso.....</i>	75
3.4.3.1	Encendido (ON-OFF) .....	75
3.4.3.2	Luz de Pantalla.....	76
3.4.3.3	Selección de las Unidades de Temperatura .....	76
3.4.3.4	"Congelamiento" de la Pantalla .....	76
3.4.3.5	Temperaturas de Punto de Rocío y de Bulbo Húmedo.....	76
3.4.3.6	Lectura de Máximos y Mínimos .....	76
3.4.3.7	Sensibilidad Lumínica .....	77
3.4.3.8	Mantenimiento .....	77
3.4.4	<i>Dimensiones.....</i>	78
3.5	PROGRAMACIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA (GENERAL).....	79
3.6	ENSAYOS.....	82
3.6.1	<i>Ensayo Comparativo Entre el Sensor DHT 11 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” Frente a un Ambiente Sin Control de la Temperatura y la Humedad.....</i>	83
3.6.1.1	Resumen: .....	83
3.6.1.2	Objetivo del Ensayo:.....	83
3.6.1.3	Desarrollo .....	83
3.6.2	<i>Ensayo Comparativo Entre el Sensor DHT 22 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” Frente a un Ambiente Sin Control de la Temperatura y la Humedad.....</i>	88
3.6.2.1	Resumen: .....	88
3.6.2.2	Objetivo del Ensayo:.....	88
3.6.2.3	Desarrollo .....	88
3.6.3	<i>Ensayo Comparativo Entre el Sensor DHT 11 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” Frente a un Ambiente de Humedad Controlado.....</i>	94
3.6.3.1	Resumen: .....	94
3.6.3.2	Objetivo del Ensayo:.....	94
3.6.3.3	Desarrollo .....	95
3.6.4	<i>Ensayo Comparativo Entre el Sensor DHT 22 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” Frente a un Ambiente de Humedad Controlado.....</i>	100
3.6.4.1	Resumen.....	100
3.6.4.2	Objetivo del Ensayo:.....	100



3.6.4.3	Desarrollo .....	101
3.7	CONCLUSIÓN .....	106
3.7.1	<i>Sensor de Humedad Relativa y Temperatura DHT11</i> .....	106
3.7.2	<i>Sensor de Humedad Relativa y Temperatura DHT22</i> .....	106
<b>CAPITULO 4 VELOCIDAD DEL VIENTO .....</b>		<b>108</b>
4.1	VELOCIDAD DEL VIENTO .....	109
4.1.1	<i>Parámetro a Medir: Velocidad del Viento</i> .....	109
4.1.2	<i>Modelos y Tipos de Anemómetros</i> .....	109
4.1.3	<i>Medición de la Velocidad de Viento y Uso del Anemómetro de Cazoletas</i> .....	111
4.1.3.1	<i>Parámetro a Relevar con un Anemómetro de Cazoletas</i> .....	112
4.1.4	<i>Parámetros de Diseño y Calibración</i> .....	112
4.1.4.1	<i>Diseño</i> .....	112
4.1.4.2	<i>Calibración</i> .....	113
4.1.5	<i>Dinámica del Anemómetro y su Comportamiento en la Atmosfera Real</i> .....	114
4.1.5.1	<i>Sensibilidad Vertical</i> .....	114
4.1.6	<i>Formas de Fijación de un Anemómetro</i> .....	116
4.1.6.1	<i>Barra de Fijación</i> .....	116
4.1.6.2	<i>Torres Cilíndricas</i> .....	116
4.1.6.3	<i>Torres Reticuladas</i> .....	118
4.2	DISEÑO DEL ANEMÓMETRO .....	119
4.2.1	<i>Determinación de las Condiciones de Trabajo</i> .....	120
4.2.1.1	<i>Evaluación de la Velocidad del Viento</i> .....	120
4.2.2	<i>Diseño Estructural y Mecánico</i> .....	122
4.2.2.1	<i>Selección de los Materiales</i> .....	122
4.2.2.2	<i>Selección del Rodamiento</i> .....	123
4.2.3	<i>Diseño de la Estructura y de la Copa del Anemómetro</i> .....	124
4.2.3.1	<i>Zona de trabajo en Cámara de Ensayos</i> .....	124
4.2.3.2	<i>Diseño de la Estructura y Copas del Anemómetro</i> .....	126
4.2.4	<i>Selección de Hardware a Emplear</i> .....	131
4.2.4.1	<i>Reed Switch (ORD213)</i> .....	132
4.2.4.2	<i>Conexión</i> .....	134
4.2.5	<i>Desarrollo del Software</i> .....	135
4.3	ENSAYO .....	138
4.3.1	<i>Ensayo de Prueba del Anemómetro de Cazoletas en el Túnel de Viento N° 1 de la FCEFyN.</i> .....	138
4.3.1.1	<i>Resumen</i> .....	138
4.3.1.2	<i>Objetivo del Ensayo</i> .....	138
4.3.1.3	<i>Desarrollo</i> .....	138
4.4	CONCLUSIÓN .....	141
<b>CAPITULO 5 DIRECCIÓN DEL VIENTO .....</b>		<b>142</b>
5.1	DIRECCIÓN DEL VIENTO .....	143
5.1.1	<i>Regiones de Baja Presión y Anticiclónicas</i> .....	143
5.1.2	<i>El Efecto de la Fuerza de Coriolis</i> .....	144
5.1.2.1	<i>Desviación por la Fuerza de Coriolis</i> .....	145
5.1.3	<i>La Dirección del Viento</i> .....	145
5.1.4	<i>Medición de la Dirección del Viento</i> .....	146
5.2	DISEÑO .....	146
5.2.1	<i>Determinación de las Condiciones de Trabajo</i> .....	147
5.2.2	<i>Diseño Estructural y Mecánico</i> .....	147
5.2.3	<i>Selección del Hardware</i> .....	152
5.2.3.1	<i>Conexión</i> .....	152
5.2.4	<i>Desarrollo del Software</i> .....	153



5.3	CONCLUSIÓN .....	156
<b>CAPITULO 6 CONCLUSION GENERAL .....</b>		<b>157</b>
6.1	CONCLUSIÓN .....	158
7.1	REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA .....	161
ANEXO I.....		162
ANEXO II .....		173
ANEXO III.....		176
ANEXO IV .....		184
ANEXO V.....		187



## OBJETIVO DEL TRABAJO

### **Objetivo**

El propósito del presente trabajo se centra en la aplicación de los conocimientos asimilados a lo largo de la carrera de Ingeniería Aeronáutica para el diseño, construcción y montaje de un equipo que permita evaluar las condiciones meteorológicas a partir de los siguientes parámetros:

- Presión Atmosférica.
- Temperatura.
- Humedad Relativa.
- Velocidad del Viento.
- Dirección del Viento.

Este trabajo tiene una clara orientación didáctica, encontrándose a disposición de los estudiantes de ingeniería del ámbito aeronáutico y carreras afines de la Universidad Nacional de Córdoba.

El proyecto seguirá los siguientes objetivos particulares:

- El dispositivo deberá de indicar las condiciones climáticas de manera fácil y directa.
- Se determinaran los errores de los sensores comerciales de manera empírica y se comparara esto con lo establecido en los datasheets de cada sensor.
- La construcción y operación del equipo debe ser lo más económica posible, reduciendo la compra de materiales a un mínimo indispensable.





## **1.1 Meteorología y Estaciones Meteorológicas**

### **1.1.1 Meteorología**

La Meteorología es la ciencia interdisciplinaria encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar, los llamados meteoros. La palabra meteorología viene del griego, meteoros (alto) y logos (tratado).

El estudio de la atmósfera se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes, o variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo.

Cuando describimos las condiciones atmosféricas en un momento y lugar concretos, estamos hablando del tiempo atmosférico. Todos sabemos que el tiempo atmosférico es uno de los principales condicionantes de las actividades que realizamos, especialmente de aquellas que se realizan al aire libre, como la agricultura. A diario aparece información meteorológica en los medios de comunicación y, aunque a veces ésta es motivo de las conversaciones más triviales, sabemos que la comprensión del tiempo implica conocer un buen número de conceptos científicos, no todos ellos sencillos.

Desde tiempos inmemoriales, los hombres han admirado los fenómenos atmosféricos y han intentado explicar sus causas. Mientras no hubo instrumentos, ni grandes conocimientos científicos, la magia y la religión sirvieron de explicación a la mayor parte de los fenómenos meteorológicos. Pero hoy día, la Meteorología es una ciencia tremendamente avanzada, basada en nuestro conocimiento de la Física y en el uso de las más modernas tecnologías. Los meteorólogos son capaces, incluso, de predecir el tiempo hasta con una semana de antelación sin apenas fallar.

Existen distintos parámetros a medir en la atmósfera y existen dos formas de hacerlo. Una de ellas es a través de la apreciación sensorial, es decir, percibiéndolas a través de nuestros sentidos y otra a través de instrumentos. Los instrumentos nos dan un valor exacto, por tanto estaríamos cuantificando dicho parámetro. Para que las observaciones realizadas en distintos lugares sean comparables, tanto el instrumental, como su ubicación e instalación, dentro de las estaciones meteorológicas, están estandarizados.

Se presenta, en el Anexo I, una breve descripción de los instrumentos utilizados normalmente en las estaciones meteorológicas.

### **1.1.2 Estaciones Meteorológicas**

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan para la elaboración de predicciones meteorológicas y estudios climáticos.

#### **1.1.2.1 Instrumentos y Variables Medidas**

Los instrumentos comunes y variables que se miden en una estación meteorológica incluyen:



- ✚ Termómetro: Instrumento que mide la temperatura en diversas horas del día.
- ✚ Termómetros de subsuelo (geotermómetro): Para medir la temperatura a 5, 10, 20, 50 y 100 cm de profundidad.
- ✚ Termómetro de mínima junto al suelo: Mide la temperatura mínima a una distancia de 15 cm sobre el suelo.
- ✚ Termógrafo: Registra automáticamente las fluctuaciones de la temperatura.
- ✚ Barómetro: Mide la presión atmosférica en la superficie.
- ✚ Pluviómetro: Mide la cantidad de agua caída sobre el suelo por metro cuadrado en forma de lluvia, nieve o granizo.
- ✚ Psicrómetro o higrómetro: Medida de la humedad relativa del aire y la temperatura del punto de rocío.
- ✚ Piranómetro: Medida de la radiación solar global (directa + difusa).
- ✚ Heliógrafo: Medida de las horas de luz solar.
- ✚ Anemómetro: Medida de la velocidad del viento.
- ✚ Veleta: Instrumento que indica la dirección del viento.
- ✚ Nefobasímetro: Medida de la altura de las nubes, pero sólo en el punto donde éste se encuentre colocado.

La mayor parte de las estaciones meteorológicas se encuentran automatizadas requiriendo un mantenimiento ocasional. Además, existen observatorios meteorológicos sinópticos, que sí cuentan con personal (observadores de meteorología), de forma que además de los datos anteriormente señalados se pueden recoger aquellos relativos a nubes (cantidad, altura, tipo), visibilidad y tiempo presente y pasado. La recogida de estos datos se denomina observación sinóptica.

Para la medida de variables en mares y océanos se utilizan sistemas especiales dispuestos en boyas meteorológicas.

Otras instalaciones meteorológicas menos comunes disponen de instrumental de sondeo remoto como radar meteorológico para medir la turbulencia atmosférica y la actividad de tormentas, perfiladores de viento y sistemas acústicos de sondeo de la estructura vertical de temperaturas. Alternativamente, estas y otras variables pueden obtenerse mediante el uso de globos sonda.

### **1.1.2.2 Clasificación**

Los diversos tipos de estaciones meteorológicas pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

#### **Observatorio Sinóptico de Superficie.**

Lugar desde el que se realiza, cifra y envía para su posterior estudio una observación sinóptica. Consta de una oficina y un jardín meteorológico.



En la oficina se sitúan los aparatos necesarios para el cifrado, almacenamiento y envío de datos, el barómetro, el barógrafo y el anemocinómetro.

En el jardín se encuentran el resto de aparatos, pluviómetro, pluviógrafo, heliógrafo, anemómetro, veleta, termómetros de subsuelo y mínima junto al suelo y abrigo meteorológico, en el que se guardan el psicrómetro, el evaporímetro Piché y el termohigrógrafo. Ocasionalmente se puede encontrar un tanque evaporimétrico.

La extensión del jardín suele ser de unos 9 m<sup>2</sup>, de forma cuadrada. La colocación de los aparatos dentro del jardín se hace siguiendo los siguientes principios:

- a) La puerta de la garita meteorológica debe estar orientada al norte en el hemisferio norte, y al sur en el hemisferio sur. De este modo evitamos que al abrirla los rayos del sol afecten a los aparatos, perturbando las medidas.
- b) El heliógrafo se colocará mirando al sur en el hemisferio norte (al norte en el caso del hemisferio sur), y procurando que ningún aparato le haga sombra, para evitar la pérdida de datos.
- c) Los medidores de viento, veleta y anemómetro, se colocan sobre un mástil a una altura de 10 metros. Se debe guardar una distancia de 10 metros con cualquier edificación u obstáculo (árboles, vallado, etc.) Los aparatos se colocan sobre una guía, orientada en el eje norte-sur, y de forma que la veleta quede en el extremo norte y el anemómetro en el sur.
- d) El pluviómetro y pluviógrafo se colocarán en una zona despejada, evitando ser tapados por árboles.
- e) Los termómetros de subsuelo y mínima junto al suelo se suelen colocar junto a la garita meteorológica.

### **Observatorio Meteorológico Aeronáutico.**

Este se encuentra situado en aeródromos, su principal fin es la obtención de variables meteorológicas útiles para la navegación aérea, facilitando datos sobre la situación del propio aeródromo y elaborando informes sobre las zonas que componen las rutas aeronáuticas.

Para ello, se instala cerca de la pista de aterrizaje un jardín meteorológico aeronáutico con la instrumentación electrónica necesaria. Completa el observatorio una oficina, a la que llegan los datos del jardín mediante cableado. En la oficina se encuentran los dispositivos necesarios para la recepción de estos datos, su cifrado y envío.

Todo lo referente a meteorología aeronáutica está sometido al dictado de la Organización de Aviación Civil Internacional, OACI.



### **Estación Termopluviométrica.**

La estación termopluviométrica es un lugar desde el que se hacen determinadas medidas de temperatura y precipitación. En concreto, se toman las temperaturas extremas de cada día para lo que se cuenta con un termómetro de máxima y un termómetro de mínima. Se toma la cantidad de agua precipitada en el día pluviométrico, anotando qué tipo de precipitación ha tenido lugar.

Estos datos tienen como fin principal la construcción de la climatología del lugar. La medida de temperatura se realizará a 1.5 m del suelo.

### **Estación Pluviométrica.**

La finalidad principal de una estación pluviométrica es la elaboración de la climatología de la zona en la que se encuentra. Una estación pluviométrica en la estación principal encargada de medir la lluvia, muchas veces dentro de una estación meteorológica mayor. Estas estaciones se mantienen a menudo por las autoridades encargadas del agua en un país para sus propios fines. Básicamente lo que se usa en una estación pluviométrica es el medidor de lluvia conocido como pluviómetro, un tipo de instrumento utilizado por los meteorólogos e hidrólogos para recoger y medir la cantidad de precipitación líquida durante un período determinado de tiempo. La mayoría de los pluviómetros en general miden la precipitación en milímetros aunque a veces se informa como pulgadas o centímetros. Las cantidades pluviométricas se leen de forma manual o por AWS (Automatic Weather Station - Estación Meteorológica Automática). La frecuencia de las lecturas dependerá de los requisitos de la agencia o país en cuestión.

### **Estación Meteorológica Automática.**

Una estación meteorológica automática (EMA) es una versión autónoma automatizada de la tradicional estación meteorológica, preparada tanto para ahorrar labor humana, o realizar mediciones en áreas remotas o inhóspitas. El sistema puede reportar en tiempo real vía sistema Argos, o el Global Telecommunications System, tener enlace de microondas, o salvar los datos para posteriores recuperaciones. Muchas de estas Estaciones Meteorológicas Automáticas tienen:

-  Termómetro para medir temperatura.
-  Anemómetro para medir viento.
-  Hidrógrafo para medir humedad.
-  Barómetro para medir presión atmosférica.
-  Pluviógrafo para medir lluvia.
-  Sensor de visibilidad.



Al contrario de las estaciones meteorológicas manuales, las automáticas no pueden reportar ni clase ni cantidad de nubes. También, las mediciones de precipitación son un poco problemáticas, especialmente con la caída de nieve, ya que el medidor debe vaciarse por sí solo entre observaciones. Con la presente meteorología, todos los fenómenos donde no se toque al sensor, tales como parches de niebla, permanecen inobservados.

### **Estación evaporimétrica.**

Una estación evaporimétrica es un lugar desde el que se mide la evaporación efectiva, utilizando la siguiente instrumentación:

- ✚ Tanque evaporimétrico
- ✚ Pluviómetro
- ✚ Anemómetro
- ✚ Termómetro Six-Bellani
- ✚ Pozo tranquilizador

## **1.2 Diseño de una Estación Meteorológica**

El diseño de la estación meteorológica fue abordado considerando que la misma debería ser automática (Estación Meteorológica Automática – EMA). Es decir, que luego de un periodo de tiempo determinado, cualquier persona pudiera realizar una evaluación de las condiciones climáticas en función de los parámetros relevados por la EMA.

Para esto, se consideró la necesidad de medir y mostrar, por dos vías distintas, pantalla LCD y almacenamiento de datos en PC, los siguientes parámetros:

- Presión Atmosférica.
- Temperatura.
- Humedad Relativa.
- Velocidad del Viento.
- Dirección del Viento.

### **1.2.1 Elementos Utilizados**

Para lograr que el dispositivo cumpla con lo estipulado se consideró óptimo emplear:

- ✚ Como **Placa Principal** o base (para el intercambio de información, visualización y control de los diversos sensores empleados) fue seleccionada una **Placa Arduino Duemilanove**<sup>1</sup>. Los motivos por los cuales se seleccionó dicha placa fueron los siguientes:

---

<sup>1</sup> Las características técnicas de la Arduino Duemilanove se detallan en el anexo 2 -“Introducción a Arduino”.

- Es una placa resistente y duradera, que dispone de 13 pines de conexión Digital y 6 pines de conexión Analógica.
- Su peso es bajo, como también su consumo eléctrico.
- Su valor, en el mercado, es bajo en comparación con otro tipo de placas que cuentan con las mismas características.
- La conexión de sensores, pantallas de visualización, alimentación externa y conexas con un PC resulta ser sencilla.



Fig. 1.2.1.1 – Arduino Duemilanove

- ✚ Para la Visualización (inmediata) de los Datos Recabados, se seleccionó una pantalla LCD de 16 caracteres y 2 líneas de escritura. El modelo que se consiguió es de una marca genérica.

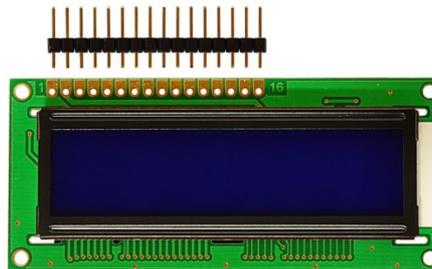


Fig. 1.2.1.2 – Pantalla LCD 16\*2

- ✚ Para la toma de Presión Atmosférica se empleó el Sensor de Presión Barométrica Bosch Modelo BMP085. Este sensor también tiene la capacidad de relevar la temperatura ambiente, pero no se considerará como parámetro meteorológico dado que este parámetro es empleado para evaluar las condiciones de trabajo del sensor y realizar el ajuste del mismo.

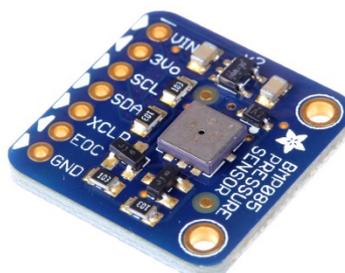


Fig. 1.2.1.3 – Sensor Bosch BMP085

- ✚ Para relevar la Humedad Relativa y la Temperatura se seleccionaron dos sensores distintos:
  - Sensor de Humedad Relativa y Temperatura – Marca Yslun – Modelo DHT 11.
  - Sensor de Humedad Relativa y Temperatura – Marca Aosong – Modelo DHT 22.Luego de pruebas y ensayos, se seleccionó el Modelo DHT 22 por presentar una mayor exactitud y velocidad de respuesta.

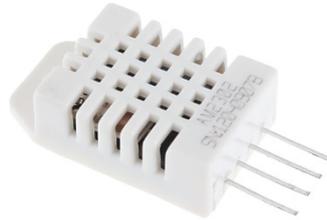


Fig. 1.2.1.4 – Sensor de Humedad Relativa y Temperatura Aosong DHT 22

- ✚ Para poder relevar la Velocidad y Dirección del Viento se decidió implementar un anemómetro y una veleta de diseño y construcción propia. La tecnología empleada en ambos dispositivos fue basada en la utilización de sensores magnéticos del tipo Reed Switch modelo ORD213.
- ✚ Para poder cargar los datos en la PC con el horario de ocurrencia de los mismos se implementó el Modulo Reloj Modelo DS 3231.



Fig. 1.2.1.5 – Modulo Reloj DS 3231.

- ✚ Los elementos adicionales, fuera de sensores y placas principales, fueron los siguientes: Cable para conexiones electrónicas de 1.5 mm, potenciómetros de 10 Kohm, Pines machos de 2.54 mm, Pines hembra, Socket plástico para anclaje a Pines Hembra, Tubo de plástico termo contraíble de 2 mm (E160908 – 125°C), Estaño para soldar elementos electrónicos<sup>2</sup> (0.8 mm de diámetro).

<sup>2</sup> El estaño contiene: Sn 60%, Pb 40%, Resina Ra 300 (ISO 9002)



Fig. 1.2.1.6 – Elementos adicionales.

- ✚ Para realizar el armado de la Placa Principal junto a todos los sensores y elementos que pasan a integrar la estación meteorológica, se empleó un gabinete marca Chillemi, modelo PB40 de 135 X 179 X 40 mm.



Fig. 1.2.1.7 – Gabinete Chillemi – PB40

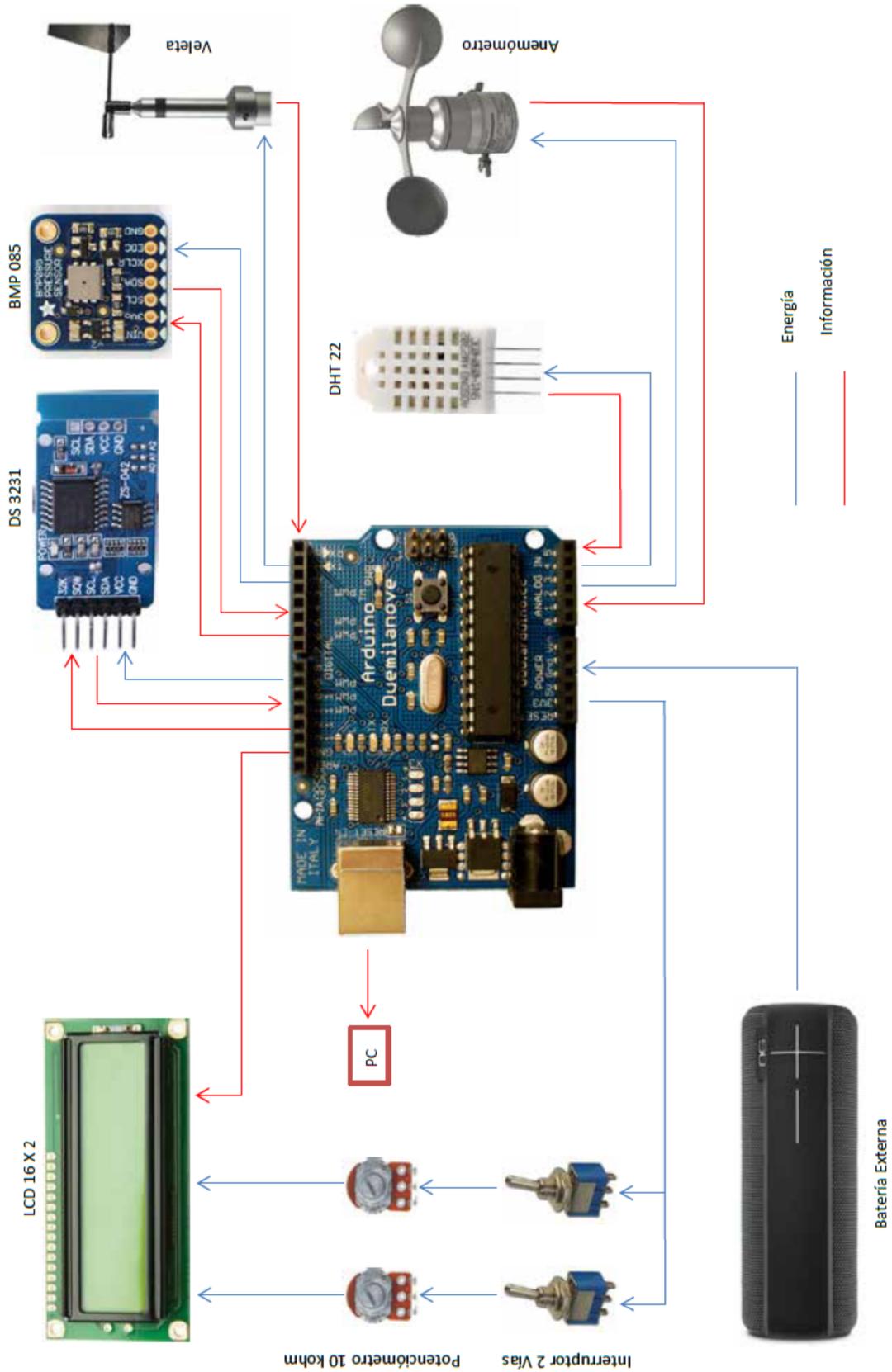


Fig. 1.2.1.8 – Esquema Conceptual de la Estación Meteorológica



## **1.3 Visualización de los Datos Relevados**

### **1.3.1 Visualización Indirecta de los Datos Relevados**

Esta visualización se logra por la simple programación de la forma de visualización, o carga, de los datos recabados de cada sensor por parte de la placa base (Arduino). Es decir, al hacerse de los datos, la placa base re direcciona los mismos por dos vías distintas a saber:

- Visualización Directa (Pantalla LCD).
- Visualización Indirecta (PC).

Para esto, las líneas del código de programación son muy simples:

`lcd.print("Temp:");` // Esta línea del código nos permite enviar datos directamente a la pantalla LCD.

`Serial.print("Current humidity = ");` // Esta línea del código nos permite enviar los datos a la PC.

### **1.3.2 Visualización Directa de los Datos Relevados**

Para la visualización (inmediata) de los datos relevados por los sensores, se pensó en utilizar una pantalla LCD de 16 X 2.

Este tipo de pantalla, cuenta con dos filas de 16 caracteres cada una (16 caracteres y 2 filas - 16\*2). Además de esto posee la capacidad de retro iluminar el fondo, permitiendo así una visualización más clara y directa.

Las características técnicas relevantes que la pantalla posee (para nuestro proyecto) son las siguientes:

- Interface de 8 bits.
- dispone de 192 caracteres del tipo alfabéticos, numéricos, símbolos y caracteres especiales.
- El voltaje de alimentación eléctrica es de 3.3 Volts.<sup>3</sup>
- Bajo consumo de energía.
- 5 X 8 pixeles por carácter.
- Dimensiones:
  - Modulo: 80 mm X 36 mm.
  - Área de visualización: 64.5 mm X 16.4 mm.
  - Tamaño del carácter: 3mm x 5.23 mm.
- Temperatura de Trabajo: 0° C a 50° C.
- Temperatura de almacenamiento: -10° C a 60° C (preservado).

---

<sup>3</sup> Se debe tener presente la variación del voltaje de alimentación en función de la temperatura. Esto se encuentra asentado en el Datasheet de la pantalla, incluido en el CD que acompaña este trabajo.

La pantalla cuenta con los siguientes pines de conexión:

Pin N°	Símbolo	Conexión	Función
1	Gnd	Suministro Eléctrico	Conexión a tierra, sobre la Placa Arduino.
2	Vdd		Conexión a positivo, sobre la Placa Arduino.
3	VEE		Ajuste de contraste.
4	RS	MPU	Registro de la señal.
5	R/W	MPU	Selección de señal para lectura o escritura.
6	EN	MPU	Señal de habilitación operativa.
7 a 10	DB0 a DB3	MPU	Cuatro líneas de bus de datos bidireccional. Se utiliza para la transferencia de datos entre el MPU y de la LCM.
11 a 14	DB4 a DB7	MPU	Cuatro líneas de bus de datos bidireccionales de alto orden. Se emplean para transferir datos entre la MPU.
15	LED +	Suministro eléctrico para iluminación de fondo.	Suministro de energía.
16	LED -		Suministro de energía.

Tabla 1.3.2.1 – Pines de Conexión entre Arduino y pantalla LCD

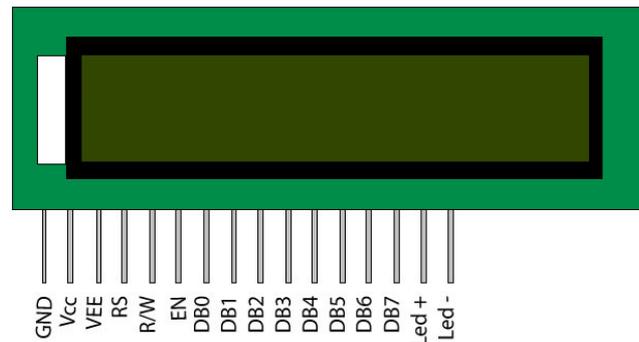


Fig. 1.3.2.1 – Pantalla LCD de 16x2

Entre las limitaciones más directas, que pueden observarse en este elemento, encontramos las siguientes características ópticas.

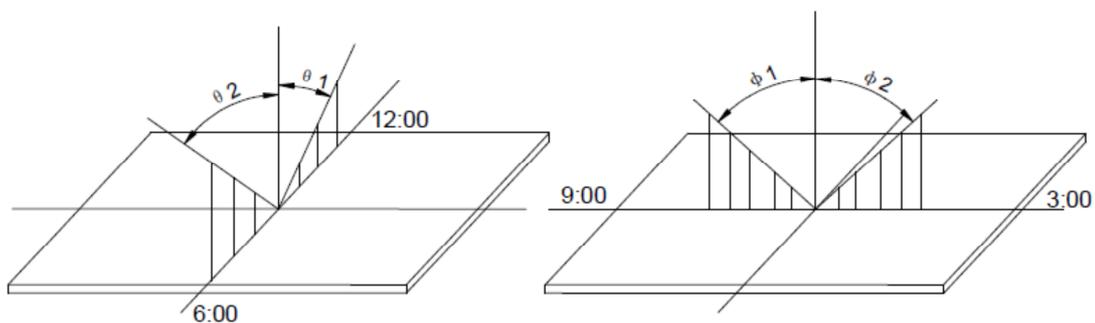


Fig. 1.3.2.2 – Ángulos Límites de Visualización

Ítem	Símbolo	Min.	Typ	Max.	Unit.
Angulo de visualización	$\Theta 1$	-	20	-	Deg.
	$\Theta 2$	-	40	-	
	$\Phi 1$	-	35	-	
	$\Phi 2$	-	35	-	
Tiempo de Respuesta (medio)		200	275	350	ms

Tabla 1.3.2.2 - Ángulos Límites de Visualización



Cuando la placa Arduino esté alimentada (conexión USB-PC), se verán en la pantalla caracteres en forma de cuadrado en la fila de arriba. En ese momento podemos ajustar la luz y el contraste con los potenciómetros y así podemos verificar que todo funciona correctamente.

Finalmente se carga el programa a la placa para verificar la correcta conexión de la pantalla. En este caso, mostrare un programa básico, que solamente fue empleado para corroborar lo expresado anteriormente.

```
#include <LiquidCrystal.h>           //librería de Arduino para pantallas

LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11 , 12); // aquí cargamos los pines de la placa que estamos
                                        empleando para comunicarla con la pantalla

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0,1);                //posición del cursor
  lcd.write("hola Mundo");
}

void loop()
{ }
```

**Problema:** Al transferir el programa, y estando las conexiones aparentemente bien, por pantalla sólo mostraba los caracteres cuadrados, sin mostrar el mensaje que se deseaba ver.

**Solución:** El potenciómetro tenía las conexiones invertidas. Por tanto, se recomienda tener especial cuidado con las conexiones de este equipo.

#### **1.4 Disposición y Conexión de los Elementos**

Para poder realizar la conexión entre la pantalla LCD 16 X 2 y la Placa Arduino, se requirieron de los siguientes elementos:

- Cable para conexiones electrónicas de 1.5 mm.
- 2 potenciómetros de 10 Kohm.
- 16 Pines machos de 2.54 mm.
- 22 Pines hembra.
- 1 Socket plástico de 16 lugares para anclaje a Pines Hembra.
- Tubo de plástico termo contraíble de 2 mm (E160908 – 125°C).
- Estaño para soldar elementos electrónicos<sup>4</sup> (0.8 mm de diámetro).

Para poder configurar el contraste y el brillo de la pantalla se sumaron 2 potenciómetros de 10 Kohm que se encuentran instalados como se indica en el siguiente gráfico.

---

<sup>4</sup> El estaño contiene: Sn 60%, Pb 40%, Resina Ra 300 (ISO 9002)

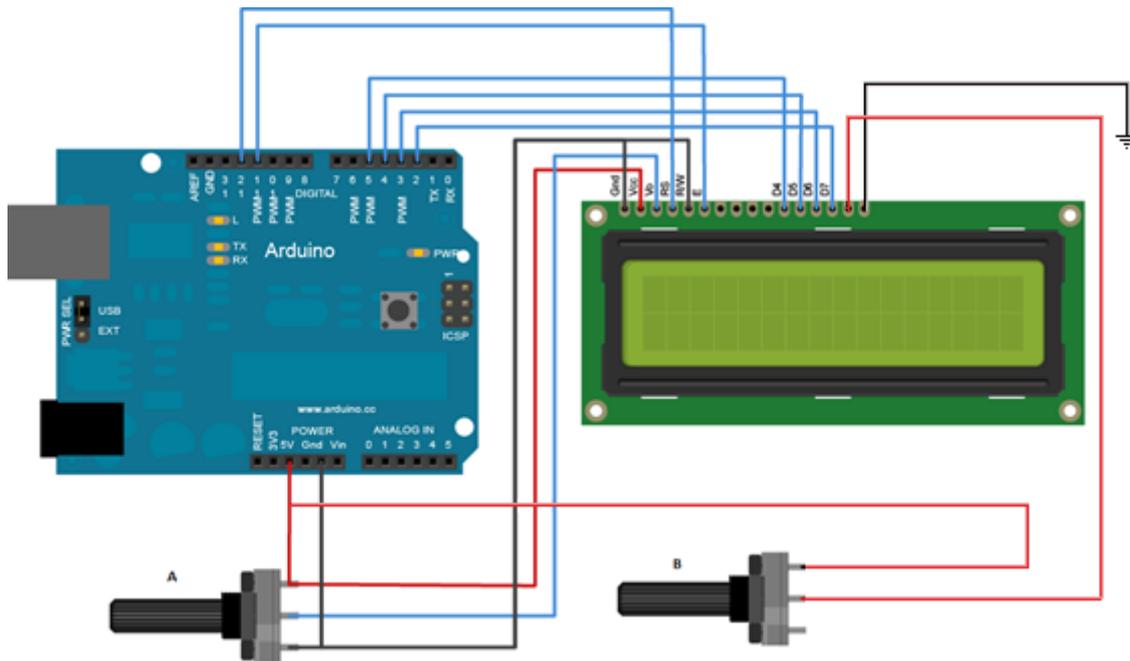


Fig. 1.4.1 – Diagrama de Conexión “Arduino – Pantalla LCD”

En el grafico anterior puede apreciarse que el potenciómetro “A” es el que varía el contraste de los 32 caracteres mientras que el potenciómetro “B” tiene la finalidad de variar la intensidad de la iluminación de fondo.

La pantalla LCD viene sin conectores por defecto. Hay dos soluciones para este problema: soldar cables o soldar pines macho de 2,54 mm. Para este proyecto se optó por la segunda opción, dada la comodidad que representa.

Se realizó la soldadura de los mismos, siendo el resultado el siguiente:

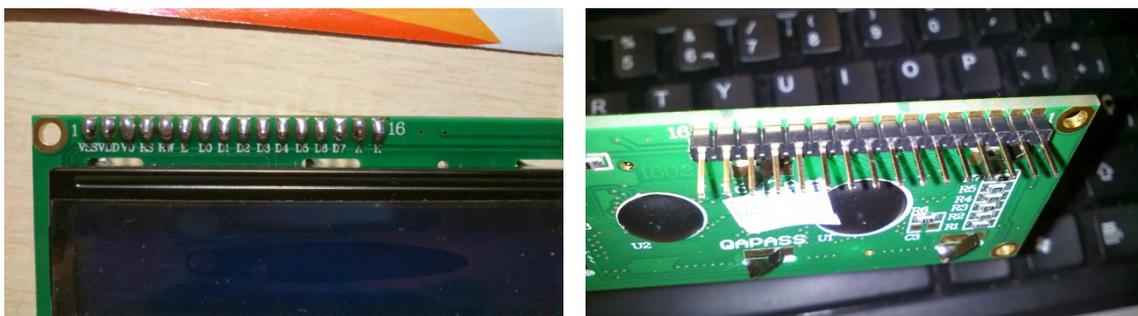


Fig. 1.4.2 – Visualización de los Pines de Conexión sobre pantalla LCD

Una vez realizadas todas las conexiones, resultó propicio corroborar que la pantalla encienda, antes de cargar cualquier línea de programación a la placa.

Para esto, se hizo una conexión provisoria valiéndonos de una breadboard, como se muestra en la siguiente figura.

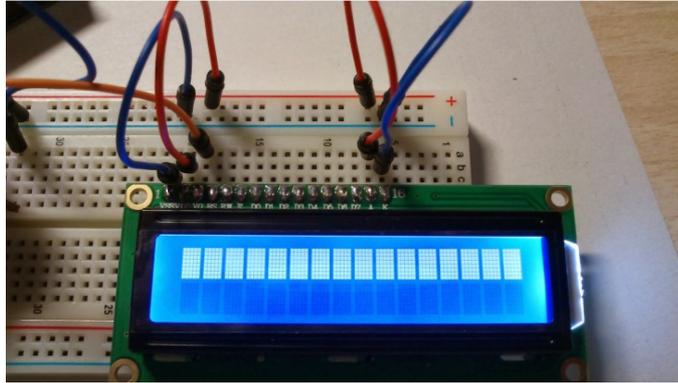


Fig. 1.4.3 – Conexión de Prueba “Pantalla LCD”

## 1.5 Medición del Tiempo

### 1.5.1 Introducción al Modulo Reloj (externo)

Luego de haber observado los datos que nos brindaba la estación meteorológica nos dimos cuenta de que un parámetro principal no estaba siendo considerado; este parámetro es el tiempo. Como ya es conocido por todos nosotros, durante un determinado ensayo de laboratorio se realiza la toma de las condiciones ambientales iniciales y de las finales, esto es así para poder realizar un promedio entre estos valores y así poder establecer la condición medioambiental media, a la cual fue realizado dicho ensayo.

Con el fin de contar con dichos datos, se empleó el Modulo DS 3231 que posee la capacidad de renovar la fecha (día/mes/año) y la hora conforme esta transcurre.



Fig. 1.5.1.1 – Modulo DS3231

El módulo DS3231 permite llevar un registro detallado del transcurso del tiempo en nuestro microcontrolador. Los proyectos que podemos llevar a cabo con este módulo van desde estaciones de sensores hasta alarmas y sondas de registro de datos.

Este módulo incluye un circuito integrado, un regulador de tensión, una batería de 3.6 voltios (de las que se encuentran en los motherboard de las computadoras), entre otras cosas (es capaz de medir temperatura).

### 1.5.2 Forma de Conexión

La conexión debe llevarse a cabo de la siguiente manera:

Pin DS3231	Pin Arduino
SCL	A5
SDA	A4
VCC	+3.3 Volts
GND	GND
32K	Sin conexión
SQW	Sin conexión

Tabla 1.5.2.1 – Pines de Conexión Modulo DS3231 en Arduino

La comunicación de este módulo con nuestra placa Arduino se realizó empleando el protocolo de programación para I2C, por lo que encontraremos los pines VCC, GND, SCL y SDA.

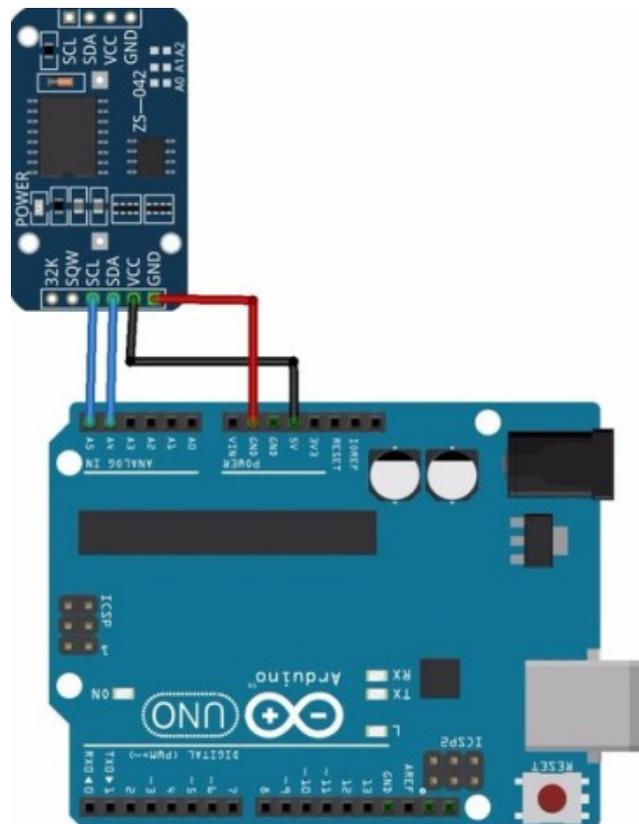


Fig. 1.5.2.1 – Conexión de Modulo DS 3231 en Placa Arduino

Con las conexiones hechas, se procedió a la configuración inicial del módulo. Fue necesario llevar a cabo un proceso de asignación de fecha y hora. Esta información es almacenada en el circuito integrado y se mantiene en el tiempo gracias a la batería con la que cuenta el dispositivo.



### 1.5.3 Desarrollo de Software

El software para el módulo DS3231 se realizó siguiendo una metodología de trabajo similar a la que se adoptó para el resto de los elementos que componen este equipo.

#### **Código de ajuste**

El código para ajustar la hora es el siguiente:

```
#include <DS3231.h>
#include <Wire.h>
DS3231 Clock;          // librería
void setup() {
  Wire.begin();        // Se inicial la interfaz I2c
  Serial.begin(9600);  // Se inicia la Comunicación Serial
  Clock.setClockMode(true); //Se establece el modo horario en 12 horas (false = 24h)
  Clock.setYear((byte)16); //Se establece el año
  Clock.setMonth((byte)05); //Mes
  Clock.setDate((byte)22); //Día
  Clock.setHour((byte)8); //Hora
  Clock.setMinute((byte)11); //Minutos
  Clock.setSecond((byte)0); //Segundos
}
void loop() {
}
```

#### **Código de visualización**

A continuación pasare a presentarles el código que se empleó para rescatar la hora del módulo y usarla en nuestro dispositivo.

```
#include <DS3231.h>
#include <Wire.h>
DS3231 Clock; // Librería
byte year, month, date, DoW, hour, minute, second;

void setup() {
  // Se inicial la interfaz I2c
  Wire.begin();
  // Se inicia la Comunicación Serial
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  delay(1000);
  //Se rescata la información
  Clock.getTime(year, month, date, DoW, hour, minute, second);
  //Se imprime
  Serial.print(date, DEC);
}
```

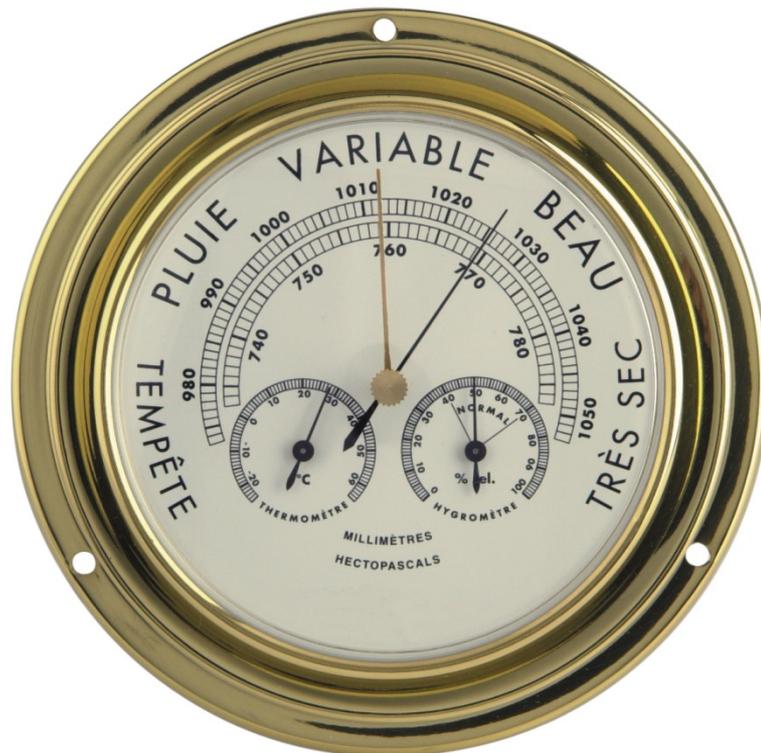


```
Serial.print("/");  
Serial.print(month, DEC);  
Serial.print("/");  
Serial.print(year, DEC);  
Serial.print(" ");  
Serial.print(hour, DEC);  
Serial.print(":");  
Serial.print(minute, DEC);  
Serial.print(":");  
Serial.println(second, DEC);  
}
```



# CAPITULO 2

## PRESIÓN ATMOSFERICA



## **2.1 Presión Atmosférica (Barómetro)**

Con el fin de cumplir las premisas expresadas en el objetivo de este trabajo y para poder lograr relevar la presión atmosférica, con una buena precisión, se seleccionó el Sensor Barométrico BMP085 del Fabricante Bosch.

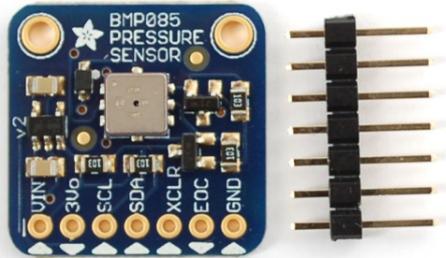


Fig. 2.1.1 – Sensor de Presión “BMP085 – Bosch”

Considerando que el trabajo realizado sobre este sensor resultó extenso, paso a explicar cómo se organizó este punto.

- 1- Breve introducción al sensor barométrico.
- 2- Conexión del Sensor a la placa Arduino.
- 3- Programación y configuración.
- 4- Ensayos realizados:
  - Ensayo de comparación del Sensor BMP085 con el barómetro de columna de mercurio.
  - Ensayo de Comparación del Sensor BMP085 con el barómetro Digital Vaisala. (según Apéndice “E” DNAR 43).

### **2.1.1 Introducción al Sensor BMP085 – Bosch**

El sensor BMP085 se encuentra construido en base a tecnología Piezo-Resistiva<sup>5</sup> que nos garantiza una importante resistencia a cambios en el campo electromagnético (EMC<sup>6</sup>). Esto significa que los diversos elementos (electrónicos) que compondrán nuestro equipo experimental, no generaran ruido ni interferencia sobre este sensor.

---

<sup>5</sup> Cuando expresamos que el sensor basa su construcción en una tecnología Piezo – Resistiva nos referimos a que su funcionamiento se funda en principios físicos de resistencia eléctrica. La forma en que esto trabaja en el sensor es la siguiente:

- Un elemento de resistencia eléctrica particular sigue la deformación de la superficie de un elemento del sensor al que está unido; estas deformaciones causan una variación en la resistencia eléctrica del material, y es esto lo que relevamos luego.

<sup>6</sup> EMC: La Compatibilidad Electromagnética es la rama de la tecnología electrónica y de telecomunicaciones que estudia los mecanismos para eliminar, disminuir y prevenir los efectos de acoplamiento entre un equipo eléctrico o electrónico con su entorno electromagnético.

Además, el fabricante asegura una elevada precisión, linealidad y estabilidad a largo plazo.

Los límites de medición del BMP085 permiten medir la presión a alturas de entre -500 metros y 8839 metros sobre el nivel del mar.

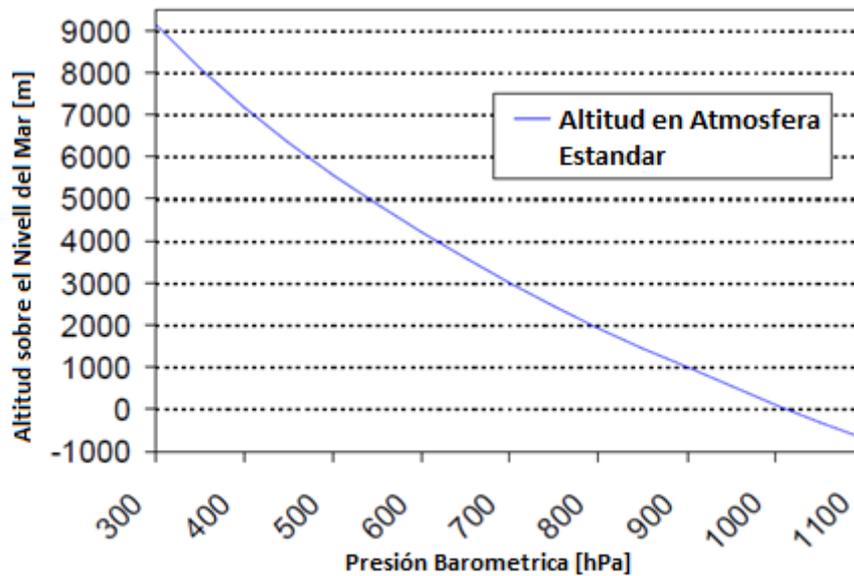


Fig. 2.1.1.1 – Grafico de Altitud absoluta vs Presión Barométrica

### 2.1.1.1 Características Eléctricas del Sensor

Parámetro	Símbolo	Condición	Min	Typ	Max	Unidad
Temperatura de Operación	$T_A$	Operacional	- 40	-	+ 85	°C
Voltaje de Suministro	$V_{DD}$		1.8	2.5	3.6	V
Tiempo de conversión para Temperatura	$t_{C\_temp}$			3	4.5	ms
Tiempo de conversión para Presión	$P_{C\_p\_std}$			5	7.5	ms
Precisión de la Presión Absoluta		700 ... 1100 hPa	-2.5	± 1.0	+2.5	hPa
Vdd = 3.0 Volts		0 ... +65 °C				
		300 ... 700 hPa	-3.0	± 1.0	+3.0	hPa
		0 ... +65 °C				
		300 ... 1100 hPa	-4.0	± 1.5	+4.0	hPa
		-20 ... 0 °C				
Resolución de los Datos de Salida		Presión		0.01		hPa
		Temperatura		0.1		°C

Tabla 2.1.1.1 – Características Eléctricas

### 2.1.2 Operación del Sensor de Presión

El sensor de presión barométrica BMP085 fue diseñado para ser conectado de manera directa a un microcontrolador o a un dispositivo móvil mediante una conexión del tipo I<sup>2</sup>C<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> I<sup>2</sup>C es un bus de comunicaciones en serie. Su nombre viene de Inter-Integrated Circuit (Circuitos Inter-Integrados). La principal característica de I<sup>2</sup>C es que utiliza dos líneas para transmitir la información: una para los datos y otra para la señal de reloj. También es necesaria una tercera línea, pero esta sólo es la referencia



A continuación se explica cómo se realizó la medición y corrección de los datos aportados por el Sensor de presión BMP085.

### 2.1.3 Medición de Presión y Temperatura

El microcontrolador, de nuestro dispositivo, envía una secuencia de inicio para comenzar con la medición de presión y temperatura. El sensor demora alrededor de 4.5 ms antes de iniciar las mediciones y enviarlas, a través de la interface I<sup>2</sup>C, a nuestra placa de control (Arduino).

Para el cálculo de la temperatura y de la Presión, se emplean una serie de datos de ajuste brindados por el fabricante del sensor. Estos datos son leídos desde la E<sup>2</sup>PROM<sup>8</sup> del BMP085 a través de la interface I<sup>2</sup>C.

La velocidad de muestreo máxima es de 128 muestras por segundo (modo estándar) para mediciones dinámicas. En este caso es suficiente tomar una muestra por segundo para el cálculo de la temperatura, y 16 muestras por segundo (promediando dichas muestras) para el cálculo de la presión atmosférica.

Para diferentes modos de uso, se puede lograr un compromiso óptimo entre consumo de energía, velocidad y resolución en la toma de datos.

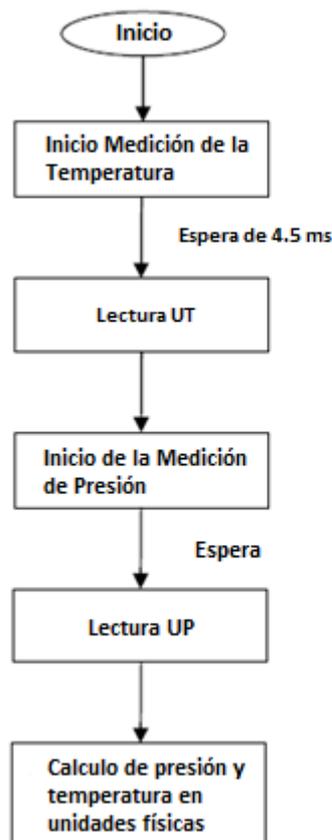


Fig. 2.1.3.1 – Mecanismo de Medición de Presión y Temperatura

<sup>8</sup> E<sup>2</sup>PROM son las siglas de Electrical Erasable Programmable Read-Only Memory (ROM programable). Es un tipo de memoria ROM que puede ser programada, borrada y reprogramada Electrónicamente.



Los modos de muestreo pueden realizarse a velocidades más altas, por ejemplo, hasta 128 veces por segundo, con el consumo de corriente aumentando proporcionalmente a la frecuencia de muestreo. De esta manera, el ruido se reduce al aumentar la cantidad de datos relevados por unidad de tiempo, dado que se promedian estos valores para mostrarlos entre una y cinco veces por segundo.

Los 176 bit de la E<sup>2</sup>PROM son particionados en 11 partes de 16 bit. Cada una de estas partes contiene los coeficientes de calibración, que son empleados para determinar la temperatura y presión verdadera.

Los pasos que nuestro dispositivo sigue son los siguientes:

- 1- Nuestra placa de control maestro (Arduino) inicia la comunicación con el sensor de presión y temperatura. Este se enciende y procede a leer los valores de calibración de la E<sup>2</sup>PROM.
- 2- El sensor releva la temperatura y la almacena asignándole el nombre UT.
- 3- El sensor releva la presión y almacena la misma asignándole el nombre UP.
- 4- Ambos valores, UP y UT, son recibidos por la placa de control maestro (Arduino).
- 5- Se calcula el valor real de la temperatura (Valor Corregido).
- 6- Se calcula el valor real de la presión (Valor Corregido). Es importante aclarar, que esta corrección no sería posible si no se tomara el valor de la temperatura primero. La temperatura corregida es empleada en los cálculos de ajuste/corrección de la presión atmosférica verdadera.<sup>9</sup>
- 7- Ambos valores corregidos son mostrados y almacenados.
- 8- Se reinicia el proceso.

La siguiente figura muestra en detalle el algoritmo de cálculo de la presión y temperatura verdadera (Ver Datasheet del Sensor BMP085 de BOSCH – Esquema de programación adjuntado en CD).

---

<sup>9</sup> Los cálculos mostrados en el esquema de programación fueron pensados para ejecutarse desde la memoria E2PROM del sensor BMP085. Por cuestiones propias de velocidad de cálculo y forma de programación, esto se realiza en la placa de control principal (Arduino).

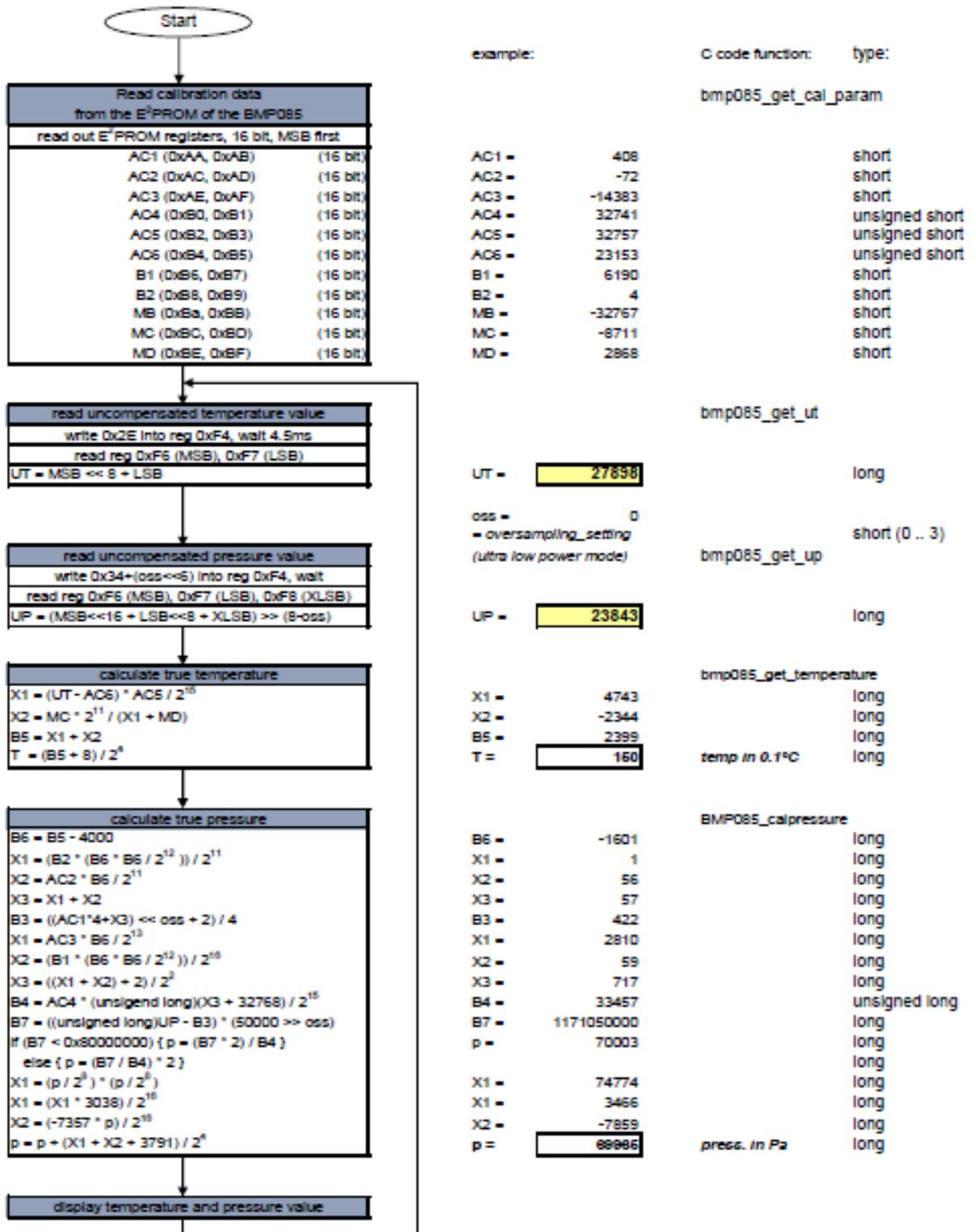


Fig. 2.1.3.2 - Esquema de programación

## 2.2 Conexión del Sensor a la Placa Arduino

Para realizar la conexión del sensor a nuestra placa solo necesitamos los siguientes elementos:

- Cable para conexiones electrónicas de 1.5 mm.
- 8 Pines machos de 2.54 mm.
- 8 Pines hembra.
- 1 Socket plástico de 6 lugares para anclaje a Pines Hembra.
- Tubo de plástico termo contraíble de 2 mm (E160908 – 125°C).
- Estaño para soldar elementos electrónicos<sup>10</sup> (0.8 mm de diámetro).

El esquema de conexión del mismo es el siguiente:

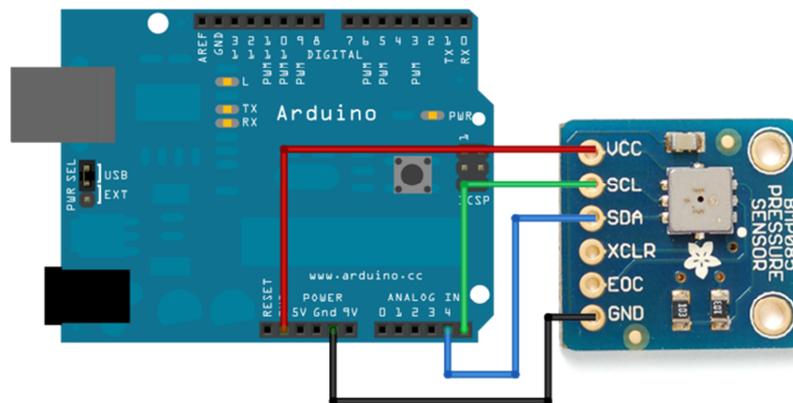


Fig. 2.2.1 – Esquema de conexión del Sensor BMP085 a la Placa Arduino

Puede verse en el esquema que los puertos XCLR y EOC permanecen desconectados de la placa. Esto es así dado que el puerto XCLR tiene la función de reiniciar los registros internos y los contadores de sensor; por otro lado el puerto EOC tiene la función de comprobar que el trabajo de conversión haya finalizado. Los cálculos de conversión se realizan en la placa de control (Arduino).

PIN N°	Nombre	Función
1	GND	Tierra (masa)
2	EOC	Final de la Conversión
3	V <sub>DDA</sub>	Suministro de Energía (Analógica)
4	V <sub>CC</sub>	Suministro de Energía (Digital)
5	Nc	No se encuentra conectado
6	SCL	Entrada Reloj al bus I <sup>2</sup> C
7	SDA	Entrada de Datos al bus I <sup>2</sup> C
8	XCLR	Control de la limpieza

Tabla 2.2.1 – Pines de Conexión entre Sensor de Presión y Arduino

<sup>10</sup> El estaño contiene: Sn 60%, Pb 40%, Resina Ra 300 (ISO 9002)

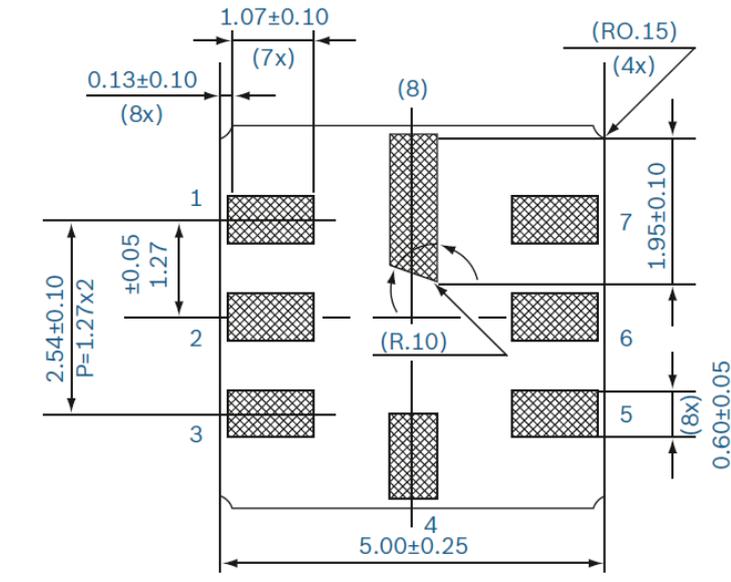


Fig. 2.2.2 – Arquitectura del Sensor BMP085

### 2.3 Programación del Sensor Presión

La programación puede llevarse adelante con las indicaciones que el fabricante realiza en el esquema de programación, contenido en el Datasheet del elemento.

Es menester, respetar el ajuste inicial del sensor ( $> 4.5$  ms), para luego iniciar los cálculos de la presión y temperatura valiéndonos de lo indicado en el esquema de programación.

En este caso el fabricante sugiere la incorporación de una serie de subprogramas dentro de los ajustes. Para hacer más dinámica la explicación que recae sobre lo programado, se realiza una explicación sobre el código. En color verde se explican todos los puntos de desarrollo propio y en color rojo se indican los subprogramas que el fabricante aconseja emplear.

```
#include "Wire.h"; //Librería destinada a la comunicarse por medio del procedimiento I2C
#include <LiquidCrystal.h> // Librería para controlar la pantalla
```

```
#define I2C_ADDRESS 0x77 // aquí se define la dirección (I2C) 0x77 para que Arduino
// identifique nuestro sensor de presión. Este paso no es
// necesario si solo tenemos un sensor conectado a los puertos
// SDA y SCL.
```

```
LiquidCrystal lcd (12, 11, 5, 4, 3, 2); // Se declaran los pines en donde se conecta la Pantalla
```

```
const unsigned char oversampling_setting = 3; //Sobre muestreo para la medición
const unsigned char pressure_waittime[4] = { 5, 8, 14, 26 }; //Tomado así del datasheet
//del sensor (tiempos de espera)
```

```
int ac1; // Declaración de Constante Entera ac1
int ac2; // Declaración de Constante Entera ac2
int ac3; // Declaración de Constante Entera ac3
```



```
unsigned int ac4; // Declaración de Constante Entera ac1
unsigned int ac5; // sólo almacenan valores enteros positivos (rango útil de 0 a 65.535)
unsigned int ac6; // sólo almacenan valores enteros positivos (rango útil de 0 a 65.535)
int b1; // Declaración de Constante Entera b1.
int b2; // Declaración de Constante Entera b2.
int mb; // Declaración de Constante Entera mb.
int mc; // Declaración de Constante Entera mc.
int md; // Declaración de Constante Entera md.
int bi=2,bc=3,bd=4; // Declaración y carga de datos en bi, bc, bd (tipo entero)
double P=0,P0=101325.,T=0; // Declaración y carga de datos en P,P0 y T (tipo punto flotante
// 64 bits)
double H,D, H0=0.,vv; // Declaración y carga de datos en H, H0 (tipo punto flotante
// 64 bits)
int S1=1; // Declaración y carga de datos S1. (Tipo entero)
unsigned long t1=0, t0=0, tic, toc; // Declaración y carga de t1, t0, tic,toc (tipo entero
// Extendido de rango útil limitado)

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // inicia el puerto serial de comunicación con una
// Velocidad de comunicación de 9600 baudios
  Serial.println("Setting up BMP085"); // Se imprime en el Serial monitor ""
  Wire.begin(); // Inicia la librería Wire y determina el I2C bus como
// maestro o esclavo.

  bmp085_get_cal_data(); // Sub programa
  lcd.begin(16,2); //Se carga el tipo de pantalla (16 caracteres x 2 líneas)
}

void bmp085_read_temperature_and_pressure(int& temperature, long& pressure);
//llamado de sub programa

void loop()
{
  t0=millis();
  int temperature = 0;
  long pressure = 0;
  double Pi=0,Ti=0;
  vv=0;
  bmp085_read_temperature_and_pressure(&temperature,&pressure);
// Llamado de subprograma
  t1=millis();
  Ti=temperature;
  Pi=pressure;
  H=44293.*(1.-pow((pressure/P0),(1/5.256)));
  Serial.print(Ti/10.); //Inicio de impresión mediante puerto serial (Serial monitor)
  Serial.print(" "); // --
  Serial.print(Pi/100.); // --
}
```



```
Serial.print(" ");           //  --
Serial.print(H);             //  --
Serial.print(" ");           //  --
Serial.print(t1);            //  --
Serial.println();            // Finalización de impresión en puerto serial.

{
  lcd.setCursor(0,0);         // Presentación de datos en pantalla
  lcd.print("Pres:");         //  --
  lcd.setCursor(6,0);         //  --
  lcd.print(" ");             //  --
  lcd.setCursor(6,0);         //  --
  lcd.print(Pi/100);          //  --
  lcd.setCursor(13,0);        //  --
  lcd.print("Hpa");           //  --

  lcd.setCursor(0,1);         //  --
  lcd.print("Temp:");         //  --
  lcd.setCursor(6,1);         //  --
  lcd.print(" ");             //  --
  lcd.setCursor(6,1);         //  --
  lcd.print(Ti/10);           //  --
  lcd.setCursor(13,1);        //  --
  lcd.print("C");             // Fin de Presentación de Datos
  delay(1000);                // Espera de un segundo entre cada muestra de datos
}

}
```

### // Subprograma de lectura inicial y creación de variables de almacenamiento/cálculo

```
void bmp085_read_temperature_and_pressure(int* temperature, long* pressure) {
  int ut= bmp085_read_ut();
  long up = bmp085_read_up();
  long x1, x2, x3, b3, b5, b6, p;
  unsigned long b4, b7;
```

#### //Cálculo de temperatura

```
x1 = ((long)ut - ac6) * ac5 >> 15;
x2 = ((long) mc << 11) / (x1 + md);
b5 = x1 + x2;
*temperature = (b5 + 8) >> 4;
```

#### //Cálculo de Presión

```
b6 = b5 - 4000;
x1 = (b2 * (b6 * b6 >> 12)) >> 11;
x2 = ac2 * b6 >> 11;
x3 = x1 + x2;
```



```
if (oversampling_setting == 3) b3 = ((int32_t) ac1 * 4 + x3 + 2) << 1;  
if (oversampling_setting == 2) b3 = ((int32_t) ac1 * 4 + x3 + 2);  
if (oversampling_setting == 1) b3 = ((int32_t) ac1 * 4 + x3 + 2) >> 1;  
if (oversampling_setting == 0) b3 = ((int32_t) ac1 * 4 + x3 + 2) >> 2;
```

```
x1 = ac3 * b6 >> 13;  
x2 = (b1 * (b6 * b6 >> 12)) >> 16;  
x3 = ((x1 + x2) + 2) >> 2;  
b4 = (ac4 * (uint32_t) (x3 + 32768)) >> 15;  
b7 = ((uint32_t) up - b3) * (50000 >> oversampling_setting);  
p = b7 < 0x80000000 ? (b7 * 2) / b4 : (b7 / b4) * 2;
```

```
x1 = (p >> 8) * (p >> 8);  
x1 = (x1 * 3038) >> 16;  
x2 = (-7357 * p) >> 16;  
*pressure = p + ((x1 + x2 + 3791) >> 4);  
}
```

```
unsigned int bmp085_read_ut() {  
    write_register(0xf4,0x2e);  
    delay(1000); //longer than 4.5 ms  
    return read_int_register(0xf6);  
}
```

```
void bmp085_get_cal_data() {  
    Serial.println("Reading Calibration Data");  
    ac1 = read_int_register(0xAA);  
    Serial.print("AC1: ");  
    Serial.println(ac1,DEC);  
    ac2 = read_int_register(0xAC);  
    Serial.print("AC2: ");  
    Serial.println(ac2,DEC);  
    ac3 = read_int_register(0xAE);  
    Serial.print("AC3: ");  
    Serial.println(ac3,DEC);  
    ac4 = read_int_register(0xB0);  
    Serial.print("AC4: ");  
    Serial.println(ac4,DEC);  
    ac5 = read_int_register(0xB2);  
    Serial.print("AC5: ");  
    Serial.println(ac5,DEC);  
    ac6 = read_int_register(0xB4);  
    Serial.print("AC6: ");  
    Serial.println(ac6,DEC);  
    b1 = read_int_register(0xB6);  
    Serial.print("B1: ");  
    Serial.println(b1,DEC);  
    b2 = read_int_register(0xB8);
```



```
Serial.print("B2: ");
Serial.println(b1,DEC);
mb = read_int_register(0xBA);
Serial.print("MB: ");
Serial.println(mb,DEC);
mc = read_int_register(0xBC);
Serial.print("MC: ");
Serial.println(mc,DEC);
md = read_int_register(0xBE);
Serial.print("MD: ");
Serial.println(md,DEC);
}

long bmp085_read_up() {
  write_register(0xf4,0x34+(oversampling_setting<<6));
  delay(pressure_waittime[oversampling_setting]);

  unsigned char msb, lsb, xlsb;
  Wire.beginTransmission(I2C_ADDRESS);
  Wire.write(0xf6); // register to read
  Wire.endTransmission();

  Wire.requestFrom(I2C_ADDRESS, 3); // read a byte
  while(!Wire.available()) {
    // waiting
  }
  msb = Wire.read();
  while(!Wire.available()) {
    // waiting
  }
  lsb |= Wire.read();
  while(!Wire.available()) {
    // waiting
  }
  xlsb |= Wire.read();
  return (((long)msb<<16) | ((long)lsb<<8) | ((long)xlsb)) >>(8-oversampling_setting);
}

void write_register(unsigned char r, unsigned char v)
{
  Wire.beginTransmission(I2C_ADDRESS);
  Wire.write(r);
  Wire.write(v);
  Wire.endTransmission();
}

char read_register(unsigned char r)
{

```



```
unsigned char v;
Wire.beginTransmission(I2C_ADDRESS);
Wire.write(r); // register to read
Wire.endTransmission();

Wire.requestFrom(I2C_ADDRESS, 1);
while(!Wire.available()) {
}
v = Wire.read();
return v;
}

int read_int_register(unsigned char r)
{
    unsigned char msb, lsb;
    Wire.beginTransmission(I2C_ADDRESS);
    Wire.write(r); // register to read
    Wire.endTransmission();

    Wire.requestFrom(I2C_ADDRESS, 2); // read a byte
    while(!Wire.available()) {
    }
    msb = Wire.read();
    while(!Wire.available()) {
    }
    lsb = Wire.read();
    return (((int)msb<<8) | ((int)lsb));
}
```



## **2.4 Ensayos**

El datasheet indica cual es la precisión del sensor de presión. Fuera de esto, se consideró relevante realizar una serie de ensayos para determinar qué tan fiable era la información recabada por dicho sensor y constatar que la programación, realizada sobre la placa Arduino, no introdujera errores en la apreciación del sensor.

Por esto, se realizaron los siguientes ensayos:

- Ensayo comparativo entre BMP085 y Barómetro de columna de Mercurio Fuess.
- Ensayo comparativo entre “BMP085 y Sensor de Presión Vaisala con simulación de altura en cámara de vacío<sup>11</sup>”.

### **2.4.1 Ensayo Comparativo entre Sensor BMP085 y Barómetro de Columna de Mercurio Modelo Fuess 4K**

#### **2.4.1.1 Resumen**

En este ensayo de laboratorio se realizó la toma de presión ambiente desde los siguientes instrumentos:

- o Barómetro de Columna de Mercurio Fuess.
- o Sensor de Presión Barométrica Bosch Modelo BMP085.

La toma de datos se realizó por un periodo aproximado de 2:30 Hs. Luego de esto se especificó el grado de similitud entre ambos elementos de medición.

#### **2.4.1.2 Objetivo del Ensayo**

Determinar, si lo indicado por el Sensor BMP085 (Bosch) se encuentra dentro de los valores obtenidos con el Barómetro de Columna de Mercurio Fuess.

### **2.4.1.3 Fundamentos Teóricos “Instrucciones de Funcionamiento para el Barómetro Standard Fuess 4K”**

#### **2.4.1.3.1 Advertencias Preliminares**

Los barómetros estándar, son los instrumentos más precisos para medir la presión atmosférica; sin tener que emplear un segundo instrumento con el fin de comparar los datos relevados.

#### **2.4.1.3.2 Principio de las Mediciones**

Los barómetros estándar están basados en el principio de barómetro sifón. El barómetro está interrumpido abajo por una cisterna, el fondo de la cual está constituida por una bolsita de piel y en el caso de barómetros de control por un diafragma de metal. Girando una perilla estriada la bolsita o el

---

<sup>11</sup> La cámara de vacío al igual que el sensor de presión “Vaisala” fueron facilitados por una Empresa de Mantenimiento Aeronáutico de la ciudad de Córdoba.

diafragma puede ser empujado hacia adentro y por consiguiente se cambia el volumen de la cisterna, por esto ambos meniscos pueden ser enrasados a diferentes alturas. Para mediciones, primero el menisco más bajo se lleva a coincidir con la parte inferior de la corredera del visor, la cual se encuentra ajustada a cero con la escala, luego de esto la parte inferior de la corredera del visor se ajusta al menisco superior y la altura barométrica se lee como distancia entre meniscos de un tornillo micrométrico conectado con la corredera del visor superior en la división del tubo de cubierta.

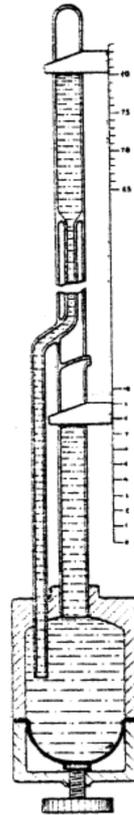


Fig. 2.4.1.3.2 – Barómetro de Columna de Mercurio “Fuess 4k”.

### **2.4.1.3.3 Suspensión del Barómetro**

Al barómetro se lo debe suspender en un local sin vibraciones y con igual temperatura en todo lugar y tiempo, además se debe evitar colocarlo cerca de calefactores, y ventanas con exposición directa de los rayos solares.

La precisión de una medición depende de cómo se haya ajustado la corredera del visor; para un ajuste exacto es importante que los dos puntos de lectura estén a una altura tal que el mismo pueda hacerse fácilmente en una posición natural. Es conveniente, por consiguiente, ajustar el barómetro de forma tal que el punto cero de la escala esté cerca de 1.30 m del piso; de esta manera el observador podrá ajustar el tornillo micrométrico inferior sentado en una silla y el superior parado sobre un escalón de 0.40 m de alto.

#### 2.4.1.3.4 Ejecución de las Mediciones

La manera de proceder a la hora de determinar la presión atmosférica empleando un barómetro de columna de mercurio, es la siguiente:

Lo primero que se debe hacer es graduar a cero el nivel del menisco en la columna inferior acercando el tornillo de nivelación, colocándolo en cero, es decir, el cero de la regla móvil debe coincidir con el cero de la regla fija inferior. Luego de esto se debe colocar el menisco inferior a nivel con la parte inferior de este tornillo de nivelación, para esto se emplea el tornillo de regulación que consta en su interior de una membrana que hace variar la altura del nivel de fluido. Una vez logrado esto se debe enrasar el menisco en la parte superior con la parte inferior de la escala móvil superior; concluido esto se observa cual es la medición que arroja el instrumento, de manera similar a como medimos con un calibre; se mira cual es el número de línea de la escala fija que coincide con el cero de la escala móvil.

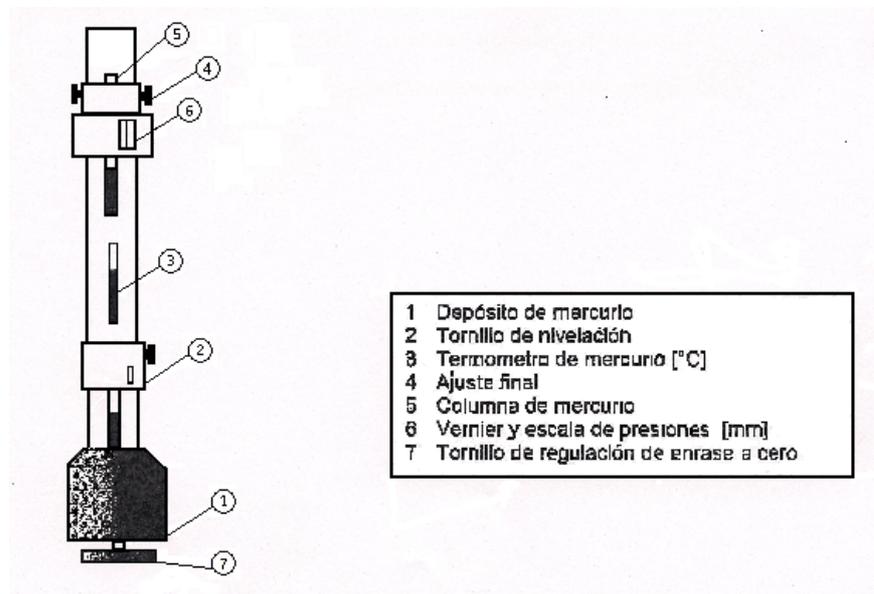


Fig. 2.4.1.3.4 – Partes de un Barómetro de Columna de Mercurio

#### 2.4.1.3.5 Aplicación de Correcciones

El funcionamiento del barómetro de Hg. se basa en un principio de equilibrio, la presión atmosférica es equilibrada por el peso de la columna de Hg. Como medida de la presión se utiliza la altura de la columna de Hg. la que por otra parte depende de:

- a- La densidad del Hg. que varía con la temperatura.
- b- La aceleración local de la gravedad, la que depende esencialmente de la latitud geográfica, de la altitud del lugar y de la forma de la superficie terrestre.
- c- La depresión del Hg. en el tubo debido a la capilaridad.
- d- La lectura es asimismo influenciada por la dilatación térmica de la escala del barómetro.

Como la escala de todos los barómetros “Fuess” dan lecturas verdaderas a 0° C y las escalas graduadas han sido calculadas en base a valores estándares de la gravedad,  $g_n$ , todas las marcas graduadas en el



barómetro dan valores verdaderos en mmHg a temperatura del instrumento de 0° C y aceleración de la gravedad igual a 980.665 cm/seg<sup>2</sup>.

En caso que difieran los valores de temperatura como de la gravedad, las correcciones abordadas en estas instrucciones deberán de aplicarse a las lecturas para obtener valores absolutos y comparables de la presión. Las tablas de corrección se encuentran labradas de acuerdo a las normas de la Organización Meteorológica Mundial.

### Corrección de la temperatura

Los valores de corrección están basados en la siguiente formula:

$$K_t = - \left( \frac{\alpha - \beta}{1 + \alpha_t} \right) * t = -0.000163 * t * b \quad \text{Ec. 2.4.1.3.5.1}$$

b: Es la lectura barométrica en mmHg o mb.

$\alpha$ : 0.0001815 coeficiente de dilatación cubica del Hg. por °C.

$\beta$ : 0.0000184 coeficiente lineal de dilatación de la escala de bronce por °C.

t: temperatura del instrumento en °C.

Con temperaturas superiores a 0 °C, los valores de corrección se restan de los de las lecturas; para temperaturas inferiores a 0 °C se suman. Según las escalas presentadas igualmente en mmHg y mb.

### Corrección de la aceleración de la gravedad debido a la latitud geográfica

La aceleración disminuye en conformidad con la latitud geográfica  $\varphi$ . Una columna de Hg. de longitud L es más pesada en el polo que en el ecuador, por consiguiente, en el caso de igual longitud de la columna habrá un decremento de la presión en dirección del polo al ecuador. Considerando que la aceleración de la gravedad a latitud de 45° y al nivel del mar es:

$$g_{45} = 980.616 \frac{cm}{seg^2} \quad \text{Ec. 2.4.1.3.5.2}$$

La corrección por latitud  $\varphi$  se calcula por medio de la ecuación:

$$K_f = \left[ \frac{980.616}{980.665} * (1 - 0.0026373 * \cos^2 \varphi + 0.0000059 * \cos^2 2\varphi) - 1 \right] * b \quad \text{Ec. 2.4.1.3.5.3}$$

$$K_f = -0.0012513 * b \quad \text{Ec. 2.4.1.3.5.4}$$

Esto queda así, dado que la latitud geográfica introducida fue de  $\varphi = -31^\circ 26'$  Sur.



### Corrección de la aceleración de la gravedad debido a la altura

Si:

$H(m)$ = altura promedio del barómetro sobre el nivel del mar.

$H'(m)$ =altura promedio sobre el nivel del mar de la superficie del terreno incluida en un área cuyo radio sea aproximadamente 150 Km, con centro en el punto dado.

Según esto la corrección será:

$$K_H = -\frac{0.0003086}{980.665} * H * b + \frac{0.0001118}{980.665} * (H - H') * b \quad \text{Ec. 2.4.1.3.5.5}$$

$$K_f = -1.75626 * 10^{-4} * b \quad \text{Ec. 2.4.1.3.5.6}$$

Esto resulta, dado que se consideró la altura del lugar de descanso del barómetro igual a 440 m sobre el nivel del mar y a la altura promedio del área (con un radio de 150 Km) igual a 766 m.

#### 2.4.1.4 Desarrollo del Ensayo

Puede apreciarse en la siguiente tabla de datos la toma de 3 mediciones espaciadas, cada una de ellas por un lapso de 15 segundos aproximadamente. Estas mediciones iniciales se encontraban destinadas al cálculo de la dispersión  $D$  y de la desviación típica media<sup>12</sup>. Estos dos cálculos iniciales fueron realizados para verificar que el número de mediciones tomadas era suficiente para garantizar un valor medio confiable.

$$D = \frac{X_{max} - X_{min}}{\bar{X}} * 100 \quad \text{Ec. 2.4.1.4.1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (\bar{X} - X_i)^2}{N-1}} \quad \text{Ec. 2.4.1.4.2}$$

Donde

- $\bar{X}$ : Valor medio
- $X_i$ : Valor de cada medida
- $N$ : Número total de medidas.

Luego de haber realizado estos cálculos, se determinó que con 3 medidas tomadas era suficiente para poder calcular un buen valor promedio, esto fue así por lo siguiente:

<b>D &lt; 2 %</b>	Con tres medidas tomadas es suficiente
<b>2 % &lt; D &lt; 8 %</b>	Realizar un total de seis medidas
<b>8 % &lt; D &lt; 12 %</b>	Realizar un total de quince medidas
<b>D &gt; 12 %</b>	Realizar un mínimo de 50 medidas

Tabla 2.4.1.4.1 – Valores de Referencia para la Dispersión

<sup>12</sup> La Teoría sobre Dispersión y desviación típica media se encentra en el Anexo 3 de este trabajo.



Determinado esto, se continuó con el cálculo de la presión promedio pasando las unidades de mmHg. (Milímetros de Mercurio) a Hpas. (Hecto Pascales).

$$1 \text{ mmHg} = 1.33322 \text{ HPa} \quad \text{Ec. 2.4.1.4.3}$$

Seguidamente se realizaron las correcciones sobre los valores tomados de barómetro de columna de mercurio, (Expresados anteriormente) para sumárselo al valor promedio (en HPa) calculado con anterioridad.

$$\text{Val. Prom. Final} = \text{Val. Prom. HPa} + \text{Corr. Temp} + \text{Corr. Acel. Latitud} + \text{Corr. Acel. Altitud}$$

Ec. 2.4.1.4.4

Sobre la tabla de datos del sensor de presión barométrica BMP085 solo se aclara el cálculo del error del elemento. Esto se realizó teniendo presente lo expuesto por el Datasheet del mismo<sup>13</sup>. Según este, el error del sensor es de:  $\pm 1.0 \text{ HPa}$  para una presión comprendida entre 700 HPa. y 1100 HPa y una temperatura de entre 0 °C y 65 °C.

A continuación se muestran las tablas y los gráficos con las mediciones de ambos barómetros (Digital y de Columna de Mercurio).

---

<sup>13</sup> El Datasheet del Sensor Bosch BMP085 se encuentra dentro del CD que se entrega junto a este trabajo.



	e0	5 mmHg.				Especificado en el desarrollo de la Tesis				Dispersión	Des. Med.
Barómetro	1	2	3	4= (1+2+3)/3	5=4-e0 (en HPa)	6	7	8	9=5+6+7+8+9		
Hora	Toma 1	toma 2	Toma 3	Val. Prom.	Val. Prom. HPa - e0	Corr. Temp.	Corr. Acel. Latitud	Corr. Acel. Alt.	Val. Prom. Final	D	σ
10:27	723,90	724,00	723,90	723,93	966,5	-2,938	-1,209	-0,170	962,2	0,014	0,058
10:30	724,10	724,40	724,00	724,17	966,8	-2,876	-1,210	-0,170	962,6	0,055	0,208
10:45	730,50	730,60	730,50	730,53	967,3	-2,814	-1,210	-0,170	963,1	0,014	0,058
11:00	730,60	730,50	730,60	730,57	967,3	-2,812	-1,210	-0,170	963,2	0,014	0,058
11:15	730,75	730,70	730,70	730,72	967,5	-2,828	-1,211	-0,170	963,3	0,007	0,029
11:30	730,70	730,60	730,74	730,68	967,5	-2,844	-1,211	-0,170	963,3	0,019	0,072
11:45	730,80	730,85	730,80	730,82	967,7	-2,892	-1,211	-0,170	963,4	0,007	0,029
12:00	730,30	730,30	730,30	730,30	967,0	-2,895	-1,210	-0,170	962,7	0,000	0,000
12:15	730,00	730,00	730,10	730,03	966,6	-2,925	-1,210	-0,170	962,3	0,014	0,058
12:30	730,00	730,00	730,00	730,00	966,6	-2,941	-1,209	-0,170	962,3	0,000	0,000
12:45	730,00	730,00	730,00	730,00	966,6	-2,920	-1,209	-0,170	962,3	0,000	0,000

Tabla 2.4.1.4.2 – Resultados de Ensayos



BMP 085	1	2	3	$4=(1+2+3)/3$			Según Datasheet	
Hora	Toma 1	toma 2	Toma 3	Val. Prom.	D	$\sigma$	Precisión BMP085	Resolución
10:27	962,80	962,79	962,76	962,78		0,004	1,000	0,01
10:30	962,75	962,79	962,80	962,78		0,005		
10:45	963,27	963,25	963,16	963,23		0,011		
11:00	963,29	963,19	963,24	963,24		0,010		
11:15	963,10	963,06	963,04	963,07		0,006		
11:30	963,23	963,21	963,26	963,23		0,005		
11:45	963,17	963,18	963,10	963,15		0,008		
12:00	963,22	963,15	963,25	963,21		0,010		
12:15	962,75	962,78	962,72	962,75		0,006		
12:30	962,78	962,73	962,75	962,75		0,003		
12:45	962,75	962,71	962,73	962,73		0,002		

Tabla 2.4.1.4.3 – Resultados de Ensayos

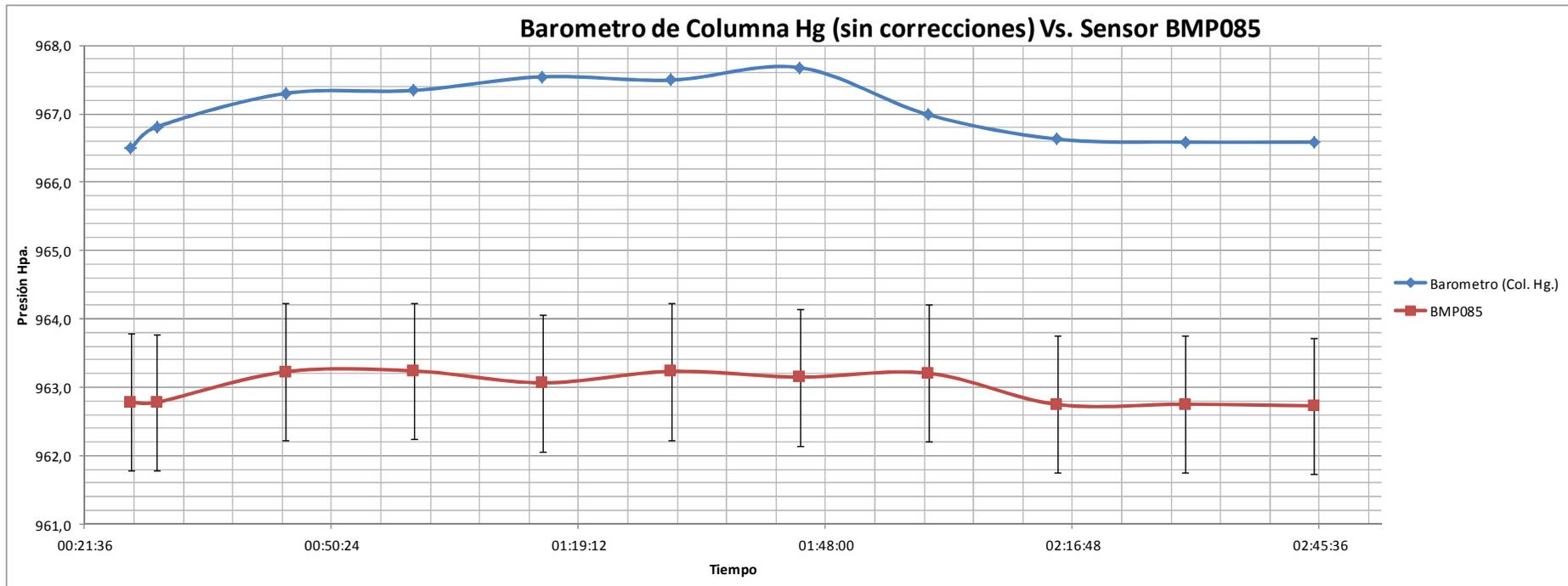


Fig. 2.4.1.4.1 – Grafica de la Presión Barométrica Vs Tiempo

Puede apreciarse claramente la diferencia que existe entre los valores, de presión atmosférica tomadas por el barómetro de columna de mercurio y el sensor de presión atmosférica BMP085. Los valores aquí arrojados podrían hacernos concluir, apresuradamente, que el sensor barométrico no cumple con aquello declarado por su fabricante (Datasheet). Esto es así dado que, el error aceptado por el mismo, no llega a ingresar dentro de los valores del barómetro de columna de mercurio.

Fuera de esto, se puede observar que en este grafico se tomaron los valores de presión (barómetro de columna de mercurio) que aún no habían sido corregidos. En la siguiente grafica se podrá observar la enorme similitud entre ambos valores de presión.

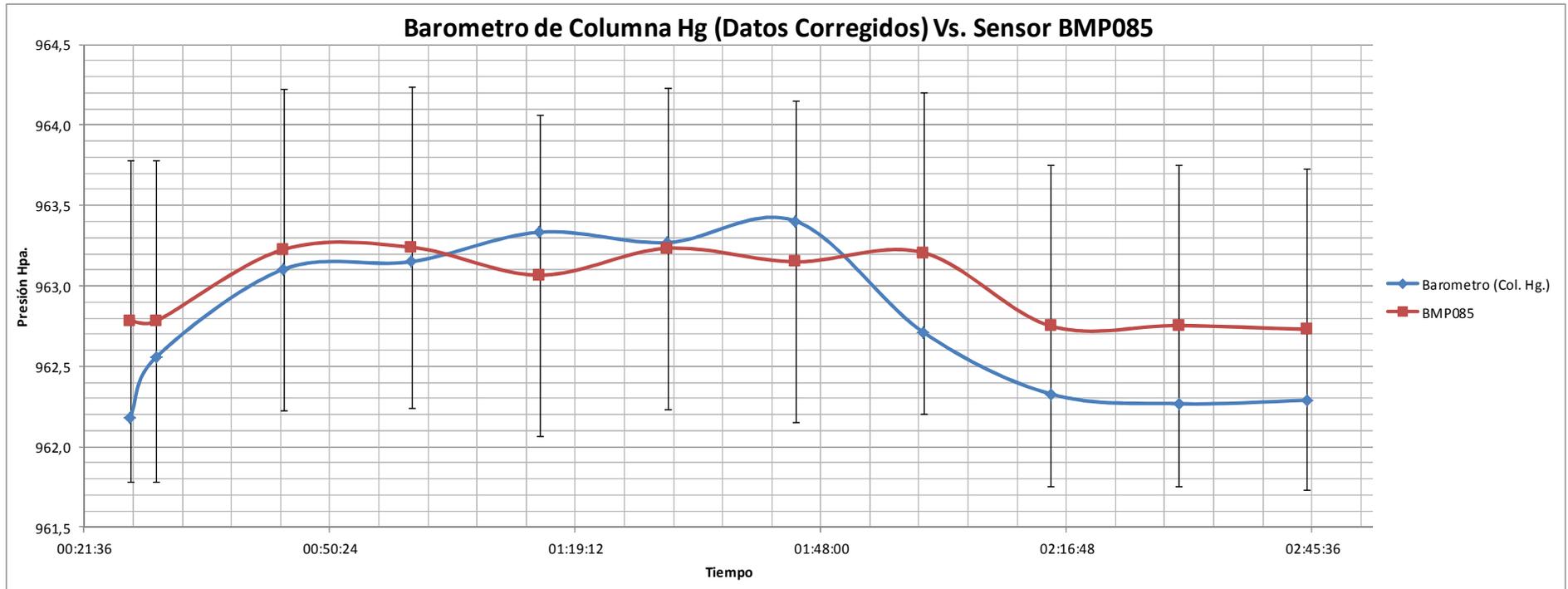


Fig. 2.4.1.4.2 – Grafica de la Presión Barométrica Vs Tiempo

De los resultados que se aprecian en las tabla y el gráfico anterior, puede decirse que las indicaciones brindadas por el Sensor de Presión BMP085 se encuentran comprendidas en las proximidades de los valores que arroja el Barómetro de Columna de Mercurio Fues 4K.



Temp. BMP 085							
Hora		Toma 1	toma 2	Toma 3	Val. Prom.	D	$\sigma$
10:27		18,7	18,6	18,7	18,7	0,536	0,050
10:30		18,2	18,3	18,3	18,3	0,548	0,050
10:45		17,9	17,8	17,9	17,9	0,560	0,050
11:00		17,9	17,8	17,8	17,8	0,561	0,058
11:15		18,0	17,9	17,9	17,9	0,558	0,058
11:30		18,1	18,0	18,0	18,0	0,555	0,058
11:45		18,4	18,3	18,3	18,3	0,545	0,058
12:00		18,4	18,3	18,4	18,4	0,544	0,058
12:15		18,5	18,6	18,6	18,6	0,539	0,058
12:30		18,6	18,7	18,7	18,7	0,536	0,058
12:45		18,6	18,5	18,5	18,5	0,540	0,058

Tabla 2.4.1.4.4 – Resultado de Ensayos

Temp. Barómetro							
Hora		Toma 1	toma 2	Toma 3	Val. Prom.	D	$\sigma$
10:27		17,0	17,1	17,0	17,03	0,587	0,058
10:30		17,2	17,2	17,2	17,20	0,000	0,000
10:45		17,2	17,3	17,3	17,27	0,579	0,058
11:00		17,4	17,4	17,4	17,40	0,000	0,000
11:15		17,4	17,5	17,5	17,47	0,573	0,058
11:30		17,5	17,6	17,6	17,57	0,569	0,058
11:45		17,7	17,8	17,8	17,77	0,563	0,058
12:00		17,9	18,0	18,0	17,97	0,557	0,058
12:15		18,5	18,6	18,5	18,53	0,540	0,058
12:30		18,5	18,5	18,6	18,53	0,540	0,058
12:45		18,7	18,7	18,6	18,67	0,536	0,058

Tabla 2.4.1.4.5 – Resultado de Ensayos

Temp. – Dwyer Mod. 485-2							
Hora		Toma 1	toma 2	Toma 3	Val. Prom.	D	$\sigma$
10:27		18,4	18,3	18,4	18,37	0,544	0,058
10:30		18,5	18,5	18,5	18,50	0,000	0,000
10:45		18,6	18,5	18,6	18,57	0,539	0,058
11:00		18,7	18,6	18,7	18,67	0,536	0,058
11:15		18,8	18,8	18,6	18,73	1,068	0,115
11:30		18,9	18,9	19	18,93	0,528	0,058
11:45		19,1	19	19,1	19,07	0,524	0,058
12:00		19,2	19,1	19,1	19,13	0,523	0,058
12:15		19,3	19,3	19,4	19,33	0,517	0,058
12:30		19,4	19,4	19,4	19,40	0,000	0,000
12:45		19,5	19,4	19,4	19,43	0,515	0,058

Tabla 2.4.1.4.6 – Resultado de Ensayos

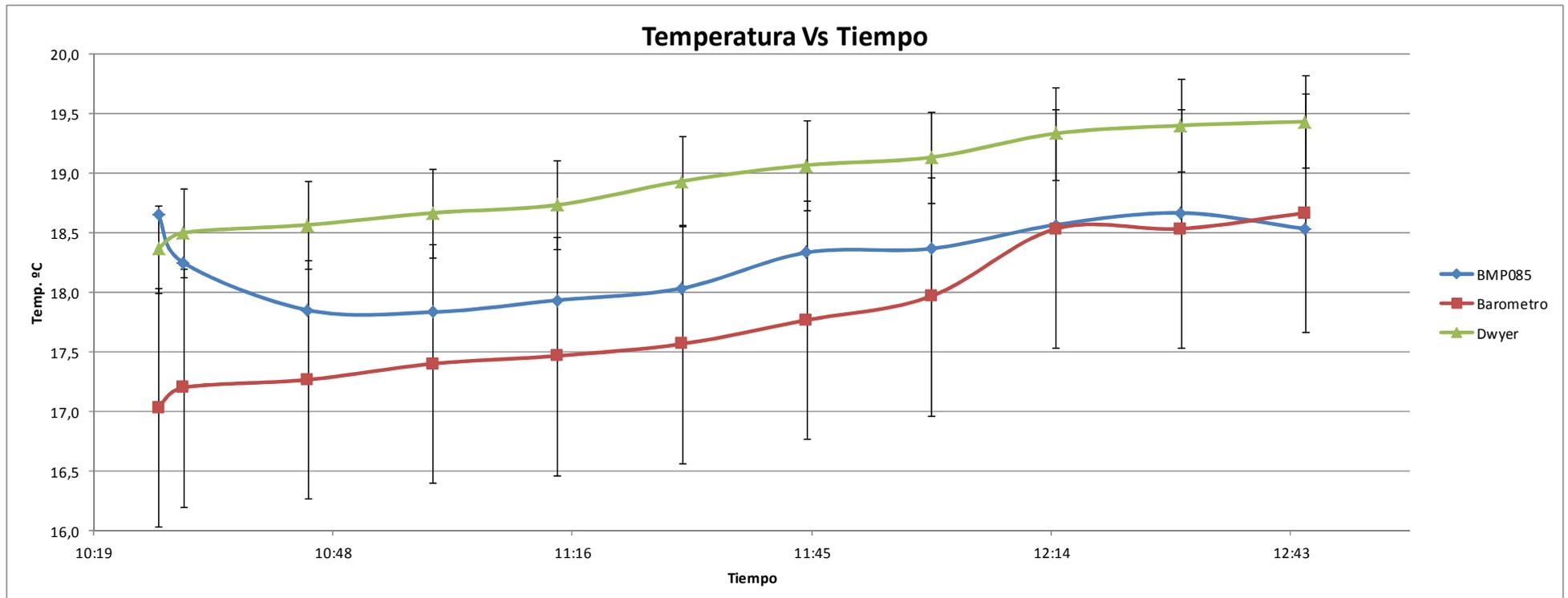


Fig. 2.4.1.4.3 – Gráfica de Temperatura Vs Tiempo

Este gráfico fue confeccionado empleando las anteriores tablas. Cabe aclarar que el dato de temperatura bajo análisis en este punto, es el empleado por el sensor de presión BMP085, para realizar el ajuste inicial antes del cálculo de la presión verdadera. Es posible que la diferencia existente entre los datos que vemos en el gráfico se deba, en parte, a la distancia que existe entre el sensor de temperatura y la parte exterior del dispositivo. Los elementos de comparación, que aquí se ven representados, corresponden al Termómetro que posee el Barómetro de Columna de mercurio, el termómetro del Higrometro Digital “Dwyer – Model 485-2<sup>14</sup>” y el termómetro del Sensor de Presión atmosférica BMP085.

<sup>14</sup> Los datos referidos al Higrometro serán presentados con los ensayos que se realizaron sobre el Sensor de Humedad Relativa y Temperatura del dispositivo en construcción.



## **2.4.2 Ensayo Comparativo entre “Sensor de Presión BMP085 y Sensor de Presión Vaisala” con Simulación de Altura en Cámara de Vacío**

### **2.4.2.1 Resumen:**

En este ensayo de laboratorio se relevó la presión sobre un ambiente con simulación de altura. En dicho ambiente se encontraba contenido el Sensor de Presión BMP085, un Barómetro Digital Vaisala y un Barómetro de Columna de Mercurio.

Luego de la toma de valores y el estudio, se especificó el grado de similitud entre ambos sensores de presión.

### **2.4.2.2 Objetivo del Ensayo:**

El presente ensayo tuvo por objeto determinar el comportamiento del sensor a distintas alturas. Como así también, las respuesta del dispositivo frente a la velocidad de cambio del dato a relevar.

### **2.4.2.3 Desarrollo del Ensayo**

Los lineamientos de este test están fundamentados, de manera parcial, por lo expresado en el Apéndice E de la DNAR 43 “Ensayo e Inspección de un Sistema Altimétrico”.

A continuación se transcriben los puntos de la DNAR 43 que fueron aplicados para realizar el ensayo.

#### **Altimetro:**

- 1- Probarlo en un Taller Habilitado calificado de acuerdo con el siguiente subpárrafo. A no ser que se lo especifique de otro modo, cada prueba de funcionamiento debe ser realizada con el instrumento sometido a vibraciones<sup>15</sup> (en este caso no es necesario dado que el instrumento no es analógico). Cuando los ensayos son realizados en condiciones de temperatura bastante diferente a la temperatura ambiente, aproximadamente de 25°C, se debe permitir una tolerancia en dicha variación a partir de la condición especificada:

- i. **Error de escala:**

Con la escala de presión barométrica en 88,35 x 10 pascales (29.92 pulgadas de mercurio), el altímetro deberá ser sometido sucesivamente a las presiones correspondientes a la altitud especificada en la **Tabla I** hasta la altitud máxima que normalmente se espera de la operación de la aeronave, para la cual el altímetro ha de ser instalado. La reducción de la presión debe ser

---

<sup>15</sup> En este caso no se aplicaron vibraciones sobre el sensor de presión barométrico por tratarse de un equipo digital. En casos, en donde se transmite una indicación de altura mediante un dial, es necesario aplicar vibraciones al instrumento.



llevada a cabo a una velocidad que no exceda los **6.096 m por minuto** (20000 pies por minuto), hasta casi aproximadamente los 609,6 m (2000 pies) del punto de prueba. El punto de prueba deberá aproximarse hasta un régimen compatible con el equipo de prueba. El altímetro debe ser mantenido a la presión correspondiente en cada punto de prueba al menos por 1 minuto, y no más de 10 minutos, antes de tomar la lectura. El error en todos los puntos de prueba no deberá exceder las tolerancias especificadas en **Tabla I.**

- 2- Los altímetros que son del tipo calculador de información de aire, los que asociados con sistemas de computación, o que incorporan internamente la corrección de la información del aire, pueden ser probados de acuerdo con las especificaciones desarrolladas por el fabricante, si estas son aceptadas por el Director Nacional.<sup>16</sup>

TABLA I

ALTITUD (Metros)	PRESION EQUIVALENTE (Pascal)	TOLERANCIA ± (Metros)
-304,8	91,59 x 10 <sup>-4</sup>	6,0
0,0	88,35 x 10 <sup>-4</sup>	6,0
152,4	86,77 x 10 <sup>-4</sup>	6,0
304,8	85,21 x 10 <sup>-4</sup>	6,0
457,2	83,67 x 10 <sup>-4</sup>	7,6
609,6	82,15 x 10 <sup>-4</sup>	9,1
914,4	79,19 x 10 <sup>-4</sup>	9,1
1.219,2	76,31 x 10 <sup>-4</sup>	10,6
1.828,8	70,80 x 10 <sup>-4</sup>	12,1
2.438,4	65,63 x 10 <sup>-4</sup>	18,2
3.048,0	60,76 x 10 <sup>-4</sup>	24,3
3.657,6	56,19 x 10 <sup>-4</sup>	27,4
4.267,2	51,90 x 10 <sup>-4</sup>	30,4
4.876,8	47,88 x 10 <sup>-4</sup>	33,5
5.486,4	44,12 x 10 <sup>-4</sup>	36,5
6.096,0	40,60 x 10 <sup>-4</sup>	39,6
6.705,6	37,31 x 10 <sup>-4</sup>	42,6
7.620,0	32,79 x 10 <sup>-4</sup>	47,2
9.144,0	26,23 x 10 <sup>-4</sup>	54,8
10.668,0	20,79 x 10 <sup>-4</sup>	62,4
12.192,0	16,35 x 10 <sup>-4</sup>	70,1
13.716,0	12,86 x 10 <sup>-4</sup>	77,7
15.240,0	10,11 x 10 <sup>-4</sup>	85,3

Tabla 2.4.2.3.1 – Datos Extraídos del Apéndice E de la Norma DNAR 43

<sup>16</sup> El resto de los ensayos propuestos por la DNAR 43 Apéndice E, fueron descartados debido a que el sensor de presión atmosférica es del tipo digital, y el resto de los ensayos resultan irrelevantes.

Para este ensayo contamos con los siguientes elementos:

- Cámara de Vacío<sup>17</sup>.
- Sensor de presión Vaisala.
- Barómetro de columna de mercurio.
- Sensor de Presión Barométrica BMP085.

A continuación se detallan los pasos ejecutados en este ensayo:

- 1- Se colocó el Sensor de Presión BMP085 montado en la Arduino (modelo Duemilanove) dentro de la cámara de vacío (ver siguiente imagen).
- 2- Luego, se encendió el dispositivo y se cerró la cámara. Se constató de que los caracteres de la pantalla LCD, montada en la placa de adquisición Arduino, se pudieran apreciar claramente para poder leer los datos desde fuera de la cámara.
- 3- Se encendió la bomba de vacío y se comenzó a restringir el paso de aire del exterior hacia el interior de la cámara, para generar la caída en la presión en el interior de la misma. De este modo se fueron alcanzando las distintas alturas (citadas con anterioridad en la tabla).

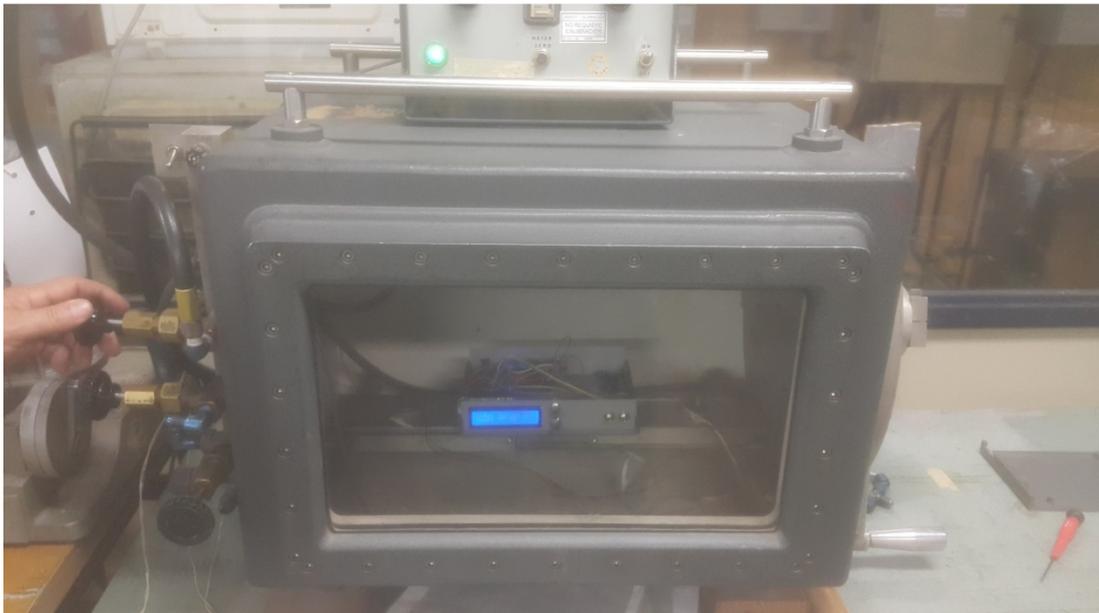


Fig. 2.4.2.3.1 - Fotografía de la Cámara de Vacío

<sup>17</sup> La cámara de vacío al igual que el sensor de presión “Vaisala” fueron facilitados por una Empresa de Mantenimiento Aeronáutico de la ciudad de Córdoba.



Fig. 2.4.2.3.2 – Dispositivo dentro de la Cámara de Vacío

- 4- Respetando lo estipulado por el punto “1-i” se fueron registrando las diferentes alturas de presión alcanzadas (se tomaron 3 valores de presión para cada altura lograda).
- 5- Se logró llegar hasta una altura de 20000 pies (6096 m). En este punto el sensor de presión Vaisala alcanzó su límite inferior (Rango operativo de trabajo superado) de presión. En este punto se suspendió la continuidad del ensayo para evitar daños en cualquiera de los equipos.

Es importante remarcar que los cálculos son similares a los explicados en el ensayo anterior con la salvedad de que aquí no se pudieron realizar las correcciones sobre el barómetro de columna de mercurio (por no contar con los datos de ajuste del mismo).

Síntesis de Cálculos<sup>18</sup>:

$$A = \text{Altura (Pies)} \quad \text{Ec. 2.4.2.3.1}$$

$$B = X (ft) * 0.3048 = X (m) \quad \text{Ec. 2.4.2.3.2} \quad C \text{ y } H = \text{Presión (mm Hg.)} \quad \text{Ec. 2.4.2.3.3}$$

$$D \text{ e } I = X (mm \text{ hg.}) * 133.322368 = X (Pa) \quad \text{Ec. 2.4.2.3.4}$$

$$E \text{ y } J = \frac{X (Pa)}{100} = X (HPa) \quad \text{Ec. 2.4.2.3.5}$$

$$F, K \text{ y } N = \text{valor promedio en HPa.} \quad \text{Ec. 2.4.2.3.6}$$

$$G = \frac{X_{max} - X_{min}}{\bar{X}} * 100 = \text{Dispersión} \quad \text{Ec. 2.4.2.3.7}$$

<sup>18</sup> Los cálculos que aquí se detallan fueron aplicados en las tablas de la pagina 59.



propuesta		e0	0 mmHg.									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	M	N
Altura (pies)	Altura (m)	Pres. Vaisala (mm hg)	Pres. Vaisala (Pa)	Pres. Vaisala (HPa)	Pres. Vaisala Prom. (HPa)	D	Pres. Col. Hg (mmhg)	Pres. Col. Hg (Pa)	Pres. Col. (HPa.)	Pres. Col. Prom. (HPa)	BMP085 (HPa)	Pres. Prom. BMP085
0	0	760,10	101338,33	1013,38	1013,41	0,01	760,00	101325,00	1013,25	1013,25	1013,15	1013,23
		760,15	101345,00	1013,45			1013,25	1013,25				
		760,10	101338,33	1013,38			1013,25	1013,30				
500	152,4	746,00	99458,49	994,58	994,50	0,01	746,30	99498,48	994,98	994,90	994,40	994,40
		745,90	99445,15	994,45			994,85	994,85				
		745,90	99445,15	994,45			994,85	994,50				
1000	304,8	732,80	97698,63	976,99	977,01	0,01	732,90	97711,96	977,12	977,10	976,40	976,43
		732,85	97705,30	977,05			977,05	976,30				
		732,80	97698,63	976,99			977,12	976,60				
1500	457,2	719,70	95952,11	959,52	959,43	0,01	719,70	95952,11	959,52	959,52	959,00	958,90
		719,60	95938,78	959,39			959,52	958,80				
		719,60	95938,78	959,39			959,52	958,90				
2000	609,6	706,50	94192,25	941,92	941,88	0,01	706,60	94205,59	942,06	942,06	940,80	940,77
		706,50	94192,25	941,92			942,06	940,70				
		706,40	94178,92	941,79			942,06	940,80				
3000	914,4	680,72	90754,54	907,55	907,57	0,01	681,10	90805,86	908,06	908,10	906,47	906,50
		680,75	90759,20	907,59			908,13	906,50				
		680,73	90756,54	907,57			908,13	906,53				
4000	1219,2	656,00	87459,47	874,59	874,55	0,02	656,40	87512,80	875,13	875,08	873,00	872,93
		655,90	87446,14	874,46			874,99	872,90				
		656,00	87459,47	874,59			875,13	872,90				



Altura (pies)	Altura (m)	Pres. Vaisala (mm hg)	Pres. Vaisala (Pa)	Pres. Vaisala (HPa)	Pres. Vaisala Prom. (HPa)	D	Pres. Col. Hg (mmhg)	Pres. Col. Hg (Pa)	Pres. Col. (HPa.)	Pres. Col. Prom. (HPa)	BMP085 (HPa)	Pres. Prom. BMP085
6000	1828,8	608,16	81081,20	810,81	811,12	0,06	609,10	81206,65	812,07	812,29	809,84	809,95
		608,50	81126,66	811,27			609,40	81246,65	812,47		810,00	
		608,50	81126,66	811,27			609,30	81233,32	812,33		810,00	
8000	2438,4	563,44	75119,29	751,19	751,21	0,01	564,40	75247,14	752,47	750,72	750,26	750,29
		563,45	75120,49	751,20			564,40	75247,14	752,47		750,30	
		563,48	75124,49	751,24			560,45	74720,52	747,21		750,30	
10000	3048	521,51	69528,28	695,28	695,38	0,03	522,60	69674,27	696,74	696,74	694,30	694,33
		521,67	69550,28	695,50			522,60	69674,27	696,74		694,40	
		521,55	69534,28	695,34			522,60	69674,27	696,74		694,30	
12000	3657,6	482,30	64301,11	643,01	643,06	0,02	483,30	64434,70	644,35	644,39	641,90	642,00
		482,30	64301,38	643,01			483,40	64448,03	644,48		642,10	
		482,40	64314,71	643,15			483,30	64434,70	644,35		642,00	
14000	4267,2	445,60	59408,45	594,08	594,17	0,02	446,50	59528,44	595,28	595,20	593,10	593,05
		445,70	59421,78	594,22			446,40	59515,11	595,15		593,15	
		445,70	59421,78	594,22			446,40	59515,11	595,15		592,90	
16000	4876,8	410,32	54704,83	547,05	547,12	0,03	411,80	54902,15	549,02	548,98	545,90	545,90
		410,36	54710,17	547,10			411,70	54888,82	548,89		545,80	
		410,45	54722,17	547,22			411,80	54902,15	549,02		546,00	
18000	5486,4	378,50	50462,52	504,63	504,71	0,03	379,60	50609,17	506,09	506,05	504,10	504,13
		378,60	50475,85	504,76			379,50	50595,84	505,96		504,30	
		378,60	50475,85	504,76			379,60	50609,17	506,09		504,00	
20000	6096	XXX-XXX	XXX-XXX	XXX-XXX	XXX-XXX	XXX	349,25	46562,84	465,63	465,65	462,10	462,40
		XXX-XXX	XXX-XXX	XXX-XXX			349,30	46569,50	465,70		462,50	
		XXX-XXX	XXX-XXX	XXX-XXX			349,25	46562,84	465,63		462,60	

Tabla 2.4.2.3.2 – Resultados de Ensayos

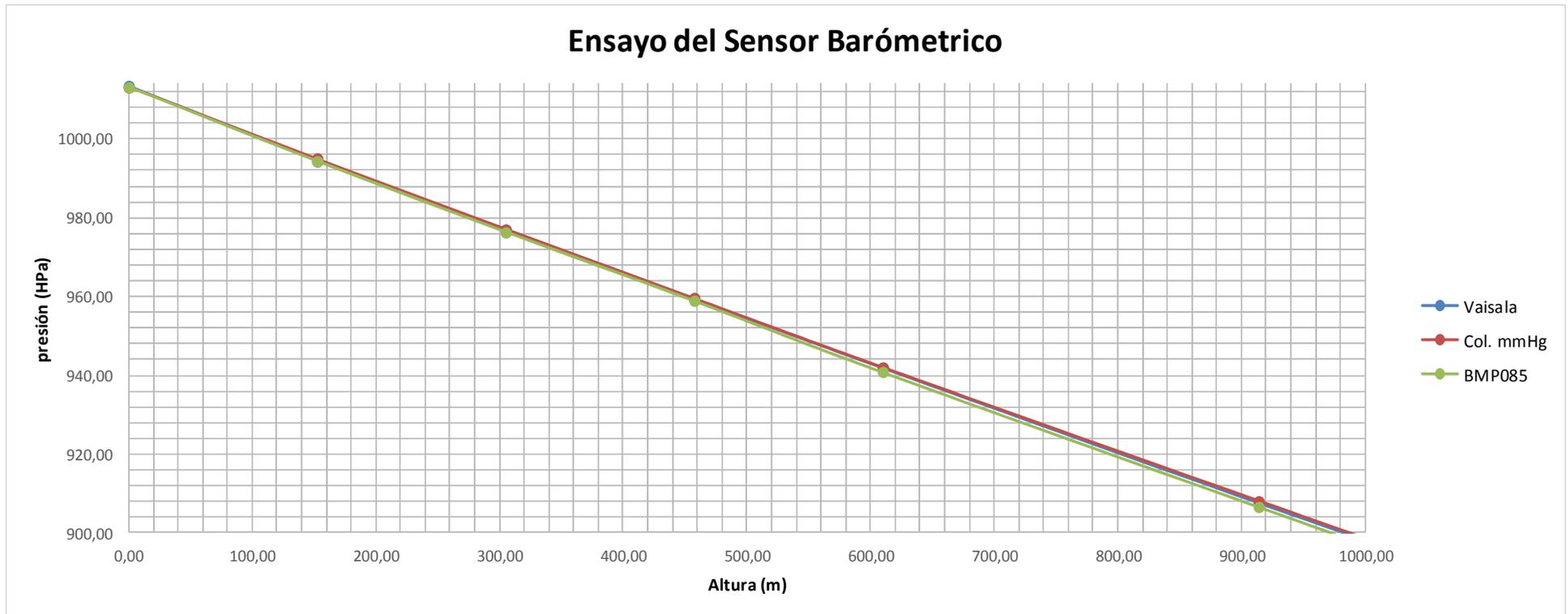


Fig. 2.4.2.3.3 – Gráfica de la Presión Vs Altura

Aquí pueden apreciarse los datos recabados en el ensayo, desde una presión de 1013 hPa hasta los 900 hPa.

Se puede ver claramente que, tanto el Sensor de Presión Barométrica Vaisala como el Sensor de Presión BMP085, copian el comportamiento de la altura simulada en la cámara de vacío (ambos valores se respaldan con lo registrado por el barómetro de columna de mercurio).

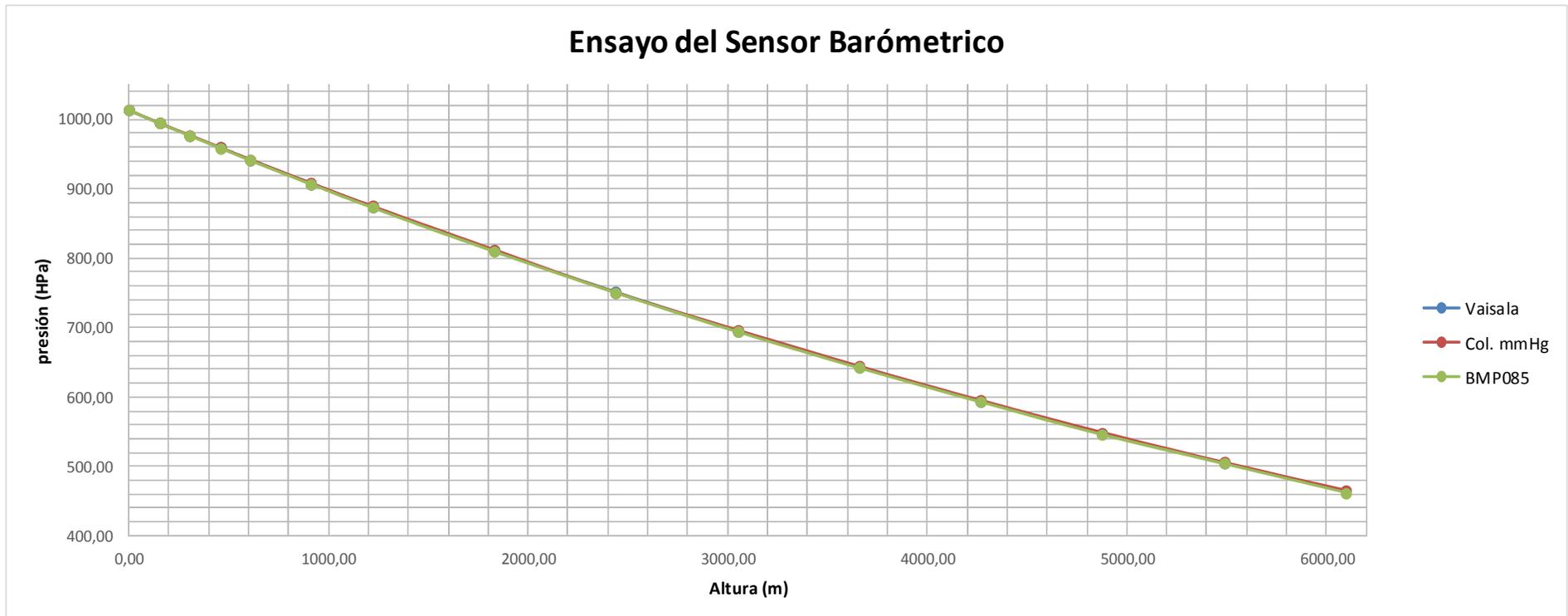


Fig. 2.4.2.3.4 – Gráfica de la Presión Vs Altura

Otro punto importante, sobre el que debemos hacer hincapié, es que tomando en cuenta el error aceptado del Sensor de Presión Vaisala y el Sensor de Presión Barométrica BMP085 puede verse que ambos se solaparían en la gráfica, e incluso el error considerado de uno de ellos intersectaría la gráfica del otro (sin la consideración de ambos errores al mismo tiempo).



1	2	3	4	5	6	7	8	9 = abs(6-7)	10 = abs(6 - 8)	11 = abs (7 - 8)	Tabla DNAR
Altura (pies)	Altura (m)	Pres. Vaisala Prom. (hPa)	Pres. Bar. Col. Prom. (hPa)	Pres. Prom. BMP085 (hPa)	Alt. Equi. Vaisala (m)	Alt. Equi. Col. (m)	Alt. Equi. BMP085 (m)	error Alt. Vais. (m)	Error Alt. BMP085 (vaisala)	Error Alt. BMP085 con Bar. Col.	Error permitido (m)
0	0	1013,41	1013,25	1013,23	-1,3	0,0	0,1	1,3	1,4	0,1	6
500	152,4	994,50	994,90	994,40	157,3	153,9	158,1	3,4	0,8	4,2	6
1000	304,8	977,01	977,10	976,43	306,2	305,4	311,1	0,8	4,9	5,7	6
1500	457,2	959,43	959,52	958,90	458,0	457,2	462,6	0,8	4,6	5,4	7,6
2000	609,6	941,88	942,06	940,77	611,9	610,3	621,7	1,6	9,8	11,4	9,1
3000	914,4	907,57	908,10	906,50	919,5	914,7	929,3	4,9	9,7	14,6	9,1
4000	1219,2	874,55	875,08	872,93	1224,6	1219,6	1239,8	5,0	15,2	20,2	10,6
6000	1828,8	811,12	812,29	809,95	1837,8	1826,2	1849,5	11,7	11,7	23,3	12,1
8000	2438,4	751,21	750,72	750,29	2453,7	2459,0	2463,5	5,3	9,8	4,6	18,2
10000	3048	695,38	696,74	694,33	3064,7	3049,3	3076,5	15,4	11,8	27,2	24,3
12000	3657,6	643,06	644,39	642,00	3674,4	3658,3	3687,1	16,0	12,7	28,8	27,4
14000	4267,2	594,17	595,20	593,05	4281,5	4268,4	4295,9	13,1	14,4	27,5	30,4
16000	4876,8	547,12	548,98	545,90	4905,3	4879,9	4922,1	25,4	16,8	42,2	33,5
18000	5486,4	504,71	506,05	504,13	5505,9	5486,4	5514,4	19,5	8,5	28,0	36,5

Tabla 2.4.2.3.3 – Resultado de Ensayos

En esta tabla se puede observar que el error permitido por el apéndice E de la DNAR 43, en términos de altura, es respetado por el sensor BMP085 en casi todos los puntos ensayados. Siendo estos comparados con la altura determinada por el Sensor de Presión Vaisala.

Se realizó la comparación, de error en altura, con los datos arrojados por el barómetro de columna de mercurio; pero al considerar que no disponemos de las correcciones que debemos aplicar sobre el mismo, solamente son agregadas de manera ilustrativa.

Siendo que solo estamos considerando las diferencias de valores entre el Sensor BMP085 y el barómetro Vaisala, podríamos inferir que nuestro barómetro realiza muy bien el trabajo para el cual fue diseñado. Solo se observa que el error máximo permitido, por la DNAR 43, es superado a los 2000, 3000 y 4000 pies de altura. Esto puede deberse a la velocidad con que se realizó la depresión dentro de la cámara de ensayo (2500 m por minuto).



## **2.5 Conclusión**

Se abordaron las siguientes conclusiones de cada uno de los ensayos:

- **“Ensayo Comparativo entre Sensor BMP085 y Barómetro de columna de Mercurio Modelo Fuess 4K”.**

Puede apreciarse, en los resultados de este ensayo, que las indicaciones, de presión, brindadas por el sensor BMP085 se encuentran en las proximidades de los valores arrojados por el barómetro de columna de mercurio. Respecto a los datos de temperatura, puede decirse, que varían mucho entre aquellos emitidos por el sensor BMP085, los expresados por Higrómetro Digital (Dwyer – Modelo 485-2) y los leídos en el termómetro anexo al barómetro de columna de mercurio. Esto puede atribuirse a la distancia y exposición diferenciada de cada uno de estos instrumentos. Fuera de esto, se debe tener presente que este valor de temperatura (leído por el Sensor BMP085) solo es empleado para autoajustar el sensor de presión Bosch.

- **“Ensayo Comparativo entre el Sensor BMP085 y el Sensor de Presión Vaisala, con simulación de altura en Cámara de Vacío”.**

En estos resultados, puede valorarse que el sensor de presión barométrica BMP085 copia el comportamiento del Sensor Vaisala y del Barómetro de Columna de Mercurio. Esto nos brinda la posibilidad de afirmar que, según lo expresado en el Apéndice E de la Norma DNAR 43, el Sensor BMP085 posee muy buena respuesta a los cambios de presión (considerando que estos no se produzcan a una velocidad superior a los 20000 ft/min).

Por todo lo anterior, se concluyó que el sensor BMP085 es apto para formar parte de la Estación Meteorológica.



# CAPITULO 3

## HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA



### **3.1 Temperatura y Humedad**

Un parámetro importante que es necesario medir en un laboratorio, tanto de investigación como de mantenimiento aeronáutico<sup>19</sup>, es la Temperatura y la Humedad Ambiente.

Para poder realizar este trabajo, se seleccionaron dos sensores de Temperatura y Humedad de bajo costo:

- Sensor de Temperatura y Humedad Modelo DHT 11 – Fabricante: Yslun (ó Aosong).
- Sensor de Temperatura y Humedad Modelo DHT 22 – Fabricante: Aosong.

Ambos sensores fueron expuestos a las mismas condiciones de ensayo con el fin de determinar cuál de los dos era capaz de relevar con menor error los parámetros de Temperatura y Humedad. Para poder contar con un punto de comparación, proveniente de un equipo calibrado, se empleó el siguiente dispositivo:

- “Higrómetro Digital” - Modelo 485-2 – Fabricante: Dwyer.

### **3.2 Introducción al Sensor de Temperatura y Humedad Modelo DHT 11**

Este sensor de Temperatura y Humedad relativa logra adquirir los datos de manera análoga para luego transmitirlo por medio de señales del tipo digitales. Cuenta con un componente del tipo resistivo para la toma de Humedad y un termistor del tipo NTC para la medición de la temperatura.

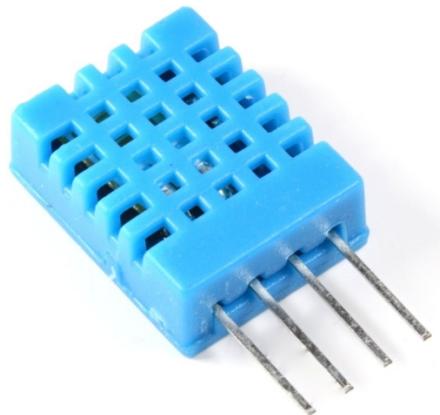


Fig. 3.2.1 – Sensor de Temperatura y Humedad Relativa

- o Un termistor es un sensor de temperatura del tipo resistivo. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad, que presenta un semiconductor, al encontrarse frente a cambios en la temperatura.

El término “Termistor” proviene de “Termally Sensitive Resistor”.

---

<sup>19</sup> Muchos Manuales de Mantenimiento Aeronáuticos estipulan, para la realización de ensayos en banco que la humedad y temperatura deben encontrarse contenidas dentro de ciertos valores específicos.

Existen dos tipos de termistores:

- NTC: “Negative Temperature Coefficient” Coeficiente de Temperatura Negativo. Para este, al aumentar la temperatura, aumentará también la concentración de portadores, por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo.
- PTC. “Positive Temperature Coefficient” Coeficiente de Temperatura Positivo. Este es un semiconductor que posee un dopado muy intenso, por tanto adquiere propiedades metálicas, tomando un coeficiente positivo en un margen de temperatura limitado.

El sensor DHT11 se conecta a un pequeño microcontrolador de 8 bits de capacidad. No posee una respuesta rápida frente a cambios bruscos de las condiciones del medio ambiente; esto es así dado que se buscó que el módulo tuviera bajo peso y un valor comercial muy bajo.

Según lo especificado por el Datasheet cada sensor es calibrado, por el fabricante, y el coeficiente de ajuste, que resulta de dicho proceso, es cargado en la memoria OTP (memoria interna del módulo o E<sup>2</sup>PROM). Estos coeficientes se utilizan cuando inicia el proceso de detección de la señal del sensor.

Las características que resaltan del sensor DHT 11 son:

- Bajo consumo energético.
- Tamaño reducido.
- Transmisión de datos a una distancia de hasta 20 metros<sup>20</sup>.

### 3.2.1 Conexión del Sensor y Especificaciones del Fabricante

Dentro de las recomendaciones realizadas por el fabricante encontramos las siguientes:

- Es recomendable que el sensor se ubique a una distancia menor a los 20 metros del módulo de control (Arduino Duemilanove).
- Es conveniente colocar una resistencia de 5 Kohm como se muestra en la siguiente figura.

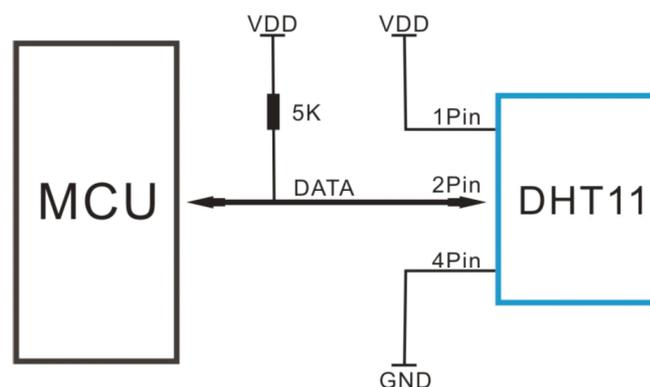


Fig. 3.2.1.1 - Esquema de Conexión

<sup>20</sup> La distancia máxima a la que puede transmitirse los datos relevados por el sensor puede variar en función de las condiciones físicas de los conductores utilizados.



### 3.2.1.1 Especificaciones Técnicas

Parámetro	Condición	Mínimo	Típico	Máximo
<b>Humedad</b>				
Resolución		1 % HR	1 % HR	1 % HR
Repetitividad			± 1 % HR	
Precisión	25 °C		± 4 % HR	
	0 – 50 °C			± 5 % HR
Rango de medición	0 °C	30 % HR		90 % HR
	25 °C	20 % HR		90 % HR
	50 °C	20 % HR		80 % HR
Tiempo de Respuesta		6 Seg.	10 Seg.	15 Seg.
<b>Temperatura</b>				
Resolución		1 °C	1 °C	1 °C
Repetitividad			± 1 °C	
Precisión		± 1 °C		± 2 °C
Rango de medición		0 °C		50 °C
Tiempo de Respuesta		6 Seg.		30 eg.

Tabla 3.2.1.1 – Especificaciones Técnicas del Sensor DHT 11

### 3.2.1.2 Alimentación

El sensor debe ser alimentado por una fuente comprendida entre 3 Volts y 5.5 Volts. En el momento del inicio de la alimentación se tiene que dejar pasar 1 segundo, como mínimo, para permitir que el sensor se estabilice.

Puede agregarse un capacitor de 100 µf entre VDD y GND como un filtro de potencia.

### 3.2.1.3 Proceso de Comunicación

Se utiliza un solo bus para la comunicación y sincronización entre el MCU<sup>21</sup> y el sensor DHT11. Cada procedimiento de comunicación puede demorar alrededor de 4 ms. Cada transmisión de datos acarrea un total de 40 bits de información.

*Datos de transferencia: 8 bits % HR + 8 bits parte decimal % HR + 8 bits Temp. + 8 bits parte decimal Temp. + 8 bits de datos para comprobacion.* Ec. 3.3.1

### 3.2.1.4 Características Eléctricas

	Condición	Mínimo	Típico	Máximo
Suministro eléctrico	DC	3 Volts	5 Volts	5.5 Volts
Corriente eléctrica		0.5 mA		2.5 mA

Tabla 3.2.1.4 – Características Eléctricas

<sup>21</sup> MCU: Microcontrolador (MicroController Unit)

### 3.2.1.5 Dimensiones

Las dimensiones del Sensor se muestran a continuación.

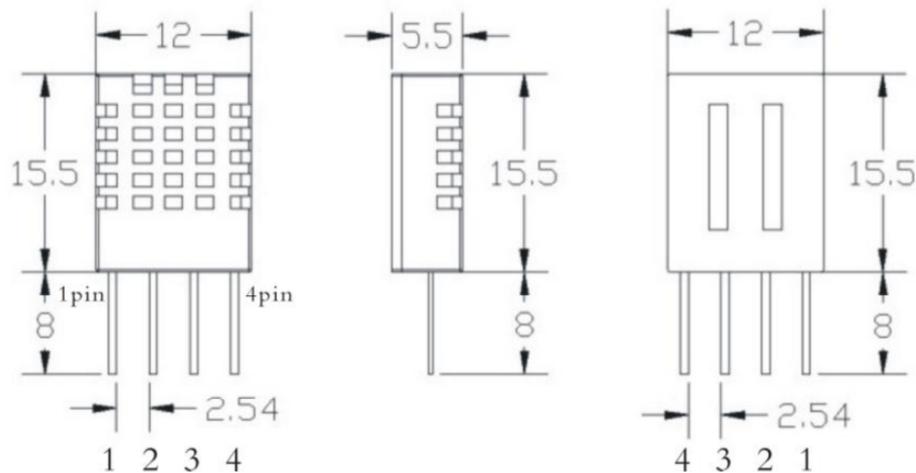


Fig. 3.2.1.5.1 – Dimensiones del Sensor DHT 11

### 3.2.1.6 Operación

Cuando el sensor DHT11 trabaja en un ambiente en donde las condiciones exceden el rango normal de operación, puede darse lugar a un incremento en el valor del error considerado. El sensor tiene la capacidad de ir recuperando de manera gradual su estado de calibración inicial, cuando se lo vuelve a someter a condiciones normales de funcionamiento.

Se aclara que cuando el sensor trabaja dentro de estas condiciones se acelera su envejecimiento<sup>22</sup>.

#### Operación en Ambientes Tóxicos:

El vapor de ciertos materiales químicos puede interferir con el normal funcionamiento del sensor. Cuando el grado de contaminación química es muy elevado el sensor puede dañarse de manera irreversible.<sup>23</sup>

### 3.2.1.7 Procedimiento de Recuperación del Estado de Calibración del Sensor

Para situaciones en que el sensor fuera expuesto a condiciones anormales de trabajo, se puede realizar el siguiente procedimiento para recuperar su estado de calibración inicial:

- 1- Mantener el sensor durante 2 horas en las siguientes condiciones:
  - Temperatura: 50 °C a 60 °C.
  - Humedad: < 10 % HR.

<sup>22</sup> Cuando decimos envejecimiento, estamos haciendo referencia a que la “vida límite” que el fabricante estipula se ve reducida significativamente.

<sup>23</sup> Para mayor información, sobre el tipo de vapores químicos y la concentración de los mismos, referirse a la página web del fabricante.



2- Mantener el sensor durante 5 horas en las siguientes condiciones:

- Temperatura: 20 °C a 30 °C.
- Humedad: > 70 % HR.

Luego de concluido dicho procedimiento se debe realizar una prueba para comparar los valores del sensor recuperado con otro almacenado nuevo para pruebas.

### **3.2.1.8 Efecto de la Temperatura y de la Luz Solar sobre el Sensor**

La humedad relativa depende en gran medida de la temperatura. Aunque el sensor cuenta con la tecnología de compensación de la humedad, por causa de la temperatura, se recomienda mantener el sensor en un área de trabajo que se encuentre lo más lejos posible de fuentes de calor. En este caso, solo deberíamos evitar exponer el sensor a temperaturas superiores a las presentadas como límites por el fabricante.

No se cuenta con un procedimiento de reajuste a las condiciones iniciales, si el elemento es sometido a dichas temperaturas. Por tanto, el elemento debería ser descartado y reemplazado por uno nuevo.

El fabricante recomienda no exponer el sensor por tiempo prolongado a la luz solar o fuentes de luz ultravioleta dado que puede afectar el normal funcionamiento del sensor.

### **3.2.1.9 Otras Consideraciones**

- La calidad de los cables de conexión afectara la calidad y la distancia de transmisión máxima. Se recomienda recubrir las conexiones soldadas para evitar interferencias.
- La temperatura de la soldadura no debe superar los 260 °C. Y el tiempo de contacto no debe ser mayor a 10 segundos.
- Evitar el uso del sensor en condiciones de rocío. (No trabajar al aire libre a temperaturas inferiores a la temperatura de rocío).
- No emplear este sensor para aplicaciones en donde la falla del mismo pueda incurrir en lesiones a personas.
- Almacenamiento: Mantener el sensor a una temperatura de entre 10 °C y 40 °C con una humedad menor a 60 % HR.

## **3.3 Introducción al Sensor de Temperatura y Humedad Modelo DHT 22**

El sensor DHT 22 posee una resolución y precisión más exacta que el sensor DHT11. Es similar, en construcción y forma de trabajo, al Sensor AM2302. El costo de este (DHT 22) es más elevado que el presentado anteriormente (DHT11).

Este, es un sensor del tipo capacitivo y releva la humedad y la temperatura de manera digital (no analógica). Posee una alta fidelidad y una excelente estabilidad a largo plazo, gracias a la tecnología de recolección de datos que posee.



El sensor incluye un componente capacitivo para la toma de datos de humedad y un dispositivo, de gran calidad (el datasheet no sita el tipo de tecnología), para la medición de la temperatura. Estos se conectan a un microcontrolador de 8 bits (Memoria interna al módulo o E<sup>2</sup>PROM). Este sensor posee una excelente calidad, muy buena respuesta en tiempo, fuerte capacidad para evitar las interferencias electromagnéticas y un costo relativamente bajo.

### 3.3.1 Conexión del Sensor y Especificaciones del Fabricante

#### 3.3.1.1 Especificaciones Técnicas

Pose un bajo consumo energético y una excelente estabilidad a largo plazo. Además, emplea un único bus para transmitir los datos recabados.

- La asignación de los pines dentro de la única interface de comunicación es la siguiente:

Pin	Name	Description
①	VDD	Power (3.3V–5.5V)
②	SDA	Serial data, bidirectional port
③	NC	Empty
④	GND	Ground

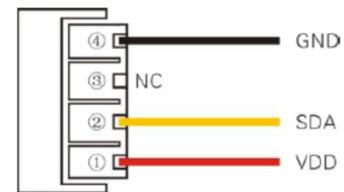


Tabla 3.3.1.1.1 – Pines de Conexión del Sensor a la Placa

Fig. 3.3.1.1.1 – Grafica de los Pines de Conexión

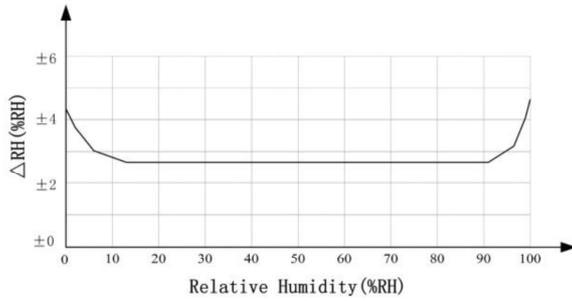
El sensor de temperatura y humedad debe ser alimentado con un voltaje de entre 3.3 Volt y 5.5 Volt pero se recomienda alimentarlo con 5 Volt cuando el cable de conexión entre el sensor y el módulo de adquisición de datos es de una distancia considerable (30 metros como máximo).

Parámetro	Condición	Mínimo	Típico	Máximo	Unidad
Resolución			0.1		% HR
Rango		0		99.9	% HR
Exactitud	25 °C		± 2		% HR
Repetitividad			± 0.3		% HR
Respuesta			< 5		S
Variación	Típico		0.5		% HR/año

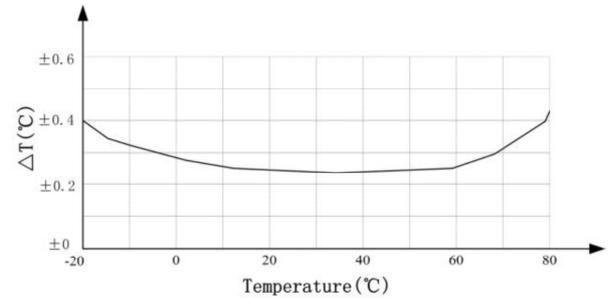
Tabla 3.3.1.1.2 – Parámetros de Humedad R. del Sensor DHT 22

Parámetro	Condición	Mínimo	Típico	Máximo	Unidad
Resolución			0.1		° C
Rango		-40		+ 80	° C
Exactitud			± 0.5	± 1	° C
Repetitividad			± 0.2		° C
Respuesta			< 10		S
Variación			± 0.3		°C/año

Tabla 3.3.1.1.3 – Parámetros de Temperatura del Sensor DHT 22



Pic2: At 25°C The error of relative humidity



Pic3: The maximum temperature error

Fig. 3.3.1.1.2 – Error cometido con la H. R. Fig. 3.3.1.1.3–Error Máximo cometido en la Temperatura

### 3.3.1.2 Especificaciones Eléctricas

En la siguiente tabla se presentan las principales características de este sensor.

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Voltage		3.3	5	5.5	V
Power consumption <sup>[4]</sup>	Dormancy	10	15		μA
	Measuring		500		μA
	Average		300		μA
Low level output voltage	I <sub>ol</sub> <sup>[5]</sup>	0		300	mV
High output voltage	R <sub>p</sub> < 25 kΩ	90%		100%	VDD
Low input voltage	Decline	0		30%	VDD
Input High Voltage	Rise	70%		100%	VDD
R <sub>pu</sub> <sup>[6]</sup>	VDD = 5V VIN = VSS	30	45	60	kΩ
Output current	turn on		8		mA
	turn off	10	20		μA
Sampling period		2			S

Tabla 3.3.1.1.4 – Características Eléctricas

### 3.3.1.3 Dimensiones

Es de pequeño tamaño, bajo consumo energético, alta capacidad de transmisión de la señal (a una distancia de 30 metros)<sup>24</sup>, por lo que pasa a ser la mejor opción a aplicar en una gran cantidad de aplicaciones con elevadas exigencias.

<sup>24</sup> La distancia de la transmisión de la señal, dependerá del tipo de conductores que sean seleccionados.

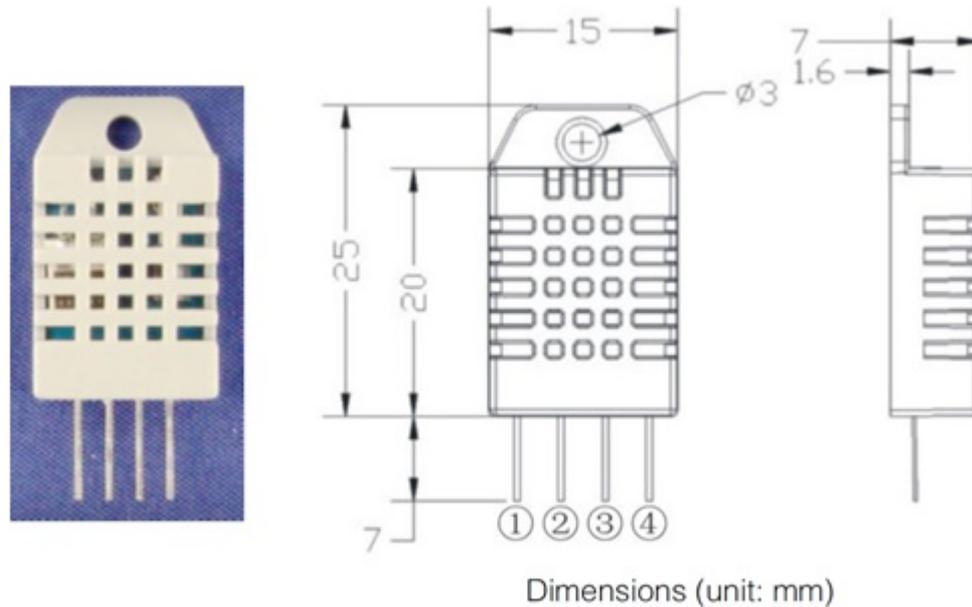


Fig. 3.3.1.3 – Dimensiones del Sensor DHT 22

#### **3.3.1.4 Condiciones de Trabajo y Almacenamiento**

Cuando el sensor trabaja fuera de las condiciones normales de trabajo puede suceder que su vida útil se vea reducida notablemente y que además de esto sea necesario seguir un proceso de recalibración del sensor.

Los elementos deben estar almacenados en un lugar seco y fresco. Y fuera de condiciones tales como las expuestas a continuación:

- Ambiente Salino.
- Zonas en donde se almacene ácido clorhídrico, ácido o gases oxidantes, tales como el dióxido de azufre.

El entorno de almacenamiento recomendado será aquel en donde:

- La temperatura se encuentre entre 10 °C a 40 °C
- La Humedad Relativa sea menor a 60 % HR.

#### **3.3.1.5 Impacto de la Exposición a Sustancias Químicas**

Todo vapor proveniente de productos químicos no deberá presentarse en las inmediaciones del sensor de temperatura y humedad dado que puede producir una disminución de la sensibilidad del elemento. Estos cambios pueden llegar a ser irreversible.

#### **3.3.1.6 Influencia de la Temperatura y de la Luz Solar sobre el Sensor**

Al igual que con el sensor descrito anteriormente será importante colocarlo en un lugar alejado de fuentes de calor que puedan alterar la lectura del elemento.



La exposición prolongada a la luz solar o radiación ultravioleta puede degradar el funcionamiento del elemento.

### **3.3.1.7 Procedimiento de Recalibración**

Cuando el sensor es sometido a condiciones extremas de trabajo puede desajustarse. Para lograr reajustar su funcionamiento debemos de:

- 1- Mantener 2 horas el sensor bajo las siguientes condiciones:
  - a. Humedad < 10 % HR.
  - b. Temperatura 45 °C.
- 2- Luego de esto mantener por 5 horas bajo las siguientes condición:
  - a. Humedad > 70 % HR.
  - b. Temperatura 20 °C ~ 30 °C.

### **3.3.1.8 Otras consideraciones**

- En el momento de realizar las uniones por soldadura no se deberá superar los 300 °C. Y el tiempo de contacto no tendrá que ser superior a los 3 segundos.
- La calidad de la señal puede verse afectada si el cable no se encuentra blindado por una malla del tipo coaxial.
- Se recomienda para un circuito de aplicación típica, que el largo del cable no exceda los 30 m con su correspondiente resistencia de 5.1 Kohm. Esto debe ser así, dado que la resistencia eléctrica va en aumento a medida que la longitud del cable es mayor.
- Si alimentamos el sensor con un voltaje de 3.3 Volt el largo del cable no deberá de exceder los 100 cm. De lo contrario la caída de tensión dará lugar a un mal funcionamiento del sensor arrojando errores en la medición.
- Debemos considerar un intervalo de tiempo de 2 Segundos, como mínimo, para la lectura de los datos provenientes del sensor. Esto debe respetarse si deseamos obtener datos precisos.

## **3.4 Higrómetro Digital – Modelo 485-2 – Fabricante Dwyer**

### **3.4.1 Introducción**

Pasaremos ahora a detallar brevemente el higrómetro digital que será empleado como punto de referencia para poder analizar los datos brindados por los sensores de Temperatura y humedad DHT11 y DHT22.

El Higrómetro Digital Modelo 485 es un versátil instrumento de mano para la medición del porcentaje de Humedad Relativa y de la Temperatura (en °C o en °F). El instrumento utiliza un sensor de humedad de precisión compuesto por una película ("film") de polímero altamente resistente. El instrumento calcula también la temperatura del punto de rocío y la del bulbo húmedo en base a la medición de la



temperatura y la humedad relativa. Las lecturas máximas y mínimas de temperatura y humedad relativa pueden ser almacenadas por el instrumento para una posterior consulta.

La función de memoria de la unidad permite almacenar hasta 25 lecturas (tanto de temperatura como de humedad relativa) en la memoria no-volátil que posee.

### **3.4.2 Especificaciones Técnicas del Higrómetro Modelo 485-2**

#### **Medidas de humedad relativa**

- Rango: 0 – 100 %.
- Precisión:  $\pm 2$  %.
- Resolución: 0.1 %.
- Límites de temperatura de operación del sensor: -22 a 185 °F / -30 °C a 85 °C.

#### **Medidas de Temperatura**

- Rango: -22 a 185 °F / -30 °C a 85 °C.
- Precisión:  $\pm 1$  °F / 0.5 °C.
- Resolución: 0.1 °.

#### **Rango de temperatura ambiente para la operación**

- 32 a 104 °F / -40 a 80 °C.

#### **Límites de Temperatura para almacenamiento**

- 40 a 176 °F / -40 a 80 °C.

### **3.4.3 Instrucciones de Uso**

#### **3.4.3.1 Encendido (ON-OFF)**

Presione el botón "ON/OFF" una vez para encender el instrumento; presiónelo nuevamente para apagarlo. Si el instrumento se deja encendido sin tocar ningún botón por espacio de 2 ½ minutos, se apagará automáticamente luego de este tiempo para conservar la batería. Cada vez que se toque un botón, dicho ciclo de 2 ½ minutos se reiniciará.

Si los 2 ½ minutos no fueran suficientes para la medición en cuestión, es posible extender dicho tiempo. Estando el instrumento apagado ("OFF"), presione simultáneamente los botones "ON/OFF" y "DP/WB/STORE" durante el encendido y libere ambos a la vez. La señal "ALARM 2" aparecerá entonces en la pantalla (arriba a la derecha). Ahora se dispondrán de unos 23 minutos (de no tocar ningún botón) hasta que la unidad se apague automáticamente. Este tipo de funcionamiento es útil también para cuando se toman muestras de máximos y mínimos: encienda el instrumento conforme a lo recién explicado, luego presione los botones "MIN" y "MAX" simultáneamente (así se borra el contenido de memoria de los máximos y mínimos anteriores) y coloque el instrumento en el lugar a



efectuar la medición. El instrumento grabará de este modo los máximos y mínimos de la temperatura y la humedad relativa medidos durante el periodo de prueba (23 minutos).

#### **3.4.3.2 Luz de Pantalla**

El Modelo 485 dispone de una luz en la pantalla para ayudar al operador en la lectura del mismo bajo malas condiciones de iluminación. El instrumento debe estar apagado ("OFF") antes que esta luz pueda ser activada. Presione y mantenga apretado el botón "ON/OFF". Luego de 1 segundo (aproximadamente) la luz se activará y se mantendrá así por unos 2 minutos, al cabo de los cuales se apagará automáticamente para conservar la batería.

#### **3.4.3.3 Selección de las Unidades de Temperatura**

Las mediciones de temperatura pueden hacerse tanto en unidades °F como en °C. Las unidades elegidas son indicadas en la pantalla. Para cambiar las unidades hay que presionar el botón "UNITS/LOC". Las unidades seleccionadas quedarán en memoria aún después de que el instrumento haya sido apagado.

#### **3.4.3.4 "Congelamiento" de la Pantalla**

El Modelo 485 incluye una función que "congela" la medición actual en la pantalla y la mantiene así hasta que se libere manualmente. Para activar esta función, presione por un momento el botón "HOLD/MEMORY" cuando vea la lectura que desea guardar. Una señal de "HOLD" aparecerá en la pantalla, indicando así que la lectura mostrada está "congelada". Para volver a la operación normal, presione el botón "HOLD/MEMORY" nuevamente. La señal de "HOLD" desaparecerá de la pantalla y la temperatura y humedad relativas reales serán mostradas y actualizadas continuamente.

#### **3.4.3.5 Temperaturas de Punto de Rocío y de Bulbo Húmedo**

El Modelo 485 puede calcular automáticamente las temperaturas de punto de rocío y de bulbo húmedo. Para visualizar la temperatura de punto de rocío, presione el botón "DP/WB/STORE". Arriba en la pantalla en grandes números aparecerá la temperatura del punto de rocío en las unidades escogidas (°F o °C). Abajo en la pantalla se leerá "dP" (siglas en inglés para punto de rocío) en letras pequeñas. Para visualizar la temperatura del bulbo húmedo, presione el botón "DP/WB/STORE" nuevamente. Arriba en la pantalla en grandes números aparecerá la temperatura del bulbo húmedo en las unidades escogidas (°F o °C). Abajo en la pantalla se leerá "bt" (siglas en inglés para bulbo húmedo) en letras pequeñas. Para volver el instrumento a la medición de temperatura y humedad relativa presione nuevamente el botón "DP/WB/STORE".

#### **3.4.3.6 Lectura de Máximos y Mínimos**

El Modelo 485 incluye una función que permite la lectura y almacenamiento de las lecturas de temperatura y humedad relativa máxima y mínima. Para leer los valores mínimos, mantenga apretado el botón "MIN". Para leer los valores máximos, mantenga apretado el botón "MAX". Dejando de apretar cualquiera de estas dos teclas, el instrumento vuelve al modo de operación continuo. Para borrar el

contenido de memoria de los máximos y mínimos anteriores, presione los botones "MIN" y "MAX" simultáneamente. La pantalla mostrará "----" para indicar que el contenido de memoria ha sido borrado. Luego de ello el instrumento volverá a almacenar las nuevas lecturas de máximo y mínimo empezando con los valores actuales. Los valores máximos y mínimos son almacenados en la memoria no-volátil del instrumento, quedando de este modo almacenados aun cuando el mismo haya sido apagado.



Fig. 3.4.3.6 - Higrómetro Digital Dwyer - Modelo 485-2

### **3.4.3.7 Sensibilidad Lumínica**

El sensor usado en el Modelo 485 puede verse afectado por niveles muy altos de luz ambiente y puede llegar a leer 0% de humedad relativa bajo ciertas condiciones. La cubierta protectora en la punta del sensor es suficiente para evitar el efecto citado en la mayoría de los casos, pero cuando se opera el instrumento al aire libre con luz solar directa, podría ser necesario cubrir el instrumento cuando se toman las mediciones. La luz ambiente no afecta la precisión del instrumento.

### **3.4.3.8 Mantenimiento**

No es necesaria una rutina de mantenimiento. El instrumento no se puede reparar en sitio. Envíe el instrumento a fábrica si es necesaria alguna reparación, incluyendo una descripción completa del problema más cualquier otra información disponible sobre el modo de empleo.

### 3.4.4 Dimensiones

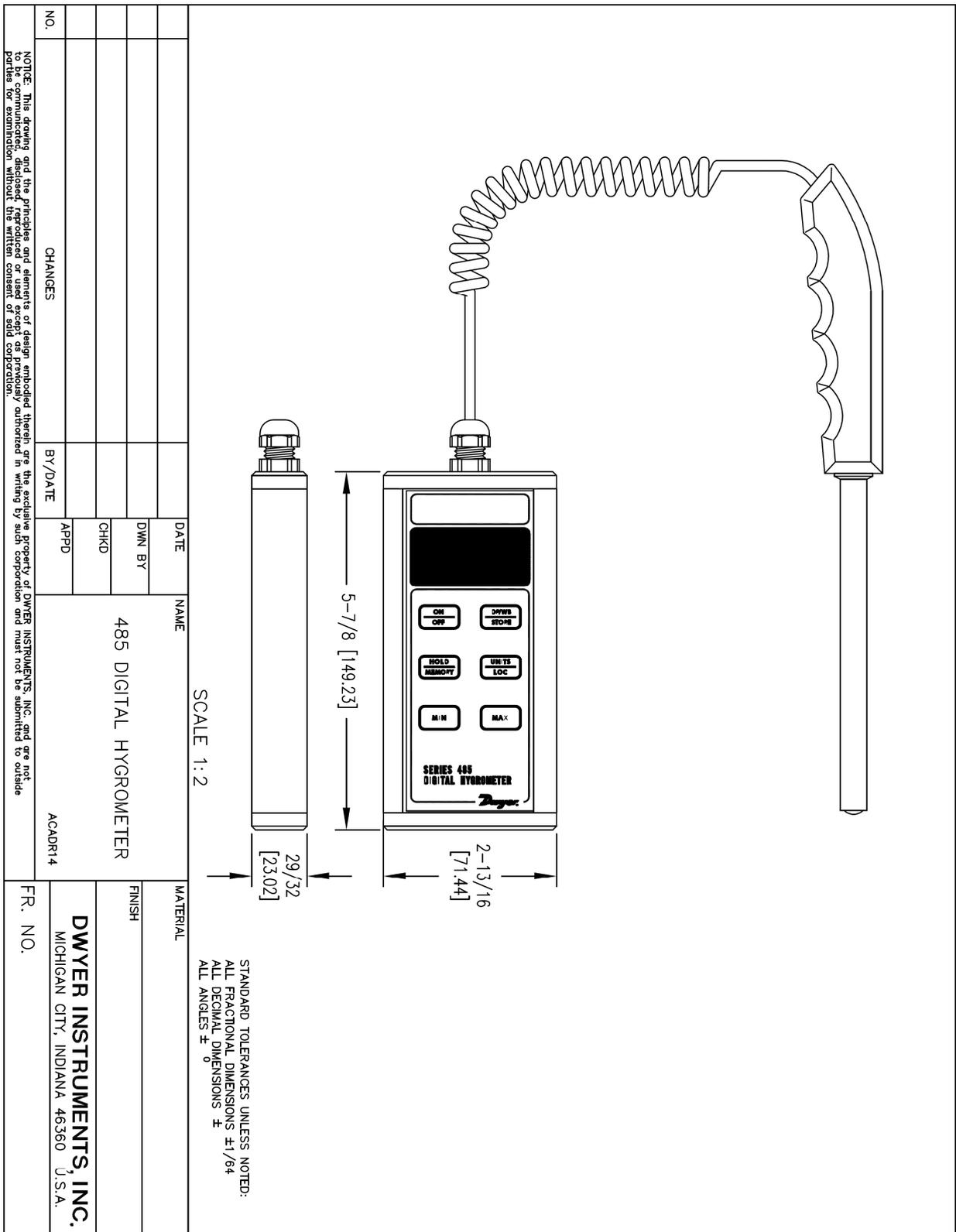


Fig. 3.4.4 – Dimensiones del Higrómetro Digital Dwyer – Modelo 485-2



### **3.5 Programación del Sensor de Humedad y Temperatura (General)**

La programación de este sensor no resulta tan sencilla, como en el caso anterior, debido a que el fabricante no brinda demasiada información en la hoja de datos (datasheet) del elemento. Para este caso, el fabricante solo sugiere que se respeten los tiempos de estabilización del sensor en el inicio de su actividad, para así lograr una mejor calidad en las mediciones.

Para hacer más dinámica la explicación, se realizan indicaciones sobre el código de programación, en color verde.

```
#define DHT11_PIN 0           // Se define el Sensor en cuestión
#include <LiquidCrystal.h>    // Se incluye la librería para la pantalla lcd
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); //Se definen los pines que ocupara la pantalla lcd.

Byte read_dht11_dat()       // subprograma de lectura del sensor DHT11
{
  byte i = 0;
  byte result=0;
  for(i=0; i< 8; i++){
    while(!((PINC & _BV(DHT11_PIN))));
    delayMicroseconds(30);
    if(PINC & _BV(DHT11_PIN))
      result |= (1<<(7-i));
    while((PINC & _BV(DHT11_PIN)));
  }
  return result;
}

void setup()
{
  DDRC |= _BV(DHT11_PIN);
  PORTC |= _BV(DHT11_PIN);

  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);        // inicia el puerto serial de comunicación con una
                             // Velocidad de comunicación de 9600 baudios.
  Delay(300);               //Tiempo de espera para que se asiente el sistema.

  Serial.println("Humidity and Temperature\n\n"); //impresión en Sistema ("PseudoTitulo").
  Delay(700);               //se espera a llegar a los 1000 ms recomendados
}

void loop()
{
  byte dht11_dat[5];       //Array para tomar los bytes enviados desde el sensor
  byte dht11_in;
  byte i;
```



```
        // Se envía el comando “comenzar a leer y reportar” al Sensor.
PORTC &= ~_BV(DHT11_PIN);
delay(18);
delay(5);

        // El datasheet del fabricante Aosong para DHT 11 dice que el pin debe
        // ser mantenido con un voltaje de excitación bajo por al menos 500
        // ms. Se Deduce que esa baja en el voltaje puede prolongarse más de
        // 500 ms sin ninguna penalización, antes del proceso de “lectura del
        // Sensor”

PORTC |= _BV(DHT11_PIN); // Llevar el voltaje en alta nuevamente
delayMicroseconds(40); // La ficha técnica del sensor DHT 11 dice que la placa de
                        // alimentación o adquisición de datos (en nuestro caso –
                        // Arduino Duemilanove) debe mantener la tensión en la línea
                        // en alta durante 20-40 ms. Luego, la línea debe pasa por 80
                        // ms a tención baja para así poder leer la información que nos
                        // enviara el sensor.

DDRC &= ~_BV(DHT11_PIN); // Se cambia el pin del módulo Arduino de salida a entrada,
                        // para observar en esos 80 ms.

delayMicroseconds(40);

dht11_in = PINC & _BV(DHT11_PIN);

if(dht11_in){
    Serial.println(“dht11 start condition 1 not met”);
    return;
}
delayMicroseconds(80);

dht11_in = PINC & _BV(DHT11_PIN);

if(!dht11_in){
    Serial.println(“dht11 start condition 2 not met”);
    return;
}
//Después de 80 ms con voltaje bajo, la línea debe retornar a un voltaje alto durante unos
// 80 ms. Esta baja en la condición es el comienzo del envío del primer bit de los cuarenta por
// venir. El “read_dht11_dat ()” de rutina espera de ser llamado con el sistema ya en esta baja.
delayMicroseconds(80);

for (i=0; i<5; i++)
    dht11_dat[i] = read_dht11_dat();
DDRC |= _BV(DHT11_PIN);
PORTC |= _BV(DHT11_PIN);

byte dht11_check_sum = dht11_dat[0]+dht11_dat[1]+dht11_dat[2]+dht11_dat[3];
// Aquí van los datos relevados en 4 grupos de 8 bits cata uno
if(dht11_dat[4]!= dht11_check_sum)
```



```
//y el último valor son los 8 bits de análisis
{
    Serial.println("DHT11 checksum error");
}
// aquí pasamos a imprimir lo recibido a través del serial de la computadora.
Serial.print("Current humidity = ");
Serial.print(dht11_dat[0], DEC);
Serial.print(" ");
Serial.print(dht11_dat[1], DEC);
Serial.print("% ");
Serial.print("Resistance = ");
Serial.print(dht11_dat[2], DEC);
Serial.print(" ");
Serial.print(dht11_dat[3], DEC);
Serial.println("C ");
delay(1000);//Don't try to access too frequently
// Aquí pasamos a mostrar lo recibido por medio de la pantalla lcd.
{
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Temp:");
    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print(dht11_dat[2]);
    lcd.setCursor(13,0);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Humedad:");
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print(dht11_dat[0]);
    lcd.setCursor(13,1);
    lcd.print("%");
    delay(1000); // un segundo de espera
}
}
```



### **3.6 Ensayos**

La hoja de datos del elemento, nos indica la precisión del sensor de Temperatura y Humedad. Fuera de los datos que aporta el fabricante de cada sensor, se consideró necesario realizar una serie de ensayos para determinar qué tan fiable era esta información al hacerlos trabajar con una placa Arduino como medio de comunicación entre el sensor y nosotros.

Por esto se realizaron los siguientes ensayos:

- 1- Ensayo comparativo entre el Sensor DHT 11 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” frente a un ambiente sin control de la temperatura y la humedad.
- 2- Ensayo comparativo entre el Sensor DHT 22 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” frente a un ambiente sin control de la temperatura y la humedad.
- 3- Ensayo comparativo entre el Sensor DHT 11 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” frente a un ambiente de humedad controlado.
- 4- Ensayo comparativo entre el Sensor DHT 22 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” frente a un ambiente de humedad controlado.



### **3.6.1 Ensayo Comparativo Entre el Sensor DHT 11 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” Frente a un Ambiente Sin Control de la Temperatura y la Humedad**

#### **3.6.1.1 Resumen:**

En este ensayo de laboratorio se relevaron los valores de Temperatura y Humedad Relativa emitidos por dos Sensores distinto: El sensor DHT 11 y el Higrómetro Digital Dwyer – Modelo 485-2.

Este ensayo fue realizado tomando la temperatura y la humedad del medio ambiente del laboratorio, es decir, no se afectaron las condiciones del medio a relevar.

Luego de esto, se especificó el grado de similitud entre ambos sensores de Temperatura y Humedad Relativa.

#### **3.6.1.2 Objetivo del Ensayo:**

Determinar, si los valores arrojados por el sensor DHT 11 coinciden, o se encuentran contenidos dentro de los valores que surgen del uso de un Higrómetro Digital Dwyer – Modelo 485-2.

#### **3.6.1.3 Desarrollo**

El presente ensayo se realizó según los siguientes pasos:

- 1- Sobre una mesa de trabajo, se colocaron ambos elementos (elevados 10 cm de la base de la misma):
  - i. Higrómetro Digital Dwyer Modelo 485-2
  - ii. Sensor DHT 11 montado sobre una placa Arduino Duemilanove.
- 2- Se encendieron ambos dispositivos.
- 3- La placa fue programada para comenzar con la toma de datos pasados 3 segundos.
- 4- Luego de superado el tiempo de estabilización se comenzó con la toma de datos.
- 5- Con los datos recabados, se confecciono la tabla 3.6.1.3.1, en donde se controló que el grado de dispersión<sup>25</sup> se encontrara dentro de valores aceptables.
- 6- Se realizó una gráfica de ambas series de datos para poder visualizar el grado de similitud de los mismos.

---

<sup>25</sup> Para poder comprender la teoría utilizada para el cálculo de la dispersión referirse al Anexo III.



1	2	3 = Prom. 2	4	5 = Prom. 4	6	7= Prom. 6	8	9= Prom. 8	10 =(Max.4- Min.4)/5*100	11=(Max.6- Min.6)/7*100		
Nº de Medida	Humedad DHT 11	Prom. Hum. DHT 11	Humedad Dwyer	Prom. Humed. Dwyer	Temp. DHT 11	Temp. Prom. DHT 11	Temp. Dwyer	Prom. Temp. Dwyer	D Hum. Dwyer	D tem. Dwyer	$\sigma$ (Hum. Dwyer)	$\sigma$ (Tem. Dwyer)
1	16	16	40,8	40,77	27	27,0	23,2	23,2	0,25	0,43	0,06	0,10
	16		40,7		27		23,2					
	16		40,8		27		23,3					
2	17	17	40,9	40,80	27	27,0	23,1	23,1	0,49	1,30	0,10	0,10
	17		40,8		27		23,4					
	17		40,7		27		23,2					
3	18	18	41,2	41,23	27	27,0	23,1	23	0,24	0,87	0,06	0,07
	18		41,3		27		23,2					
	18		41,2		27		23					
4	19	19	41,4	41,37	27	27,0	23	23	0,24	0,00	0,06	0,00
	19		41,3		27		23					
	19		41,4		27		23					
5	20	20	41	40,87	27	27,0	23,2	23	0,73	0,87	0,15	0,14
	20		40,7		27		23,1					
	20		40,9		27		23					
6	21	21	40,8	40,77	27	27,0	23,2	22,9	0,25	0,00	0,06	0,37
	21		40,7		27		23					
	21		40,8		27		23,2					
7	26	26	41,9	42,00	28	28,0	23,5	23,6	1,19	0,85	0,26	0,12
	26		41,8		28		23,6					
	26		42,3		28		23,7					



Nº de Medida	Humedad DHT 11	Prom. Hum. DHT 11	humedad Dwyer	Prom. Humed. Dwyer	Temp. DHT	Temp. Prom. DHT11	Temp. Dwyer	Prom. Temp. Dwyer	D Hum. Dwyer	D tem. Dwyer	$\sigma$ (Hum. Dwyer)	$\sigma$ (Tem. Dwyer)
8	27	27	42	41,75	28	28,0	23,3	23,35	1,20	0,43	0,25	0,06
	27		41,8		28		23,3					
	27		41,5		28		23,4					
9	28	28	41,9	42,30	29	29,0	23,1	23,3	0,24	0,00	0,57	0,17
	28		41,8		29		23,3					
	28		41,8		29		23,2					

Tabla 3.6.1.3.1 – Resultado de Ensayos

Una vez controlados los datos de dispersión, se procedió a realizar la gráfica del Porcentaje de Humedad Relativa del sensor DHT 11 frente a lo obtenido por el higrómetro.

Como puede apreciarse en la siguiente gráfica, los valores que arroja el Sensor (DHT 11), se encuentran un tanto distantes de los relevados en el higrómetro digital. Tanto es así que los valores del higrómetro no se encuentran contenidos dentro de la banda de error generada por el Sensor (DHT11) bajo estudio. Se recuerda que según el datasheet del fabricante el error sería de un 4 % HR.

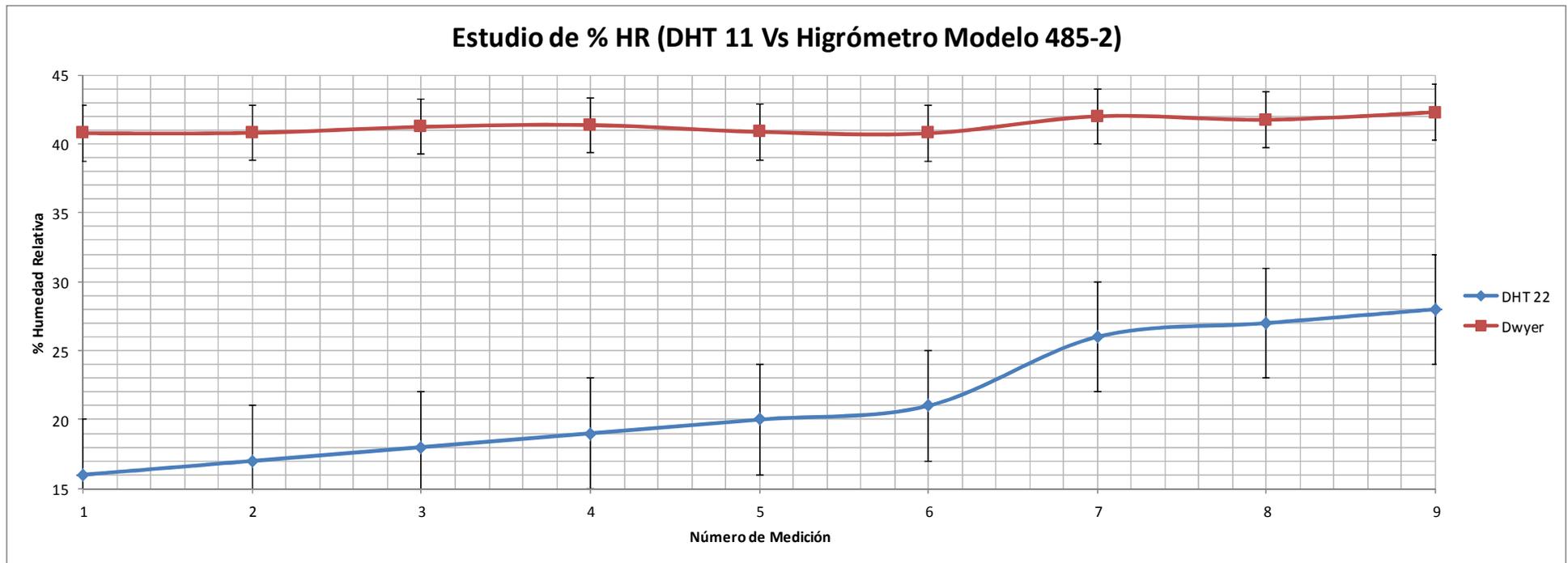


Fig. 3.6.1.3.1 – Gráfica de la Humedad Relativa vs Número de Mediciones

De esta parte del ensayo puede concluirse que:

- I. La diferencia entre los valores del porcentaje de humedad del Sensor DHT 11 y del Higrómetro Dwyer Modelo 485-2 son muy grandes. Tanto es así, que estos resultados motivaron a realizar un control sobre la programación de la placa Arduino en busca de errores en el código. El resultado de esta revisión fue que no se encontró error alguno.
- II. Sobre la gráfica de ambos sensores se grafican los errores que son aceptados en estos. Puede verse que en ningún punto, de la gráfica del sensor DHT 11 se logran alcanzar valores próximos a aquellos que podría haber alcanzado el higrómetro debido a sus propios errores.

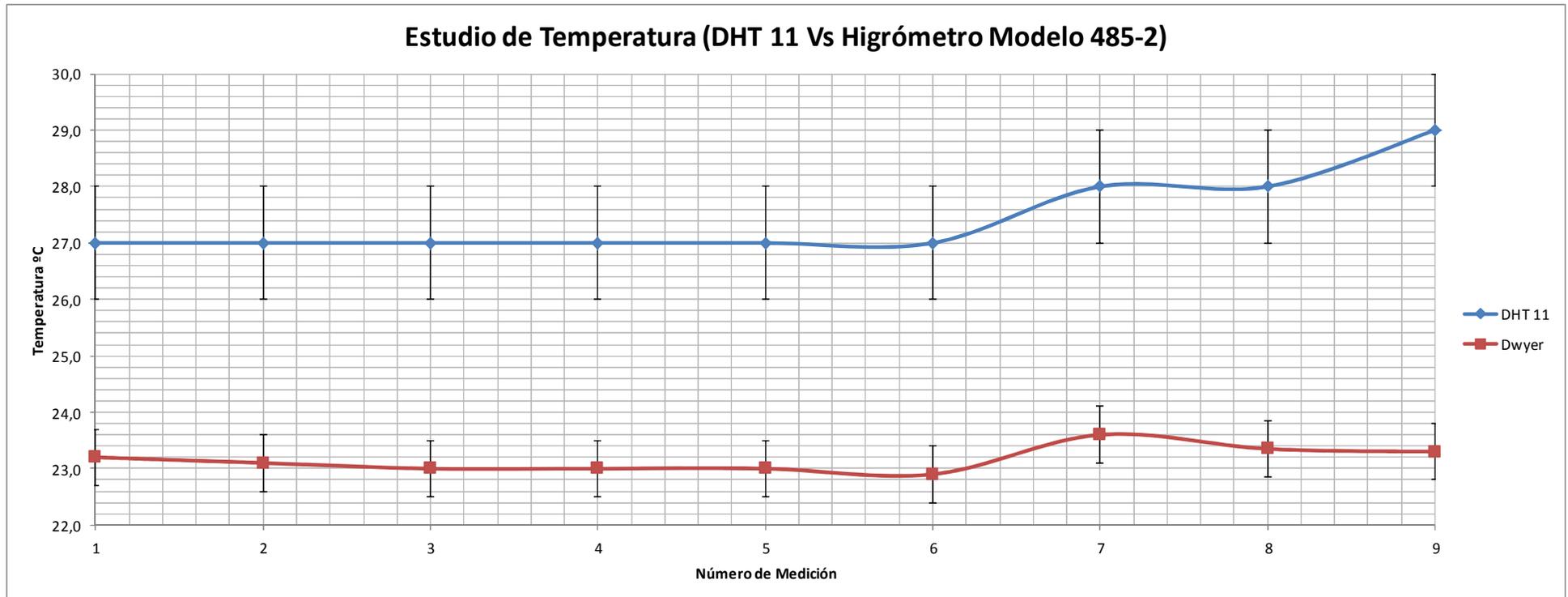


Fig. 3.6.1.3.2 – Gráfica de la Temperatura vs Número de Mediciones

De esta parte del ensayo puede decirse que:

- I. La diferencia entre los valores de temperatura del Sensor DHT 11 y el Higrómetro Dwyer Modelo 485-2 son muy grandes. Estos resultados motivaron a realizar un control sobre la programación de la placa Arduino en busca de algún error. El resultado de esta revisión no encontró error alguno.
- II. Sobre la gráfica de ambos sensores se grafican los errores que son aceptados en estos. Puede verse que en ningún punto de la gráfica del sensor DHT 11 se logran alcanzar valores próximos a aquellos que podría haber alcanzado el higrómetro debido a sus propios errores.



### **3.6.2 Ensayo Comparativo Entre el Sensor DHT 22 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” Frente a un Ambiente Sin Control de la Temperatura y la Humedad**

#### **3.6.2.1 Resumen:**

En este ensayo de laboratorio se relevaron los valores de Temperatura y Humedad Relativa emitidos por dos Sensores distintos: El sensor DHT 22 y el Higrómetro Digital Dwyer – Modelo 485-2. Este ensayo fue realizado tomando la temperatura y la humedad del medio ambiente del laboratorio, es decir, no se afectaron las condiciones del medio a relevar.

Luego de esto, se especificó el grado de similitud entre ambos sensores de Temperatura y Humedad Relativa.

#### **3.6.2.2 Objetivo del Ensayo:**

Determinar, si los valores arrojados por el sensor DHT 22 coinciden, o se encuentran contenidos dentro de los valores que surgen del uso de un Higrómetro Digital Dwyer – Modelo 485-2.

#### **3.6.2.3 Desarrollo**

El presente ensayo se realizó según los siguientes pasos:

- 1- Sobre una mesa de trabajo, se colocaron ambos elementos (elevados 10 cm de la base de la misma):
  - i. Higrómetro Digital Dwyer Modelo 485-2
  - ii. Sensor DHT 22 montado sobre una placa Arduino Duemilanove.
- 2- Se encendieron ambos dispositivos.  
La placa fue programada para comenzar con la toma de datos pasados 3 segundos.
- 3- Luego de superado el tiempo de estabilización se comenzó con la toma de datos. Es necesario aclarar que el juego de mediciones adquiridas se logró de la siguiente manera:
  - i. Con la ayuda de 2 personas se efectuó el primer grupo de medidas. Se tomaron en este caso los valores de Humedad Relativa en el Sensor DHT 22 y del Higrómetro.
  - ii. De manera simultánea se tomaron la Temperatura del Sensor DHT 22 y del Higrómetro.
- 4- Con los datos recabados, se confecciono la siguiente tabla, en donde se controló que el grado de dispersión<sup>26</sup> se encontrara dentro de valores aceptables.
- 5- Se realizó una gráfica de ambas series de datos para poder visualizar el grado de similitud de los mismos.

---

<sup>26</sup> Para poder comprender la teoría utilizada para el cálculo de la dispersión referirse al Anexo III.



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Nº de medida	Humedad DHT 22	Humedad Prom DHT 22	humedad Dwyer	Prom. Humed. Dwyer	Temp. DHT 22	Tem. Prom DHT 22	Temp. Dwyer	Prom. Temp. Dwyer	D. Hum. DHT 22	D. Temp. DHT 22	D Hum. Dwyer	D tem. Dwyer	$\sigma$ (Hum. DHT 22)	$\sigma$ (Tem. DHT 22)	$\sigma$ (Hum. Dwyer)	$\sigma$ (Tem. Dwyer)
1	37,9	38,0	41,2	41,2	22,9	22,9	23,3	23,2	0,526	0,437	0,243	0,430	0,100	0,058	0,058	0,058
	38		41,1		22,9		23,2									
	38,1		41,2		22,8		23,2									
2	38,2	38,3	41,5	41,5	23,0	23,0	23,2	23,2	0,261	0,435	0,241	0,430	0,058	0,058	0,058	0,058
	38,3		41,5		23,0		23,3									
	38,3		41,4		22,9		23,2									
3	39,1	39,1	41,4	41,4	22,9	22,9	23,3	23,2	0,256	0,436	0,242	0,430	0,058	0,058	0,058	0,058
	39,2		41,4		23,0		23,2									
	39,1		41,3		22,9		23,2									
4	39,2	39,2	41,9	41,8	23,0	23,0	23,3	23,3	0,255	0,435	0,239	0,429	0,058	0,058	0,058	0,058
	39,2		41,8		22,9		23,3									
	39,3		41,8		23,0		23,4									
5	39,5	39,5	42,3	42,3	23,0	23,0	23,6	23,5	0,253	0,435	0,236	0,425	0,058	0,058	0,058	0,058
	39,5		42,4		23,0		23,5									
	39,6		42,3		22,9		23,5									
6	39,7	39,7	41,9	41,9	23,0	22,9	23,5	23,4	0,000	0,436	0,000	0,427	0,000	0,058	0,000	0,058
	39,7		41,9		22,9		23,4									
	39,7		41,9		22,9		23,4									
7	39,8	39,8	42,5	42,4	23,0	23,0	23,4	23,5	0,251	0,000	0,236	0,426	0,058	0,000	0,058	0,058
	39,8		42,4		23,0		23,5									
	39,9		42,4		23,0		23,5									



Nº de medida	Humedad DHT 22	Humedad Prom DHT 22	humedad Dwyer	Prom. Humed. Dwyer	Temp. DHT 22	Tem. Prom DHT 22	Temp. Dwyer	Prom. Temp. Dwyer	D. Hum. DHT 22	D. Temp. DHT 22	D Hum. Dwyer	D tem. Dwyer	$\sigma$ (Hum. DHT 22)	$\sigma$ (Tem. DHT 22)	$\sigma$ (Hum. Dwyer)	$\sigma$ (Tem. Dwyer)
8	40	40,0	42,5	42,4	23,1	23,1	23,7	23,6	0,250	0,434	0,471	0,423	0,058	0,058	0,115	0,058
	40		42,5		23,1		23,6									
	40,1		42,3		23,0		23,6									
9	40,1	40,2	42,6	42,6	23,0	23,1	23,6	23,7	0,249	0,434	0,235	0,423	0,058	0,058	0,058	0,058
	40,2		42,6		23,1		23,7									
	40,2		42,7		23,1		23,7									
10	40,4	40,4	42,4	42,3	23,1	23,1	23,7	23,7	0,248	0,434	0,236	0,423	0,058	0,058	0,058	0,058
	40,4		42,3		23,0		23,7									
	40,3		42,3		23,1		23,6									
11	40,5	40,5	42,7	42,6	23,0	23,1	23,6	23,6	0,247	0,434	0,235	0,423	0,058	0,058	0,058	0,058
	40,4		42,6		23,1		23,7									
	40,5		42,6		23,1		23,6									
12	40,8	40,8	42,6	42,6	23,2	23,2	23,7	23,7	0,245	0,432	0,235	0,422	0,058	0,058	0,058	0,100
	40,7		42,6		23,1		23,6									
	40,8		42,5		23,2		23,8									

Tabla 3.6.2.3.1 – Resultado de Ensayos



$$(3) = \text{Prom. (2)} \quad \text{Ec. 3.6.2.3.1} \quad (5) = \text{Prom. (4)} \quad \text{Ec. 3.6.2.3.2}$$

$$(7) = \text{Prom. (6)} \quad \text{Ec. 3.6.2.3.3} \quad (9) = \text{Prom. (8)} \quad \text{Ec. 3.6.2.3.4}$$

$$(10) = \left( \frac{\text{Max.}(2) - \text{Min.}(2)}{(3)} \right) * 100 \quad \text{Ec. 3.6.2.3.5} \quad (11) = \left( \frac{\text{Max.}(6) - \text{Min.}(6)}{(7)} \right) * 100 \quad \text{Ec. 3.6.2.3.6}$$

$$(12) = \left( \frac{\text{Max.}(4) - \text{Min.}(4)}{(5)} \right) * 100 \quad \text{Ec. 3.6.2.3.7} \quad (13) = \left( \frac{\text{Max.}(8) - \text{Min.}(8)}{(9)} \right) * 100 \quad \text{Ec. 3.6.2.3.8}$$

Una vez controlados los datos de dispersión se procedió a realizar la gráfica del Porcentaje de Humedad Relativa del Sensor DHT 22 frente a lo obtenido del higrómetro Dwyer modelo 482-2.

Como puede apreciarse, en el siguiente gráfico, los valores que arrojó el Sensor DHT 22 se encuentran próximos a los valores relevados en el higrómetro digital.

Los valores del Sensor DHT 22 no llegan a encontrarse en las cercanías de aquellos arrojados por el higrómetro de manera exacta. Pero, dentro de las tolerancias aceptadas por cada uno de ellos, tenemos una zona de posibles valores en común.

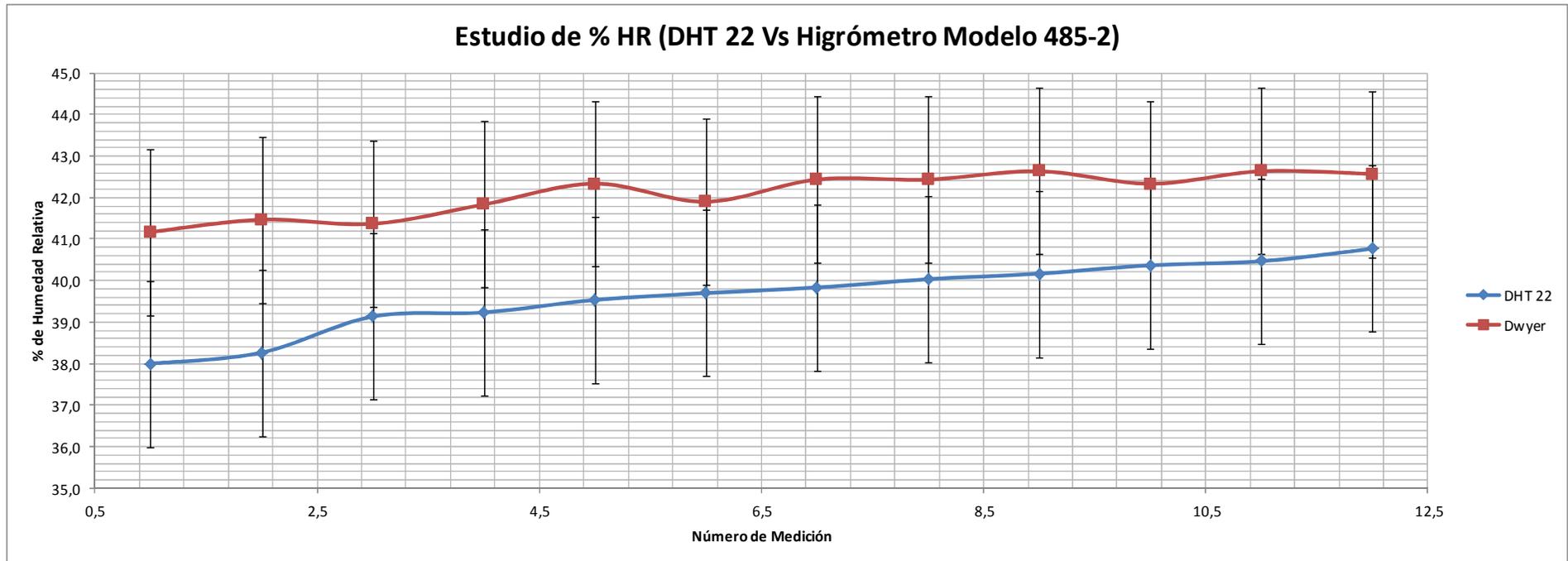


Fig. 3.6.2.3.1 – Gráfica de la Humedad Relativa vs Número de Mediciones

De esta parte del ensayo, puede decirse que:

- I. La diferencia, entre los valores del porcentaje de Humedad Relativa del Sensor DHT 22 y del Higrómetro Dwyer, es pequeña.
- II. Sobre la gráfica de ambos sensores se pueden observar los errores que son aceptados en estos. Puede verse que en ningún punto se logran alcanzar de manera directa, por parte del sensor bajo estudio (DHT 22), valores relevados por el Higrómetro Dwyer.
- III. Se puede apreciar que se genera una banda de datos sobre la gráfica, producida por la intersección de los errores de ambos dispositivos.

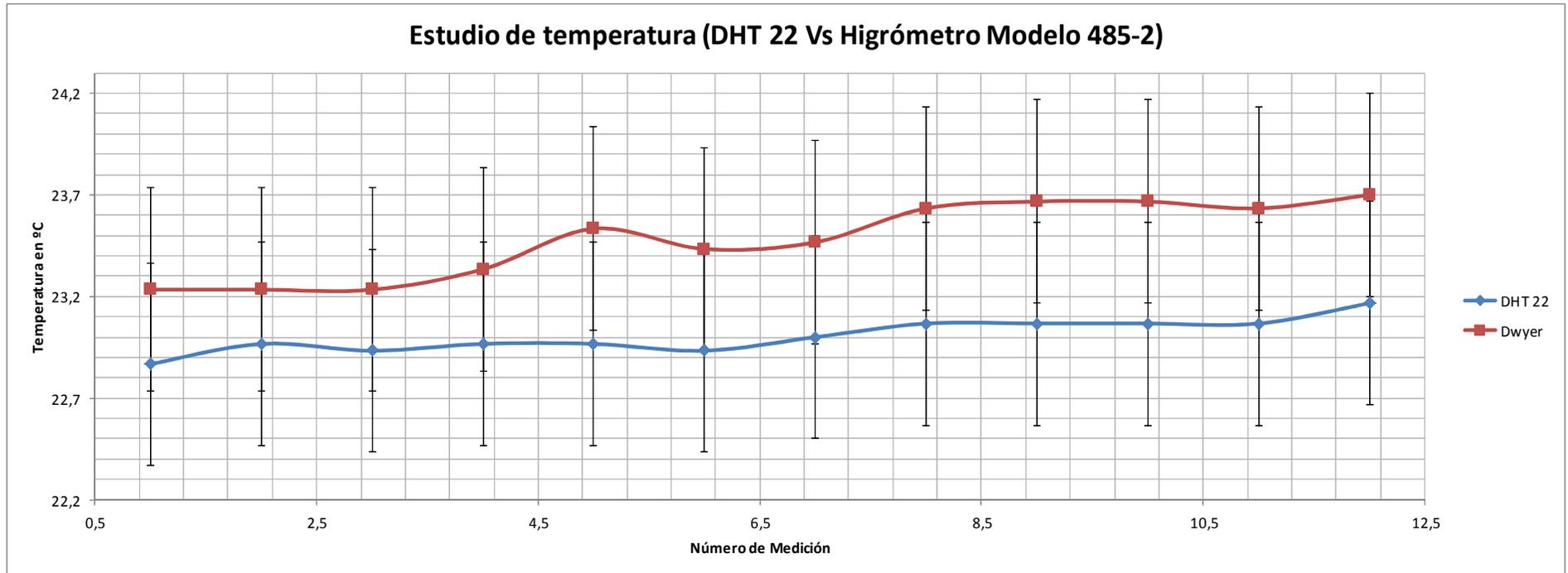


Fig. 3.6.2.3.2 – Gráfica de la Temperatura vs Número de Mediciones

De esta parte del ensayo, puede decirse que:

- I. La diferencia, entre los valores de Temperatura Sensor DHT 22 y del Higrómetro Dwyer, es pequeña.
- II. Sobre la gráfica de ambos sensores se pueden observar los errores que son aceptados en estos. Además, puede verse que se logran alcanzar los valores relevados por el higrómetro.
- III. Podemos apreciar que se genera una banda de datos sobre la gráfica, producida por la intersección de los errores de ambos dispositivos.

### **3.6.3 Ensayo Comparativo Entre el Sensor DHT 11 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” Frente a un Ambiente de Humedad Controlado**

#### **3.6.3.1 Resumen:**

En este ensayo de laboratorio se relevaron los valores de Humedad Relativa emitidos por dos Sensores distintos:

- Sensor DHT 11.
- Higrómetro Digital Dwyer – Modelo 485-2.

El ensayo fue realizado tomando la humedad del medio ambiente de una cámara de ensayos (Fig. 3.6.3.1) cerrada. Sobre esta cámara, se fue variando la humedad a medida que se relevaban los valores de humedad.

Luego de esto, se especificó el grado de similitud entre ambos sensores de Temperatura y Humedad Relativa.



Fig. 3.6.3.1. – Cámara de Ensayos

#### **3.6.3.2 Objetivo del Ensayo:**

Determinar, si los valores arrojados por el Sensor DHT 11 coinciden, o se encuentran contenidos dentro de los valores que surgen del uso de un Higrómetro Digital Dwyer – Modelo 485-2.

Determinar el grado de respuesta del Sensor DHT 11 frente a cambios en el ambiente circundante.



### 3.6.3.3 Desarrollo

El presente ensayo se realizó según los siguientes pasos:

- 1- Se colocó el Sensor DHT 11 dentro de una pequeña cámara cerrada.
- 2- Se agregó, en la base de dicha cámara, agua destilada para poder aumentar la humedad relativa de dicho ambiente cerrado.
  - a. Para esto solo se cubrió un 10 % del volumen total de la cámara. Esto posibilitó un mayor control sobre la velocidad de cambio en la humedad relativa, dando tiempo a realizar la toma de las mediciones.
- 3- Se cerró la cámara y se introdujo, por medio de una perforación, el extremo de la sonda del Higrómetro; comenzando así con la toma de datos.

Es importante aclarar que:

- a- No se logró controlar la velocidad de cambio de la humedad relativa, dentro de la cámara de ensayos.
  - b- Se necesitó de la colaboración de 2 personas para poder relevar los datos que el sensor y el higrómetro fueron arrojando.
- 4- Al momento de querer disminuir la Humedad Relativa, se introdujo dentro de la cámara de ensayos (vacía y limpia) Silica gel.
    - a. Para esto solo se cubrió un 15 % del volumen total de la cámara. Esto posibilitó un mayor control sobre la velocidad de cambio de la humedad relativa, dando tiempo a realizar la toma de las mediciones.
  - 5- A partir de los datos relevados se confeccionaron las siguientes tablas. Además, con los datos obtenidos se controló que el grado de dispersión se encontrara dentro de valores aceptables.

Nota:

Se dispuso que los datos emitidos por el sensor de Humedad y Temperatura fueran tomados como puntos de referencia. De esta manera, la toma de datos se simplificó en gran medida dado que se eliminó la necesidad de ingresar el factor tiempo dentro de los valores a relevar.



Medida Nº	Disminución de humedad (Silicagel)								D Dwyer (% HR)	σ Dwyer (% HR)
	Test 1		Test 2		Test 3		Valor Promedio			
	DHT 11 (% HR)	Dwyner (% HR)	DHT 11 (% HR)	Dwyner (% HR)	DHT 11 (% HR)	Dwyner (% HR)	DHT 11 (% HR)	Dwyner (% HR)		
1	32	31	32	31	32	31	32	31,0	0,00	0,00
2	31	29	31	30	31	29	31	29,3	3,41	0,82
3	30	26	30	28,5	30	28	30	27,5	9,09	1,87
4	29	24,5	29	24,5	29	25	29	24,7	2,03	0,41
5	28	23	28	22	28	23	28	22,7	4,41	0,82
6	27	21	27	19,1	27	19,5	27	19,9	9,56	1,42
7	26	19	26	17,5	26	18,5	26	18,3	8,18	1,08
8	25	17,8	25	15,8	25	16	25	16,5	12,10	1,56
9	24	16,4	24	16	24	16,1	24	16,2	2,47	0,29
10	23	15,4	23	15	23	15,4	23	15,3	2,62	0,33

Tabla 3.6.3.3.1 – Resultado de Ensayos

Medida Nº	Aumento de humedad								D Dwyer (% HR)	σ Dwyer (% HR)
	Test 1		Test 2		Test 3		Valor Promedio			
	DHT 11 (% HR)	Dwyer (% HR)	DHT 11 (% HR)	Dwyer (% HR)	DHT 11 (% HR)	Dwyer (% HR)	DHT 11 (% HR)	Dwyer (% HR)		
1	30	35	30	35,5	30	35	30	35,17	1,42	0,41
2	31	41	31	40	31	40	31	40,33	2,48	0,82
3	32	45	32	44	32	44,2	32	44,40	2,25	0,75
4	33	47,5	33	47	33	47,4	33	47,30	1,06	0,37
5	34	50	34	49,5	34	49,8	34	49,77	1,00	0,36
6	35	52,4	35	51,8	35	52,1	35	52,10	1,15	0,42
7	36	53,5	36	52,9	36	53,2	36	53,20	1,13	0,42
8	37	54	37	53,8	37	53,8	37	53,87	0,37	0,16
9	38	54,7	38	54	38	54,2	38	54,30	1,29	0,51
10	39	55	39	55	39	55,1	39	55,03	0,18	0,08
11	40	56	40	56,1	40	56	40	56,03	0,18	0,08
12	41	57	41	57	41	57	41	57,00	0,00	0,00
13	42	57,2	42	57,1	42	57,1	42	57,13	0,18	0,08



Medida Nº	Test 1		Test 2		Test 3		Valor Promedio		D Dwyer (% HR)	$\sigma$ Dwyer (% HR)
	DHT 11 (% HR)	Dwyer (% HR)	DHT 11 (% HR)	Dwyer (% HR)	DHT 11 (% HR)	Dwyer (% HR)	DHT 11 (% HR)	Dwyer (% HR)		
14	43	57,7	43	57,5	43	57,5	43	57,57	0,35	0,16
15	44	58,2	44	58,3	44	58,3	44	58,27	0,17	0,08
16	45	58,6	45	58,7	45	58,5	45	58,60	0,17	0,14
17	46	59	46	59,2	46	59	46	59,07	0,34	0,16
18	47	59,4	47	59,5	47	59,4	47	59,43	0,17	0,08
19	48	59,4	48	59,4	48	59,5	48	59,43	0,17	0,08
20	49	59,5	49	59,6	49	59,5	49	59,53	0,17	0,08
21	50	59,6	50	59,7	50	59,7	50	59,67	0,17	0,08
22	51	59,7	51	60	51	59,9	51	59,87	0,50	0,22
23	52	60	52	60	52	60,1	52	60,03	0,17	0,08
24	53	60,2	53	60,3	53	60,2	53	60,23	0,17	0,08
25	54	60,5	54	60,5	54	60,4	54	60,47	0,17	0,08
26	55	60,9	55	61	55	60,9	55	60,93	0,16	0,08
27	56	61	56	61	56	61,1	56	61,03	0,16	0,08
28	57	61,3	57	61,4	57	61,4	57	61,37	0,16	0,08
29	58	62	58	61,9	58	62	58	61,97	0,16	0,08
30	59	61,7	59	61,9	59	62	59	61,87	0,48	0,22
31	60	62	60	62	60	62	60	62,00	0,00	0,00
32	61	61	61	62	61	62	61	61,67	1,62	0,82
33	62	61,1	62	62,2	62	61,9	62	61,73	1,78	0,80
34	63	61,4	63	62	63	62,4	63	61,93	1,61	0,71
35	64	62,6	64	62,8	64	62,5	64	62,63	0,48	0,22
36	65	64	65	63	65	62,9	65	63,30	1,74	0,86
37	66	64,1	66	63,6	66	63,4	66	63,70	1,10	0,51
38	67	64,2	67	63,9	67	63,9	67	64,05	0,47	0,26

Tabla 3.6.3.3.2 – Resultado de Ensayos



En estas dos primeras tablas puede apreciarse que:

- Los valores que arrojó el Higrómetro Dwyer distan mucho de los visualizados en el Sensor DHT 11.
- La velocidad con que el Sensor (DHT 11) se adaptó a los cambios, que ocurren en el ambiente bajo estudio, fue relativamente lenta.  
Esto puede apreciarse sobre la gráfica que se expone a continuación, en donde se visualiza claramente el punto desde donde se aumentó y disminuyó (artificialmente) la humedad relativa. Desde los puntos en donde se inicia cada uno de los ensayos (aproximadamente 30 % HR), se puede apreciar que el sensor DHT 11 busca alcanzar el valor de humedad relativa ambiente, pero solamente lo logra una vez que el ambiente se estabiliza (porcentaje de humedad final).
- Los valores de dispersión (para la humedad relativa tomada por el higrómetro Dwyer) fluctúan en varios puntos, esto se debe a la elevada velocidad de cambio del ambiente en estudio (explicación de dicha velocidad). Fuera de esto solo se tienen valores de dispersión elevados en puntos aislados.

A continuación se muestran los datos anteriores pero reagrupados en una única tabla.

Medida Nº	Valores Promedios	
	DHT 11 (% HR)	Dwyer (% HR)
1	23	15,27
2	24	16,17
3	25	16,53
4	26	18,33
5	27	19,87
6	28	22,67
7	29	24,67
8	30	31,33
9	31	34,83
10	32	37,70
11	33	47,30
12	34	49,77
13	35	52,10
14	36	53,20
15	37	53,87
16	38	54,30
17	39	55,03
18	40	56,03
19	41	57,00
20	42	57,13
21	43	57,57
22	44	58,27
23	45	58,60

Medida Nº	Valores Promedios	
	DHT 11 (% HR)	Dwyer (% HR)
24	46	59,07
25	47	59,43
26	48	59,43
27	49	59,53
28	50	59,67
29	51	59,87
30	52	60,03
31	53	60,23
32	54	60,47
33	55	60,93
34	56	61,03
35	57	61,37
36	58	61,97
37	59	61,87
38	60	62,00
39	61	61,67
40	62	61,73
41	63	61,93
42	64	62,63
43	65	63,30
44	66	63,70
45	67	

Tabla 3.6.3.3.3 – Resultados de Ensayos Reagrupados

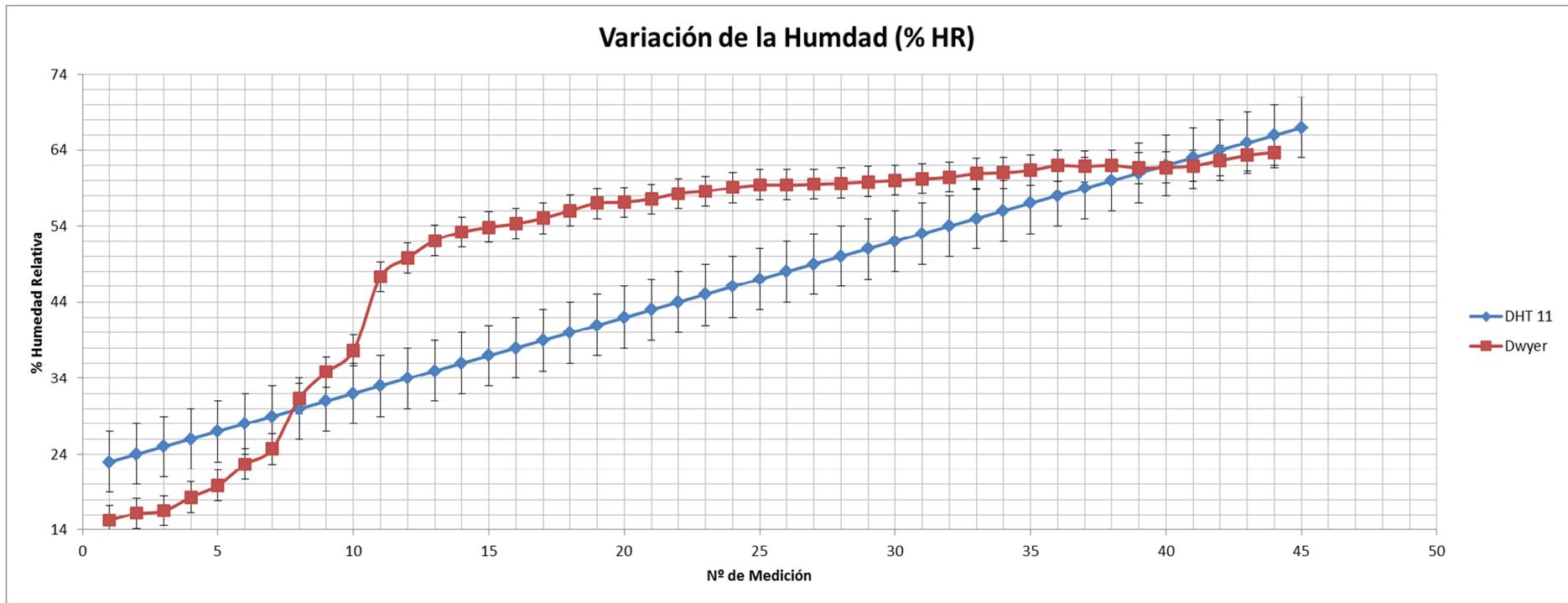


Fig. 3.6.3.3.1 – Gráfica de la Humedad Relativa vs Número de Mediciones

El punto de cruce entre ambas graficas (alrededor de 30 % HR) es propio del punto desde el cual se comenzó a incrementar o disminuir la humedad relativa. Al no poder regular a velocidad de cambio de la humedad dentro del recinto es que se produce esa separación.

### **3.6.4 Ensayo Comparativo Entre el Sensor DHT 22 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” Frente a un Ambiente de Humedad Controlado**

#### **3.6.4.1 Resumen**

En este ensayo de laboratorio se relevaron los valores de Humedad Relativa emitidos por dos Sensores distintos:

- Sensor DHT 22.
- Higrómetro Digital Dwyer – Modelo 485-2.

El ensayo fue realizado tomando la humedad del medio ambiente de una cámara de ensayos cerrada. Sobre esta cámara, se fue variando la humedad a medida que se relevaban los valores de humedad. Luego de esto, se especificó el grado de similitud entre ambos sensores de Temperatura y Humedad Relativa.



Fig. 3.6.4.1. – Cámara de Ensayos

#### **3.6.4.2 Objetivo del Ensayo:**

Determinar, si los valores arrojados por el Sensor DHT 22 coinciden, o se encuentran contenidos dentro de los valores que surgen del uso de un Higrómetro Digital Dwyer – Modelo 485-2.

Determinar el grado de respuesta del Sensor DHT 22 frente a cambios en el ambiente circundante.



### 3.6.4.3 Desarrollo

El presente ensayo se realizó según los siguientes pasos:

1. Se colocó el Sensor DHT 22 dentro de una pequeña cámara cerrada.
2. Se agregó, en la base de dicha cámara, agua destilada para poder aumentar la humedad relativa de dicho ambiente cerrado.
  - a. Para esto solo se cubrió un 10 % del volumen total de la cámara. Esto posibilitó un mayor control sobre la velocidad de cambio en la humedad relativa, dando tiempo a realizar la toma de las mediciones.
3. Se cerró la cámara y se introdujo, por medio de una perforación, el extremo de la sonda del Higrómetro; comenzando así con la toma de datos.

Es importante aclarar que:

- a. No se logró controlar la velocidad de cambio de la humedad relativa, dentro de la cámara de ensayos.
  - b. Se necesitó de la colaboración de 2 personas para poder relevar los datos que el sensor y el higrómetro fueron arrojando.
4. Al momento de querer disminuir la Humedad Relativa, se introdujo dentro de la cámara de ensayos (vacía y limpia) Silica gel.
    - a. Para esto solo se cubrió un 15 % del volumen total de la cámara. Esto posibilitó un mayor control sobre la velocidad de cambio de la humedad relativa, dando tiempo a realizar la toma de las mediciones.
  5. A partir de los datos relevados se confeccionaron las siguientes tablas. Además, con los datos obtenidos se controló que el grado de dispersión se encontrara dentro de valores aceptables.

Nota:

Se dispuso que los datos emitidos por el sensor de Humedad y Temperatura fueran tomados como puntos de referencia. De esta manera, la toma de datos se simplificó en gran medida dado que se eliminó la necesidad de ingresar el factor tiempo dentro de los valores a relevar.



Nº de Medida	Disminución de humedad		Test Nº 2		Test Nº 3		Valores Promedio		D (Dwyer % HR)	$\sigma$ (Dwyer % HR)
	Test Nº 1		DHT 22 (% HR)	Dwyer (% HR)	DHT 22 (% HR)	Dwyer (% HR)	DHT 22 (% HR)	Dwyer (% HR)		
	DHT 22 (% HR)	Dwyer (% HR)								
1	28,8	28,9	28,8	28,9	28,8	28,9	28,8	28,90	0,00	0,00
2	26,9	24,6	26,9	28	26,9	28	26,9	26,87	12,66	2,53
3	26,8	23,8	26,8	27	26,8	27	26,8	25,93	12,34	2,39
4	25,5	23	25,5	25,8	25,5	25,5	25,5	24,77	11,31	2,05
5	25,4	22,4	25,4	24,9	25,4	24,4	25,4	23,90	10,46	1,80
6	24,1	21,8	24,1	24,4	24,1	24	24,1	23,40	11,11	1,89
7	23,4	20,9	23,4	23,9	23,4	23,6	23,4	22,80	13,16	2,20
8	23,5	20	23,5	23,5	23,5	23	23,5	22,17	15,79	2,54
9	22,8	19,3	22,8	23,2	22,8	22,9	22,8	21,80	17,89	2,87
10	22,6	18,9	22,6	22,9	22,6	22,4	22,6	21,40	18,69	2,92
11	22,3	18,5	22,3	22,7	22,3	22,1	22,3	21,10	19,91	3,05
12	21,9	18	21,9	22,4	21,9	22	21,9	20,80	21,15	3,22
13	21,8	17,7	21,8	22,1	21,8	21,8	21,8	20,53	21,43	3,24
14	21,4	17,4	21,4	21,9	21,4	21,3	21,4	20,20	22,28	3,28
15	21,2	17	21,2	21,7	21,2	21	21,2	19,90	23,62	3,41
16	20,5	16	20,5	21,5	20,5	20,9	20,5	19,47	28,25	4,02
17	20,1	15,5	20,1	21,3	20,1	20,9	20,1	19,23	30,16	4,27
18	20	15,3	20	21,2	20	20,6	20	19,03	31,00	4,32
19	19,9	15,5	19,9	21,1	19,9	20,3	19,9	18,97	29,53	4,07
20	19,8	15,1	19,8	20,8	19,8	20	19,8	18,63	30,59	4,14
21	19,7	15	19,7	20,2	19,7	19,5	19,7	18,23	28,52	3,78
22	19,5	15	19,5	20,1	19,5	19,4	19,5	18,17	28,07	3,71
23	19	14,7	19	20	19	19,1	19	17,93	29,55	3,84
24	18,5	14,4	18,5	19,5	18,5	19	18,5	17,63	28,92	3,73
25	18,3	14	18,3	19	18,3	19	18,3	17,33	28,85	3,73

Tabla 3.6.4.3.1 – Resultado de Ensayos



Nº de Medida	Aumento de la Humedad		Test Nº 2		Test Nº 3		Valores Promedios		D Dwyer (% HR)	$\sigma$ Dwyer (% HR)
	Test Nº 1		DHT 22 (% HR)	Dwyer (% HR)	DHT 22 (% HR)	Dwyer (% HR)	DHT 22 (% HR)	Dwyer (% HR)		
	DHT 22 (% HR)	Dwyer (% HR)								
1	40	40,2	40	42,2	40	42,1	40	41,50	4,82	1,59
2	43	42,5	43	43,5	43	43,1	43	43,03	2,32	0,71
3	45	45,8	45	47,8	45	46	45	46,53	4,30	1,56
4	48	52,3	48	53,3	48	53,1	48	52,90	1,89	0,75
5	49	54	49	56	49	55,1	49	55,03	3,63	1,42
6	51	56	51	57,5	51	57,2	51	56,90	2,64	1,12
7	53	58	53	60	53	59,3	53	59,10	3,38	1,44
8	54,9	60	54,9	61,5	54,9	61,2	54,9	60,90	2,46	1,12
9	55,5	60,7	55,5	62,7	55,5	61,5	55,5	61,63	3,24	1,42
10	56	61,5	56	63	56	62,7	56	62,40	2,40	1,12
11	57,3	62,4	57,3	63,8	57,3	63,2	57,3	63,13	2,22	0,99
12	58,9	64	58,9	64	58,9	63,8	58,9	63,93	0,31	0,16
13	60	64,9	60	64,9	60	64,8	60	64,87	0,15	0,08
14	60,5	65,2	60,5	66	60,5	65,8	60,5	65,67	1,22	0,59
15	61,1	65,8	61,1	66,1	61,1	66	61,1	65,97	0,45	0,22
16	62	66	62	66,8	62	66,7	62	66,50	1,20	0,62
17	62,9	66,7	62,9	67	62,9	66,8	62,9	66,83	0,45	0,22
18	63,5	66,8	63,5	67	63,5	66,9	63,5	66,90	0,30	0,14
19	64	67,2	64	67,2	64	67	64	67,13	0,30	0,16
20	64,5	67,8	64,5	67,3	64,5	67,4	64,5	67,50	0,74	0,37
21	65	68,1	65	67,8	65	67,9	65	67,93	0,44	0,22
22	65,5	68,1	65,5	68	65,5	68,2	65,5	68,10	0,29	0,14
23	66	68,6	66	68,2	66	68,4	66	68,40	0,58	0,28
24	66,5	68,7	66,5	68,5	66,5	68,6	66,5	68,60	0,29	0,14

Tabla 3.6.4.3.2 – Resultado de Ensayos



En estas dos primeras tablas puede apreciarse claramente que:

- Los valores que arrojó el Higrómetro se encuentran mucho más cercanos a los que se visualizaron en el Sensor DHT 11.
- La velocidad con que el Sensor (DHT 22) se adaptó a los cambios de las condiciones del ambiente bajo estudio, son bastante buenas y aceptables. Eso puede verse sobre la gráfica que se expone a continuación, en donde se visualiza claramente el punto desde donde se aumentó y disminuyó (artificialmente) la humedad relativa.
- Los valores de dispersión no se mantuvieron dentro de un 2 %. Esto se ve especialmente marcado cuando se realiza la disminución de la humedad relativa, dado que no se tiene control sobre dicha velocidad de cambio.

A continuación se muestran los valores promedios de humedad relativa.

Nº de medida	DHT 22 (% HR)	Dwyer (% HR)
1	18,3	17,33
2	18,5	17,63
3	19	17,93
4	19,5	18,17
5	19,7	18,23
6	19,8	18,63
7	19,9	18,97
8	20	19,03
9	20,1	19,23
10	20,5	19,47
11	21,2	19,90
12	21,4	20,20
13	21,8	20,53
14	21,9	20,80
15	22,3	21,10
16	22,6	21,40
17	22,8	21,80
18	23,4	22,80
19	23,5	22,17
20	24,1	23,40
21	25,4	23,90
22	25,5	24,77
23	26,8	25,93
24	26,9	26,87
25	28,8	28,90

Nº de medida	DHT 22 (% HR)	Dwyer (% HR)
26	40	41,50
27	43	43,03
28	45	46,53
29	48	52,90
30	49	55,03
31	51	56,90
32	53	59,10
33	54,9	60,90
34	55,5	61,63
35	56	62,40
36	57,3	63,13
37	58,9	63,93
38	60	64,87
39	60,5	65,67
40	61,1	65,97
41	62	66,50
42	62,9	66,83
43	63,5	66,90
44	64	67,13
45	64,5	67,50
46	65	67,93
47	65,5	68,10
48	66	68,40
49	66,5	68,60

Tabla 3.6.4.3.3 – Resultados de Ensayos Reagrupados

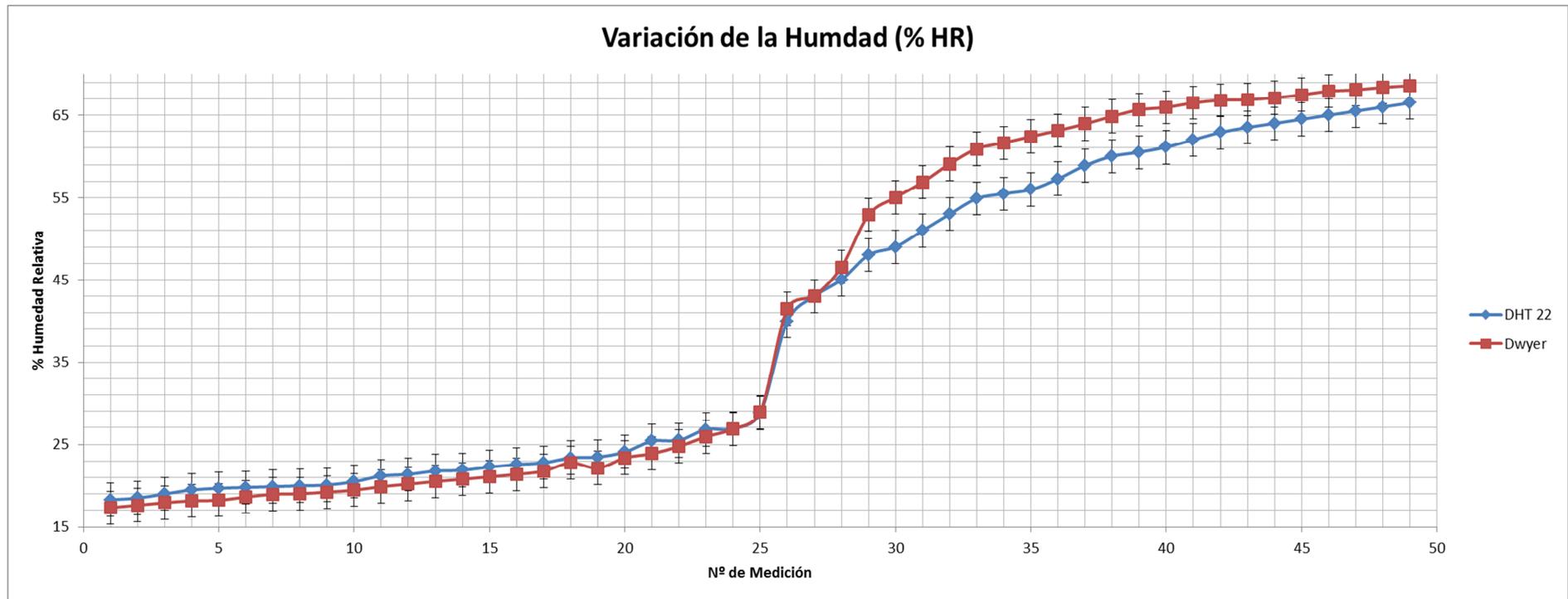


Fig. 3.6.4.3.1 – Gráfica de la Humedad Relativa Vs Número de Mediciones

Como ya se expresó anteriormente, el punto de cruce entre ambas graficas (alrededor de 30 – 38 % HR) es propio de aquel valor de humedad desde el cual se comenzó a incrementar o disminuir la humedad relativa dentro de la cámara de ensayos.

Por no poder regular la velocidad con que la humedad cambiaba dentro del recinto, la curva denota dos puntos en donde se ve un salto en los valores.



### **3.7 Conclusión**

#### **3.7.1 Sensor de Humedad Relativa y Temperatura DHT11**

- **Ensayo comparativo entre el Sensor DHT11 y el Higrómetro Digital “Dwyer – Modelo 485-2” Frente a un Ambiente Sin Control de la Temperatura y de la Humedad**

Este ensayo arrojó que los valores de humedad relativa, emitidos por el Sensor DHT11, no se encuentran cercanos a aquellos emitidos por el Higrómetro Digital. Estos valores llegan a ser tan distantes, unos de otros, que no se genera ni siquiera una banda de datos en donde los errores de cada uno de estos (instrumento y sensor) se solape. En una primera parte del análisis se supuso que existía un problema en la programación del sensor; luego de revisar el software y de reajustar el sensor (DHT11 – según datasheet), se repitió el ensayo y se volvió a arribar a los mismos resultados. Respecto a los valores de temperatura evaluados en el mismo ensayo, puede decirse lo mismo que en el caso anterior.

- **Ensayo Comparativo entre el Sensor DHT11 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” Frente a un Ambiente de Humedad Controlado**

En este ensayo se pudo apreciar que la velocidad de adaptación del sensor DHT11 no es lo suficientemente alta como para copiar los cambios producidos sobre el ambiente bajo control. Se debe aceptar que la velocidad de cambio, de la Humedad dentro del ambiente cerrado, fue un tanto elevada, pero el Higrómetro digital (Dwyer) pudo copiarla de muy buena manera dichos valores. Por lo antes expuesto, se puede afirmar que el sensor no está a la altura de dicha tarea.

#### **3.7.2 Sensor de Humedad Relativa y Temperatura DHT22**

- **Ensayo Comparativo Entre el Sensor DHT22 y el Higrómetro Digital “Dwyer – Modelo 485-2” Frente a un Ambiente Sin Control de la Temperatura y de la Humedad**

En este ensayo, los valores de humedad Relativa, arrojados por el Sensor DHT22, se encuentran cercanos a los valores que arrojó el Higrómetro Digital (Dwyer). Sobre la gráfica que se expone de este ensayo, puede verse que no se alcanzan valores iguales entre ambos sensores pero sus errores logran solaparse en todas las etapas de medición realizadas.

Respecto a los valores de temperatura relevados, puede expresarse que la diferencia entre los valores es mucho menor al caso presentado del Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT11.

- **Ensayo Comparativo Entre el Sensor DHT22 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” Frente a un Ambiente de Humedad Controlado**

Los valores arrojados en este ensayo, se encuentran mucho más cercanos, entre sí (Sensor DHT22 e Higrómetro Digital Dwyer Modelo 485-2) que en el caso del Sensor DHT11. La



velocidad de adaptación a los cambios del medio ambiente mejoraron mucho respecto a los expuestos con anterioridad.

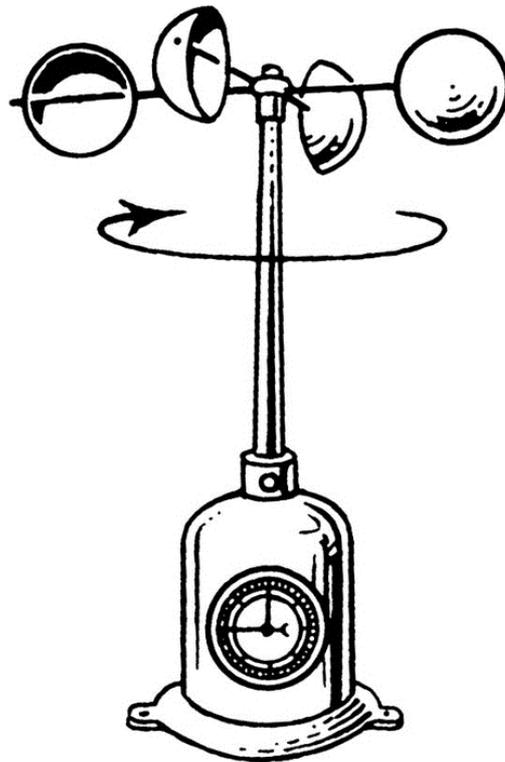
Fuera de que ambos sensores fueran recomendados, por un proveedor de confianza y conocedor del tema, se tomó la decisión de emplear en la estación Meteorológica el Sensor de Temperatura y Humedad Relativa DHT22, dado que:

- Los valores arrojados son similares a aquellos presentados por un Higrómetro comercial de una firma reconocida usado como patrón.
- Posee una mayor velocidad de adaptación a los cambios de Humedad del medio ambiente que lo circunda.



# CAPITULO 4

## VELOCIDAD DEL VIENTO



## 4.1 Velocidad del Viento

### 4.1.1 Parámetro a Medir: Velocidad del Viento

Puede definirse al viento como una manifestación de las permanentes diferencias de presiones atmosféricas, que existen en nuestro planeta.

Los vientos se definen por su dirección, sentido e intensidad (velocidad) por lo que se lo considera físicamente como un vector.

Para poder evaluar la velocidad del viento se utilizó un anemómetro. Lo que pasará a desarrollar en este punto se verá expuesto en los siguientes apartados:

- Modelos y tipos de anemómetros.
- Medición de la velocidad de viento y uso del anemómetro de cazoletas.
  - Parámetros a relevar con un anemómetro de cazoletas.
  - Parámetros de diseño.
  - Calibración.
  - Evaluación de la incertidumbre. (corriente de aire libre)
  - Dinámica del Anemómetro y su Comportamiento en la Atmosfera Real.
  - Fijación de un anemómetro (despliegue del mismo).
- Diseño de anemómetro para la realización de pruebas en túnel.

### 4.1.2 Modelos y Tipos de Anemómetros

Existen diversos modelos y tipos de anemómetros, a saber:

#### 1- Anemómetro de empuje:

Están formados por una esfera hueca y ligera (Daloz) o una pala (Wild), cuya posición respecto a un punto de suspensión varía con la fuerza del viento, lo cual se mide en un cuadrante.



Fig. 4.1.2.1 – Anemómetro de Empuje

#### 2- Anemómetro de rotación o de cazoletas:

Está dotado de cazoletas (Robinson) o hélices unidas a un eje central cuyo giro, proporcional a la velocidad del viento, es registrado convenientemente. En los anemómetros magnéticos, dicho giro activa un diminuto generador eléctrico que facilita la toma de medidas.

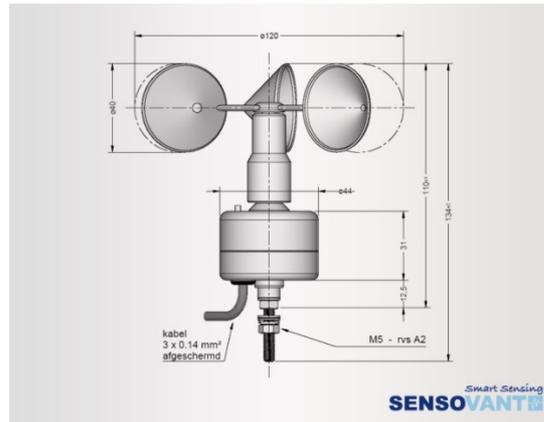


Fig. 4.1.2.2 - Anemómetro de Rotación

### 3- Anemómetro de compresión:

Se basa en el tubo de Pitot y está formado por dos pequeños tubos, uno de ellos con orificio frontal (que mide la presión total) y lateral (que mide la presión estática). La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.



Fig. 4.1.2.3 – Anemómetro de Compresión

### 4- Anemómetro de hilo caliente:

Un anemómetro térmico normal mide la velocidad del fluido detectando los cambios en la transferencia de calor mediante un pequeño sensor calefaccionado eléctricamente (un hilo o una película delgada) expuesto al fluido bajo estudio, El sensor calefaccionado es mantenido a una temperatura constante usando un circuito de control electrónico. El efecto de enfriamiento resultante del paso del fluido a través del sensor se compensa aumentando el voltaje del sensor.

La magnitud del aumento de voltaje necesario para mantener la temperatura constante está directamente relacionada con la transferencia del calor y, por tanto, con la velocidad del fluido. La anemometría por hilo caliente (Hot Wire Anemometry) es ideal para la medida de velocidades en fluidos puros (gases, y líquidos) de temperatura uniforme.

Su alto rango dinámico permite la medición de fenómenos turbulentos con una alta precisión hasta frecuencias muy elevadas. La técnica de hilo caliente es una medición invasiva, aunque sólo implique el emplazamiento de una pequeña sonda en el fluido de interés.

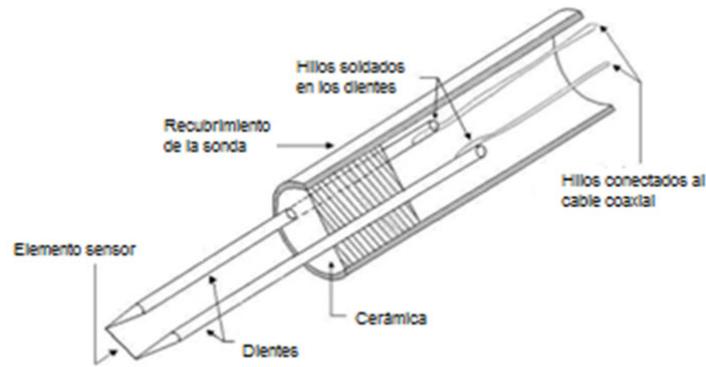


Figura 2. Diseño esquemático de una sonda, Fuente: QUEIROZ(2006) [14]

Fig. 4.1.2.4 – Anemómetro de Hilo Caliente

### 5- Anemómetro sónico:

Este tipo de anemómetros se basa en que la velocidad de propagación del sonido depende de la velocidad del viento. Lo que se mide en este caso es el tiempo que demora una señal de sonido en atravesar una distancia conocida (normalmente unos 20 cm). Este intervalo de tiempo está relacionado con la velocidad del viento en la dirección entre el emisor y el receptor. Mediante una medición similar, realizada en una dirección perpendicular a la anterior, se puede calcular la velocidad total del viento y su dirección. Este instrumento es considerablemente más caro que el anemómetro de copela, pero tiene una mayor precisión y no requiere mantenimiento mecánico (no hay piezas en movimiento). Sin embargo tiene problemas para medir el viento cuando se registra precipitación (lluvia o nieve).



Fig. 4.1.2.5 – Anemómetro Sónico

### 4.1.3 Medición de la Velocidad de Viento y Uso del Anemómetro de Cazoletas

Los anemómetros de cazoletas son ampliamente utilizados, dado que las velocidades relevadas por estos son muy acertadas, además poseen un costo atractivo frente a los demás modelos.

Poseen ciertas limitaciones, como es el caso de:



- No poseen buena respuesta cuando el ángulo de ataque del viento no se encuentra contenido dentro del plano horizontal.
- La respuesta, frente a bruscos cambios en la dirección del viento, no es muy buena.
- Se presenta una no linealidad en la calibración debido a que se tiene una variación continua en la fricción mecánica del instrumento.
- Puede variar la sensibilidad en función de la dirección del viento.

#### 4.1.3.1 Parámetro a Relevar con un Anemómetro de Cazoletas

Un anemómetro de cazoletas consiste, convencionalmente, en tres tazas semiesféricas o conos, dispuestos en torno a un rotor horizontal, posicionado alrededor de un eje vertical. Este tipo de anemómetro responde de forma idéntica a los vientos que provienen de diferentes direcciones dentro del plano horizontal.

Así, en términos de un sistema de ejes X, Y, Z, con componentes de velocidad u, v, w el anemómetro de cazoletas se encuentra diseñado para medir la velocidad del viento horizontal, es decir  $\sqrt{(u^2 + v^2)}$ .

En el mercado, se pueden conseguir dispositivos que:

- o Solo muestren una sensibilidad sobre el coseno del ángulo de desviación del vector viento, desde el punto de vista del plano horizontal. De ser así el instrumento solo medirá  $\sqrt{(u^2 + v^2)}$ .
- o Posean una sensibilidad que incluya la apreciación de dicho ángulo frente a la horizontal. Con esto la velocidad relevada sería  $\sqrt{(u^2 + v^2 + w^2)}$ .

#### 4.1.4 Parámetros de Diseño y Calibración

##### 4.1.4.1 Diseño

Aunque los anemómetros producidos por diferentes fabricantes parecen ser superficialmente similares, existen sutiles diferencias en el diseño que pueden tener una diferencia significativa en el comportamiento y en su precisión.

Los principales parámetros de diseño se muestran en la siguiente tabla:

Parámetro de Diseño	Influencia Cualitativa			
	Sensibilidad frente a componentes verticales de viento	Linealidad en la calibración	Respuesta dinámica	Sensibilidad frente a componentes horizontales de viento
Geometría del Rotor	Muy importante	Poca influencia (sobre el borde del perfil)	La capacidad de respuesta depende del equilibrio de las fuerzas aerodinámicas y aquellas fuerzas inerciales.	Sin influencia.
Tamaño del Rotor	Sin importancia.	Rotores más grandes tendrán una mejor linealidad ya que la fricción será relativamente baja.	Rotores más grandes tendrán mayor inercia y serán menos sensibles.	Sin influencia.

<b>Longitud del Eje</b>	Cuanto más largo el eje, menor será la distorsión del flujo de aire.	Sin influencia	Sin importancia	Ayuda a minimizar los efectos del cuerpo.
<b>Geometría del cuerpo</b>	Afecta a todas aquellas componentes verticales del viento	Sin Influencia	Sin importancia	Si no posee una forma unidireccional, entonces la calibración tendrá una dependencia direccional.
<b>Tipo de Rodamientos</b>	No es significativo.	Gran influencia, la calibración puede variar con la temperatura.	Efecto de segundo orden.	Puede tener un efecto.
<b>Tipo de generador de señal.</b>	Sin efecto.	Sin efecto.	Efecto de segundo orden	Sin efectos.

Tabla 4.1.4.1 – Parámetros para el Diseño de un Anemómetro

Los usuarios, de este tipo de anemómetros, deben ser conscientes de las influencias de diseño, la falta de planos y de esquemas de referencia, dificulta la selección de este tipo de instrumentos.

Los atributos de un instrumento bien diseñado se muestran en la siguiente figura:

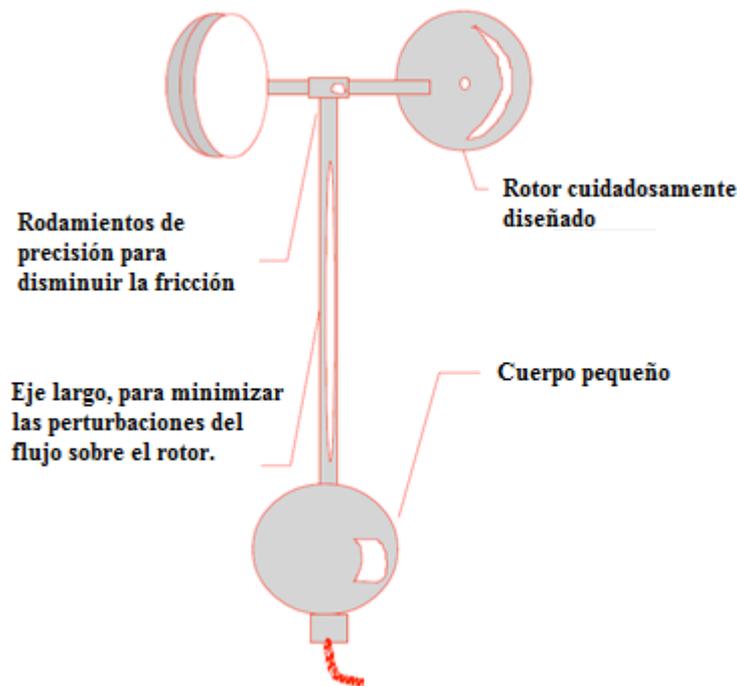


Fig. 4.1.4.1 – Diseño de un Anemómetro de Copas

#### 4.1.4.2 Calibración

Todos aquellos anemómetros utilizados para la evaluación del viento en distintas zonas deben ser calibrados de manera anual o semestral dependiendo de la aplicación de los datos obtenidos de estos.

- Los anemómetros deben ser calibrados previamente a ser desplegados y posterior a realizada su tarea.
- Para el uso extendido de los mismos, se deben calibrar cada seis meses.



- La calibración debe llevarse a cabo en un túnel de viento y los usuarios solo podrán utilizar instrucciones de calibración cuya procedencia se encuentre demostrada y debidamente autorizada. Dicha documentación deberá contener los siguientes puntos:
  - Trazabilidad de los patrones nacionales.
  - Garantías de calidad técnica.
  - Características del flujo del túnel de viento.

#### **4.1.4.2.1 Procedimiento de Calibración**

El procedimiento de calibración debe incluir:

- Calibración frente a túnel de viento.
- Cálculo de las velocidades del viento a partir de mediciones de carga dinámica y densidad del aire. Este último debe ser calculado en base a la medición de la temperatura ambiente, la presión barométrica y humedad relativa.
- Corrección de la velocidad del viento.
- Calibración en intervalos de 1 m/s desde 4 m/s a 16 m/s.

#### **4.1.5 Dinámica del Anemómetro y su Comportamiento en la Atmosfera Real**

El uso de las calibraciones realizadas en un túnel de viento, no garantiza la precisión en las mediciones realizadas por el instrumento en campo abierto.

Esto es así debido a que el flujo de aire en el medio ambiente real no es constante y el error e incertidumbre en la medición pueden ser introducidos por la turbulencia y por la variación relacionada con el ángulo del flujo.

A continuación pasaremos a citar aspectos propios de la conducta de un anemómetro. Los tres principales son:

- La sensibilidad no ideal frente a componentes verticales del viento.
- El exceso de velocidad del viento.
- El filtrado dinámico de vientos turbulentos.

Estos aspectos son de mayor importancia en términos complejos, donde podemos considerar las perturbaciones del viento de manera más pronunciadas.

##### **4.1.5.1 Sensibilidad Vertical**

Parece ser que la sensibilidad de los anemómetros de copa, frente a vientos que poseen una componente vertical depende de:

- El diseño del anemómetro.
- La velocidad del viento.
- Si el Anemómetro se encuentra en la atmósfera libre o en un túnel de viento.

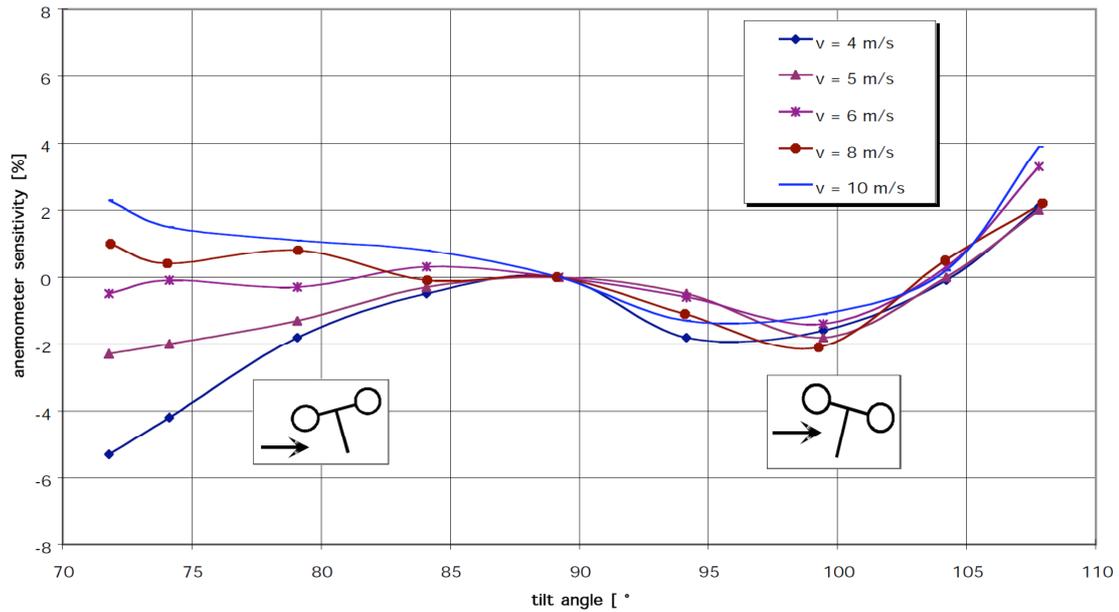


Fig.

4.1.5.1.1 - Diferencia porcentual entre la velocidad indicada del viento (Tubo Pitot) y la velocidad indicada por el anemómetro para varios ángulos de ataque y varias velocidades del viento. (Túnel de Viento).

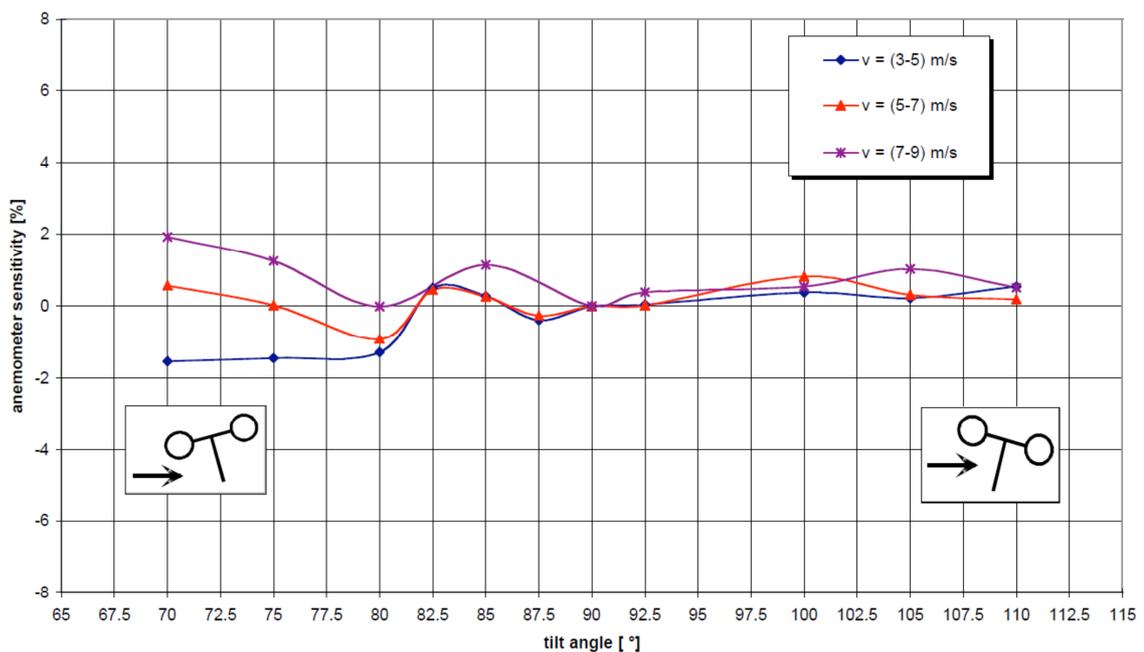


Fig. 4.1.5.1.2 - Diferencia porcentual entre la velocidad indicada del viento (Tubo Pitot) y la velocidad indicada por el anemómetro para varios ángulos de ataque y varias velocidades del viento. (Aire Libre).

De las anteriores gráficas puede decirse que:

- La diferencia porcentual manifestada por un anemómetro en condiciones de prueba (Banco de Ensayo – Túnel de viento) y otro expuesto a las condiciones ambientales, son bastante distintas.



- La principal diferencia la tenemos en que el anemómetro colocado en un túnel de ensayo presenta una diferencia porcentual, entre la velocidad relevada por un tubo pitot y el mismo, más acentuada y simétrica que en el caso del anemómetro colocado en un ambiente abierto.

#### **4.1.6 Formas de Fijación de un Anemómetro**

##### **4.1.6.1 Barra de Fijación**

La forma en que se despliega un anemómetro puede hacer que la calibración no tenga el efecto deseado. Esto es así, dado que si un anemómetro se encuentra instalado tras la estela producida por la interferencia de las barras de fijación con el viento, la indicación de la velocidad no será realmente la que el viento posee.

Resulta menos obvio pensar que el flujo de aire aguas arriba de la torre de medición puede causar importantes perturbaciones, pero no es del todo cierto este pensamiento. Considerando esto último y lo expresado en un principio se asume que instalando el anemómetro a una distancia adecuada se debería lograr que el equipo arroje valores aceptables.

Para no introducir mayores perturbaciones se aconseja colocar el anemómetro en la parte superior de un poste vertical. Esto no siempre es posible; dado que, por ejemplo, cuando queremos relevar la velocidad del viento a distintas alturas no será viable colocar una barra de fijación para cada anemómetro.

Los mástiles del tipo meteorológico pueden ser de forma cilíndrica o del tipo reticulado y la separación del anemómetro dependerá de la tecnología del mismo y de la solidez de la estructura.

##### **4.1.6.2 Torres Cilíndricas**

Para este tipo de torres, la separación que se tendría entre el mástil y el anemómetro debe reflejar el nivel de incertidumbre que se tendrá al final de la instalación del instrumento.

Una primera aproximación de las perturbaciones del flujo en las proximidades de un mástil tubular se puede obtener a partir de la aplicación de la teoría de flujo potencial. Sin embargo, estos resultados no son conservativos y en lugar de la teoría de flujo potencial se podría aplicar la teoría de Navier-Stoke que es más conservativa y exacta. En la siguiente figura puede apreciarse como se altera la velocidad del flujo de aire en las inmediaciones de la torre cilíndrica.

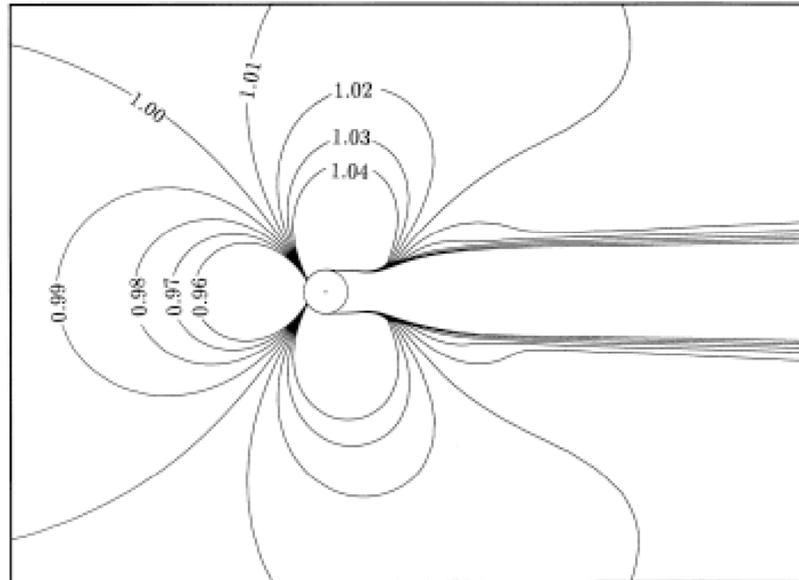


Fig. 4.1.6.2.1 – Grado de Perturbación del aire (la velocidad se encuentra normalizada, con la velocidad del aire “libre”)

El flujo de aire proviene desde la izquierda hacia la derecha. Aquí puede apreciarse que la perturbación es mínima a  $\pm 45^\circ$  ubicando el origen ( $0^\circ$ ) desde donde proviene el viento.

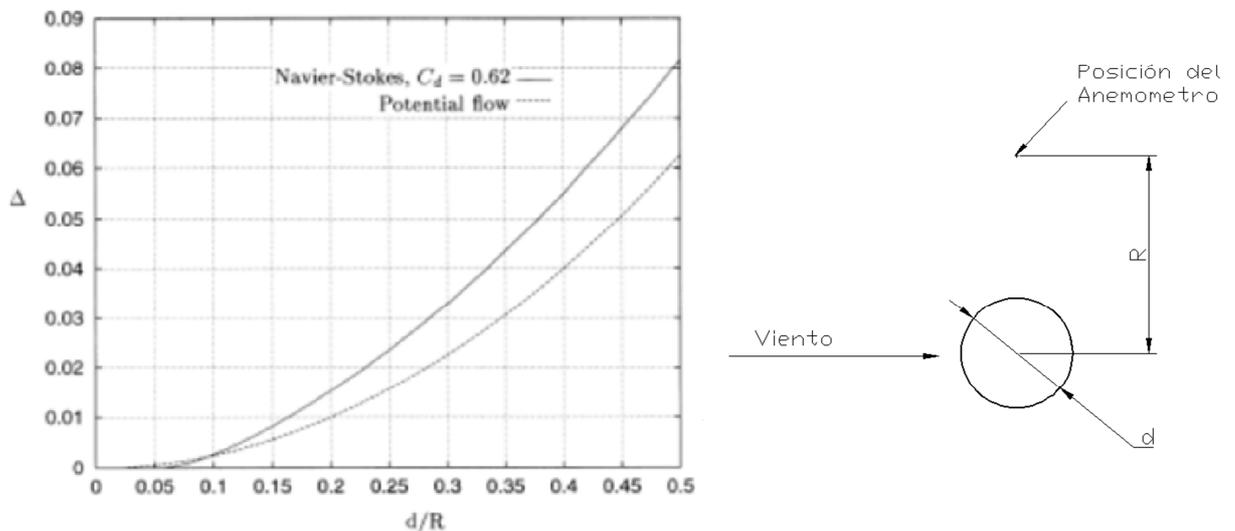


Fig. 4.1.6.2.2 - Déficit de la velocidad del viento en función de la distancia R, tomada desde el centro de la columna, y el diámetro de la columna d.

En la gráfica se aprecia que para un déficit de 1% en la velocidad del viento, el instrumento se encontrara en  $d/R=0.17$  lo cual indicaría que el anemómetro se encuentra a una distancia cercana a 6 veces el diámetro de la columna cilíndrica (distancia medida desde el centro de la columna).

### 4.1.6.3 Torres Reticuladas

El grado en que el flujo se ve perturbado por el mástil, se encuentra influenciado por el arrastre que generen los miembros de la torre individualmente, la orientación del viento y la separación del punto de medición con relación a la torre reticulada.

La distorsión que sufre el flujo de aire se encuentra en función del coeficiente de empuje “ $C_t$ ”, dependiendo este de la porosidad del mástil y el arrastre sobre todos los miembros individuales.

Este coeficiente  $C_t$  puede considerarse como la fuerza de arrastre total “ $D$ ” por unidad de longitud de la torre, dividida por la presión dinámica “ $q$ ” y el ancho de una de las caras de la torre reticulada “ $L$ ”.

La siguiente figura muestra el flujo de aire que se ve afectada por la presencia de una torre reticulada con un  $C_t$  de 0,486.

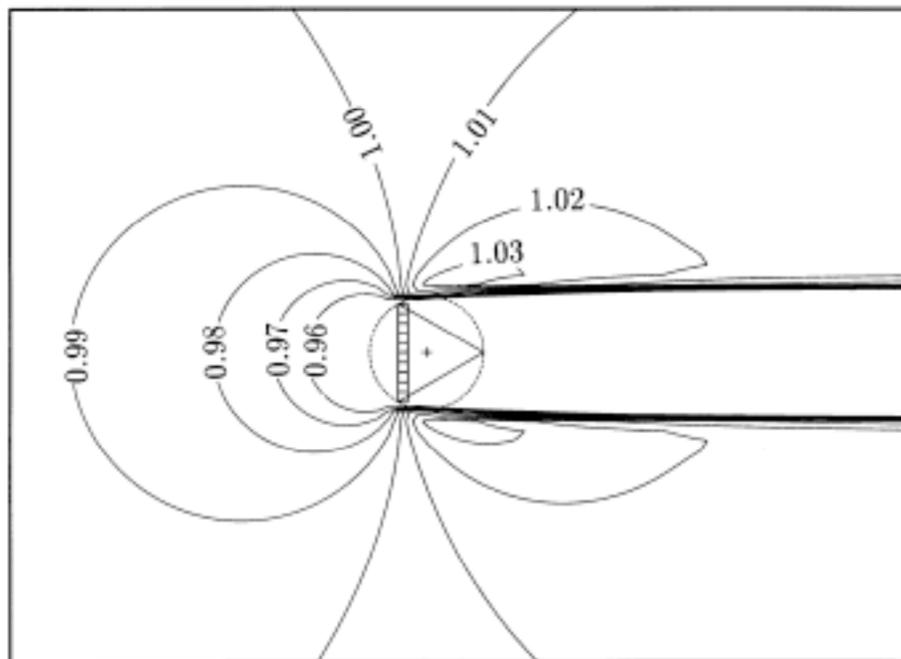


Fig. 4.1.6.3.1 - Flujo de aire alrededor de un mástil reticulado (la velocidad se encuentra normalizada, con la velocidad del aire “libre”). Se consideró un  $C_t$  de 0.486.

Existe una sutil diferencia con la columna cilíndrica, particularmente la poca perturbación que existe en el flujo a  $90^\circ$  del punto de impacto.

La próxima figura muestra el déficit calculado sobre la línea central de la torre para diversos valores de coeficiente de empuje.

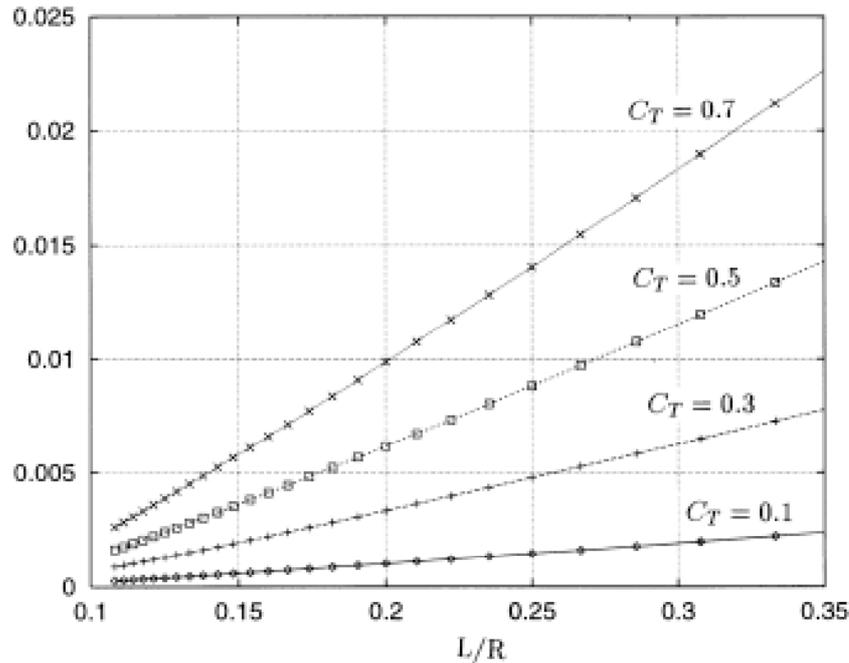


Fig. 4.1.6.3.2 - Déficit de velocidad del viento en función de la distancia R (tomada desde el centro de la columna), considerando triangular la sección de la columna y a L como el largo de una de sus caras.

Se puede apreciar que las líneas de  $C_t = \text{cte}$ , en la gráfica, muestran un comportamiento lineal a diferencia de la torre cilíndrica.

Analizando la gráfica podemos apreciar que para obtener un déficit en la velocidad del viento de 1% y un  $C_t = 0.5$  tendremos un valor de  $L/R$  de 0.27. Para esto, el anemómetro debe colocarse a una distancia igual a 3.7 veces el diámetro de la torre. Y teniendo un déficit de un 0.5 %, para un  $C_t$  de 0.5, el anemómetro debe situarse a una distancia igual a 5.7 veces el diámetro de la torre.

## 4.2 Diseño del Anemómetro

Considerando todo lo expuesto anteriormente, se procede con el desarrollo del anemómetro. El mismo fue diseñado con un fin experimental, es decir que solo será empleado para comprender aspectos básicos de su funcionamiento y así poder distinguir los distintos elementos que le juegan a favor y en contra a su desempeño.

El instrumento es un anemómetro clásico de copas al que se le incorporo un sistema de captura electrónica de datos de bajo costo.

El diseño de copas se escogió por su simplicidad, robustez y suficiente precisión para las aplicaciones de monitoreo de ensayos en túnel de viento.



El diseño de este anemómetro para ensayos en túnel se realizó en 4 etapas:

- **Determinar las Condiciones de Trabajo.**
  - o **Evaluación de la Velocidad del Viento.**
- **Diseño Estructural y Mecánico.**
  - o **Selección de Material.**
  - o **Selección de Rodamiento.**
  - o **Diseño de la Estructura y de la Copa del Anemómetro.**
- **Selección del Hardware.**
- **Desarrollo de Software.**

#### **4.2.1 Determinación de las Condiciones de Trabajo**

Las condiciones de trabajo que necesitamos conocer están directamente relacionadas con las limitaciones que luego tendrá nuestro instrumento. Pero considerando que este solo se empleara en ensayos de laboratorio solo evaluaremos la velocidad del viento y las temperaturas del lugar de ensayo. En este caso el lugar de trabajo, será la zona efectiva de ensayo del túnel de viento N° 1 de la Facultad de Ciencias Exactas de Física y Ciencias Naturales de la UNC.

##### **4.2.1.1 Evaluación de la Velocidad del Viento**

La estimación de la velocidad básica del viento depende de la longitud y calidad de los registros de viento y del modelo estadístico utilizado. La calibración del anemómetro, el registro preciso de la altura del instrumento y la asignación adecuada de la rugosidad del terreno circundante pueden afectar la calidad de los datos de velocidades de viento.

El “Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones” (Reglamento CIRSOC 102) da una descripción realista de las velocidades de viento, expresándolas en el siguiente gráfico. Quizás, la limitación más importante de estos datos sería que la velocidad del viento no está referida a ningún tipo de dirección (algo que obviamente sería de gran utilidad en el diseño de la veleta), y las anomalías potenciales se definen solamente en términos de regiones. Estas regiones incluyen cadenas montañosas, gargantas o valles de ríos. En estas regiones se pueden encontrar vientos inusuales debidos a efectos geográficos o a la canalización del viento.

Los vientos provenientes de tornados no se incluyen en el desarrollo del mapa de velocidades básicas de viento en virtud de su rara ocurrencia.

En el desarrollo del mapa de velocidades de viento de la siguiente Figura se aplicó la distribución de Gumbel<sup>27</sup>, para una velocidad básica asociada a un período de recurrencia de 50 años.

---

<sup>27</sup> En teoría de probabilidad y estadística la distribución de Gumbel es utilizada para modelar la distribución del máximo (o el mínimo), por lo que se usa para calcular valores extremos.

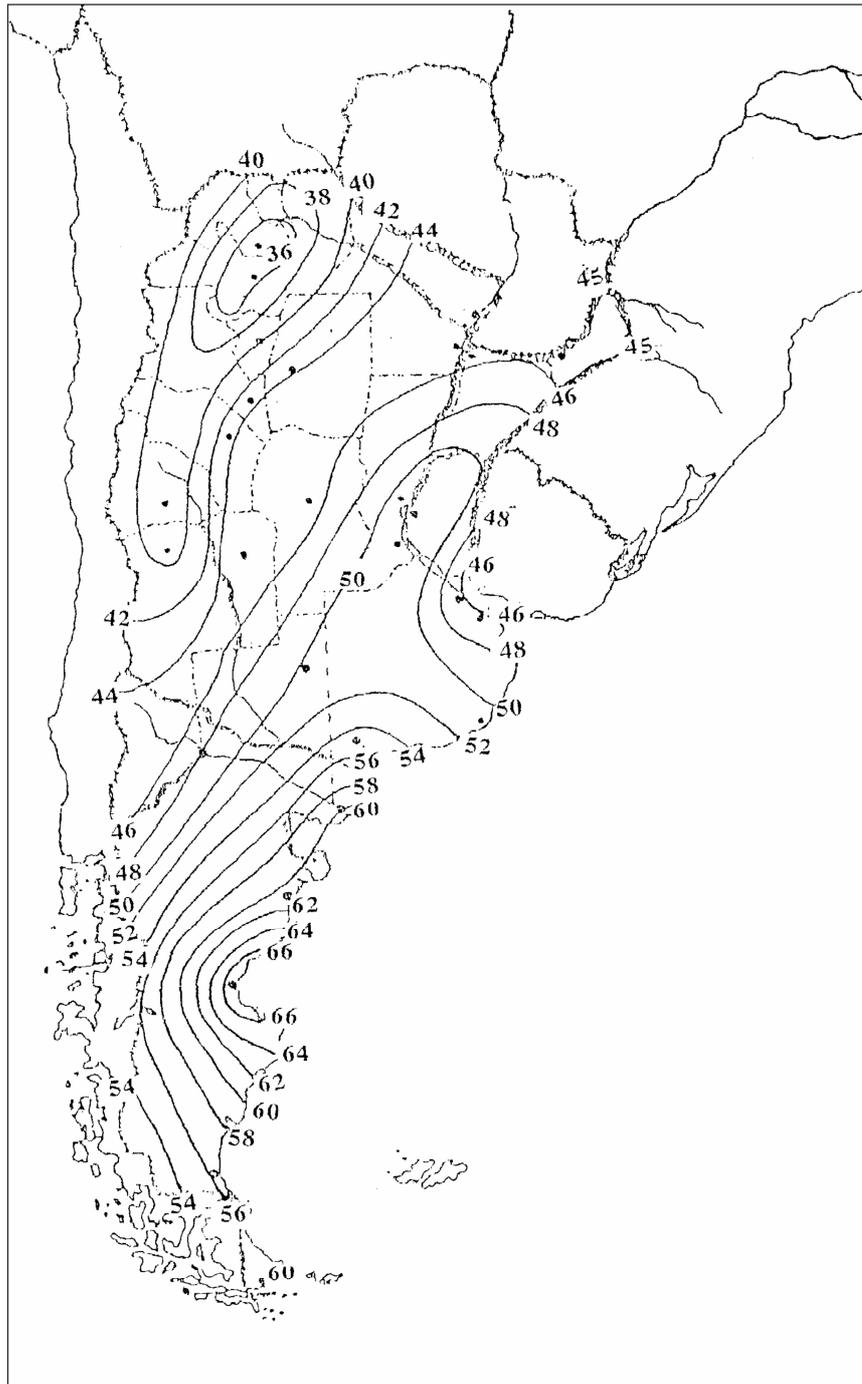


Fig. 4.2.1.1 – Mapa de la Argentina Con las Velocidades Básicas de sus Vientos.

**Aclaraciones:**

- 1- Los valores se refieren a velocidad de ráfaga de 3 segundos en m/s a 10 m sobre el terreno, y están asociadas con una probabilidad anual de 0.02.
- 2- Es aplicable la interpolación lineal entre contornos de velocidades del viento.
- 3- Islas y áreas costeras fuera del último contorno deben usar este último contorno de velocidad del viento del área costera.
- 4- Los terrenos montañosos, quebradas, promontorios marinos y regiones especiales de viento se deben examinar para condiciones inusuales de viento.



Como nuestro anemómetro será empleado para realizar ensayos en un túnel de viento que, como velocidad máxima, alcanza los 25 m/s. estamos en condiciones de afirmar que la velocidad de diseño de nuestro anemómetro será de 25 m/s lo cual representaría la mitad de la velocidad máxima según lo expresado en el Reglamento CIRSOC 102.

#### **4.2.2 Diseño Estructural y Mecánico**

Persiguiendo, en gran medida, las recomendaciones que se dan en el texto introductorio se procede a realizar el diseño del Instrumento de la siguiente manera:

- Selección de los materiales.
- Selección de Rodamiento.
- Diseño de la Estructura y copas del Anemómetro.

##### **4.2.2.1 Selección de los Materiales**

Considerando que los materiales deben ser livianos y resistentes, como para soportar una corriente de aire de 25 m/s. Se pre seleccionaron los siguientes materiales:

###### 1- Opción N° 1 (SAE 1100):

- i. Resistencia a la Corrosión:  
Ambientes Rurales: Muy bueno.  
Ambientes Industriales: Bueno.  
Ambientes Marítimos: Bueno.  
Contacto Directo con Agua Salada: Bueno.
- ii. Aptitudes:  
Trabajo en Frio al Estado Recocido: Excelente.  
Maquinabilidad: Bueno.  
Peso específico: 2.71.
- iii. Designaciones Equivalentes:  
AFNOR: A4  
DIN 1712 (AL 99%)

###### 2- Opción N° 2 (SAE 5052):

- i. Resistencia a la Corrosión:  
Ambientes Rurales: Excelente.  
Ambientes Industriales: Excelente.  
Ambientes Marítimos: Muy Bueno.  
Contacto Directo con Agua Salada: Bueno.
- ii. Aptitud:  
En el trabajo en Frio al Estado Recocido: Excelente.  
Maquinabilidad: Bueno.



Peso específico: 2.68.

iii. Designaciones Equivalentes:

AFNOR: AG2.

DIN: AlMg2.

3- Opción N° 3 (SAE 2024):

i. Resistencia a la Corrosión:

Ambientes Rurales: Muy bueno.

Ambientes Industriales: Bueno.

Ambientes Marítimos: Regular.

Contacto Directo con Agua Salada: No se Recomienda.

ii. Aptitudes:

Trabajo en Frio al Estado Recocido: Bueno.

Maquinabilidad: Bueno.

Peso específico: 2.77.

iii. Designaciones Equivalentes:

AFNOR: A-U4G1

DIN: 1725 (AlCuMg2)

De estas tres opciones que encontramos, elegimos la primera de ellas (SAE 1100). Esto es así, dado que el material resulta económico y posee muy buenas características. Con este se fabricó el Cuerpo, Eje de soporte de Compas, Base Superior de Soporte y la Base Inferior de Soporte.

Las copas del anemómetro, se realizaron con ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno). Este material posee una elevada resistencia, bajo peso y nos brinda la opción de generar la pieza mediante el uso de una impresora 3D.

#### **4.2.2.2 Selección del Rodamiento**

Para poder lograr el giro de la base superior de soporte respecto de la base inferior de soporte (ver planos), se utilizó un rodamiento. Es importante aclarar que, tratándose de un anemómetro que será utilizado en ensayos de túnel de viento (Anemómetro de Prueba) se optó por seleccionar un rodamiento en lugar de un buje (cojinete) debido a que su costo resulta mucho menor (Considerando las horas de mecanizado y durabilidad del mismo).

Si realizamos una comparación entre un rodamiento de bolas con un buje, se puede afirmar que:

- 1- El rozamiento de arranque o inicial para un rodamiento es mucho menor que en el caso del buje (aproximadamente 0.02 para el rodamiento y 0.12 para el buje).
- 2- La lubricación resulta ser más sencilla y de un menor consumo de lubricante para el caso de rodamientos de bola.

- 3- Se genera un menor desarrollo de calor sobre el rodamiento, a igualdad de carga que en un buje.
- 4- Se producirá una supresión de la influencia del material del que está hecho el árbol (para el caso de emplear un rodamiento).
- 5- En el caso de los rodamientos se tiene una amplia normalización de las dimensiones, de la calidad, de la carga admisible y de la duración, junto con la esmerada construcción en fábricas especializadas y las ventajas que así resultan en lo referido a su empleo y a la adquisición de repuestos (post venta).

Para la selección de dicho rodamiento, considerando que el mismo debía ser colocado frente a la corriente de aire generada por un túnel de viento, necesitaríamos conocer algunas de sus dimensiones. Para esto, como primer paso debió calcular la zona efectiva de trabajo del túnel de viento.

### 4.2.3 Diseño de la Estructura y de la Copa del Anemómetro

#### 4.2.3.1 Zona de trabajo en Cámara de Ensayos

Como puntapié inicial, se consideraron las dimensiones máximas que el instrumento podía tener, es decir, se diseñó el mismo adaptándolo a la capacidad de ensayo con que contamos en el laboratorio de aeronáutica de la Facultad de Ciencias Exactas de físicas y Naturales (UNC). Para ello fue necesario determinar la zona efectiva de trabajo de la cámara de ensayos del túnel de viento N° 1 de dicho laboratorio<sup>28</sup>.

El desarrollo y los resultados del ensayo realizado sobre el túnel de viento, son expuestos en el Anexo V. A continuación se presentan dos de las principales graficas de dicho informe Tecnico.

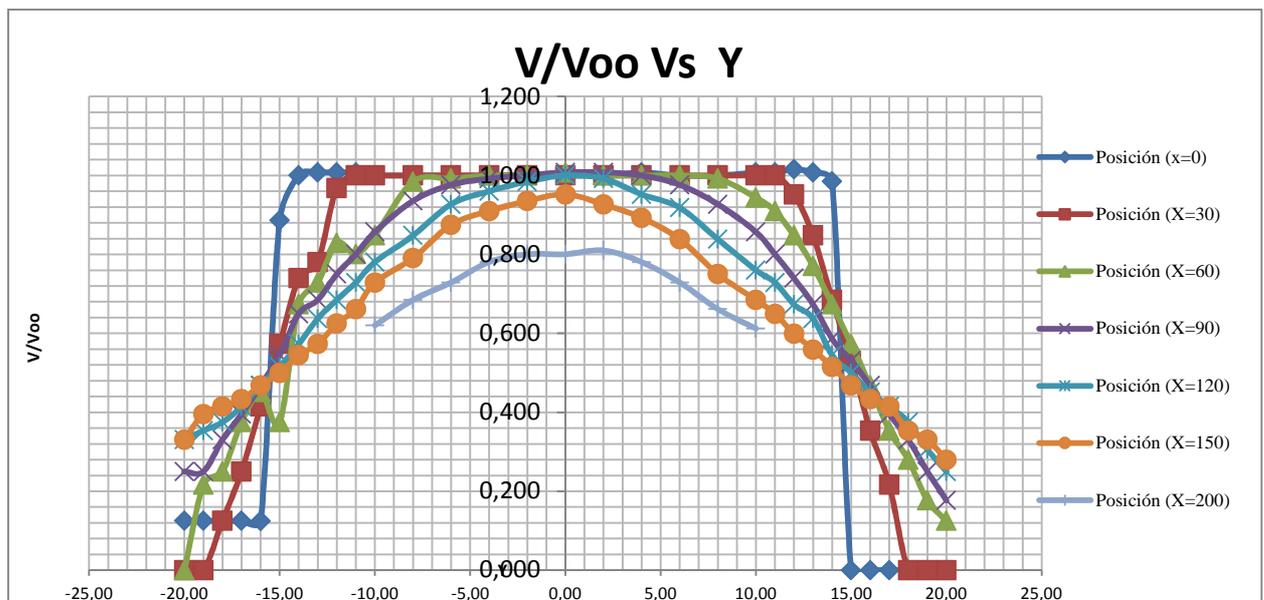


Fig. 4.2.3.1.1 - Agrupación de todos los puntos relevados

<sup>28</sup> Informe Técnico N° 6 “Determinación de la Zona de Trabajo en la Cámara de Ensayos de un Túnel de Viento de Cámara Abierta”. Este informe fue realizado como practico de laboratorio (N° 10) para la Materia Aeronáutica General; el mismo será anexado en el Cd-Room.

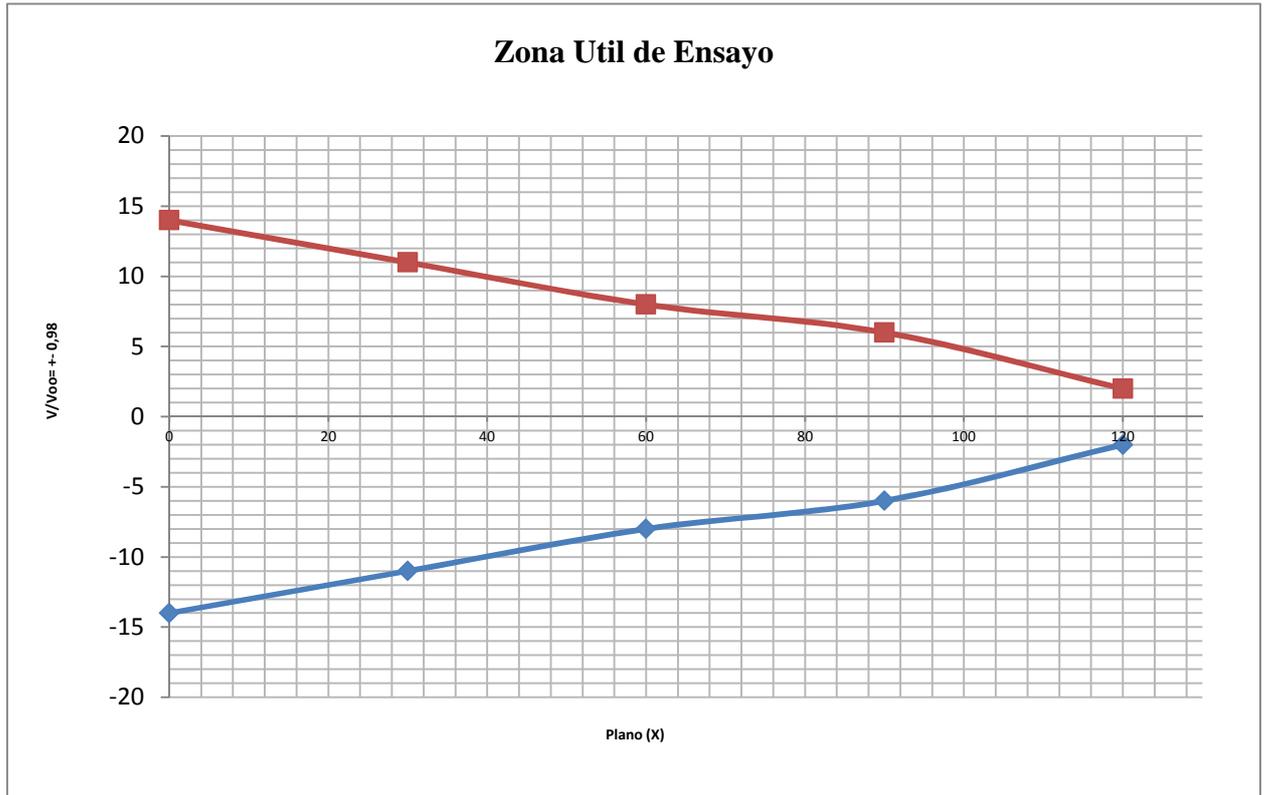


Fig. 4.2.3.1.2 - Representación de la disminución del área efectiva con la distancia

De las graficas presentadas se pudo concluir que la distancia, desde el centro del anemómetro hasta la copa del anemómetro, sería de unos 100 mm. Con esto y considerando que la velocidad del viento a que debía ser sometido nuestro instrumento, era de 25 m/s. Por tanto, se calculó lo siguiente:

$$\phi_{de\ toma\ del\ viento} = 200\ (Aprox) \quad R = 100\ mm = 0.1\ m \quad Ec.\ 4.2.3.1.1$$

$$V_{max} = 25\ \frac{m}{s}\ (velocidad\ maxima) \quad Ec.\ 4.2.3.1.2$$

Con estos datos y considerando un rodamiento radial de bolas con una dimensión aproximada de:

$$d = 10\ mm \quad D = 30\ mm$$

Se calculó las RPM máximas que este podrá soportar:

$$\eta_{adm} = \frac{650000}{0.5*(d+D)+7} = \frac{650000}{0.5*(10+30)+7} = 24074 \quad Ec.\ 4.2.3.1.3$$

Posteriormente, se realizó el cálculo de las RPM máximas que alcanzaría nuestro dispositivo:

$$V_{tg} = w * R \quad Ec.\ 4.2.3.1.4$$

$$1\ RPM = 1\ \frac{r}{min} = \frac{2*\pi}{60} \left[ \frac{rad}{s} \right] = \frac{\pi}{30} \left[ \frac{rad}{s} \right] = 0.1047197551 \left[ \frac{rad}{s} \right] \quad Ec.\ 4.2.3.1.5$$

$$V_{tg} = (24074 * 0.1047) * 0.1\ m = 252.05478\ \frac{m}{s} \quad Ec.\ 4.2.3.1.6$$

252.054 m/s >>>> 25 m/s

Con esto puede verse que las revoluciones se encuentran dentro de las toleradas por el rodamiento de cojinetes rígidos (DIN 625).

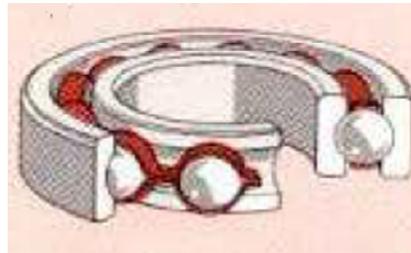


Fig. 4.2.3.1.3 – Rodamiento de bolas

Finalmente, se seleccionó un rodamiento rígido de bolas con un diámetro interno de 10 mm y diámetro externo de 30 mm. Es importante aclarar que dentro del cálculo no se consideraron las cargas externas que se darían sobre el rodamiento, dado que se trata de un elemento de bajo peso y además se consideró que, sometido a la corriente de aire, no se presentarían cargas de importancia sobre el rodamiento.

#### **4.2.3.2 Diseño de la Estructura y Copas del Anemómetro**

El diseño se realizó considerando los aspectos citados con anterioridad además de la premisa propia de brindarle al instrumento la capacidad de soportar un excesivo manipuleo, como la posibilidad de realizarle reparaciones al mismo (con un bajo costo).

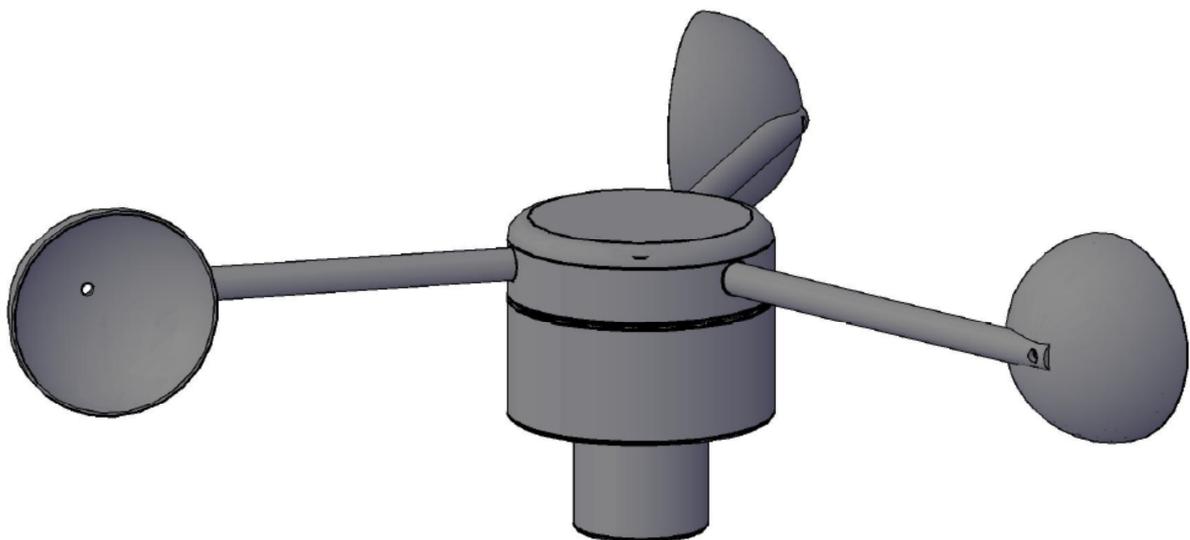


Fig. 4.2.3.2.1 – Anemómetro

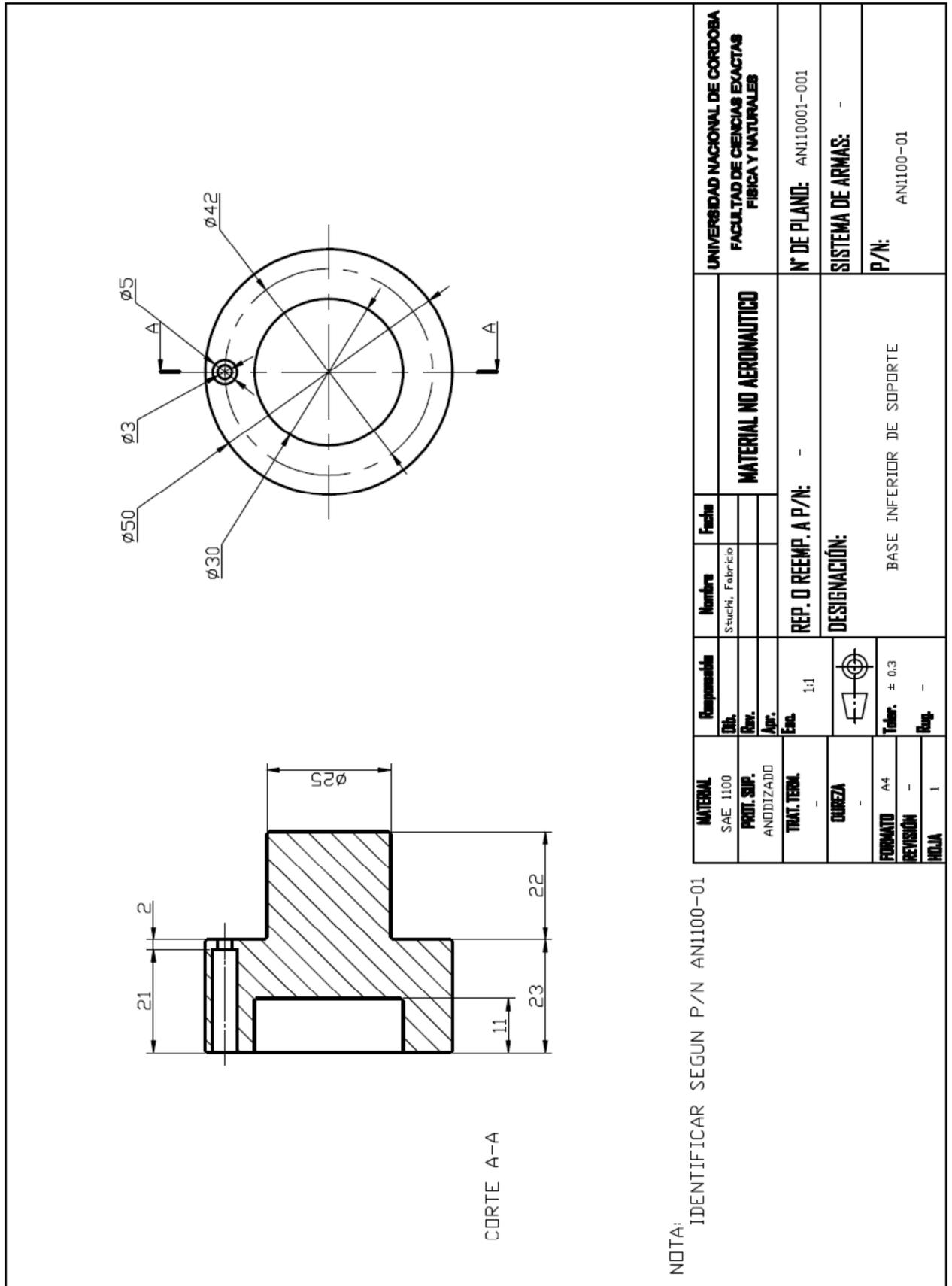


Fig. 4.2.3.2.2 - Base inferior de Soporte

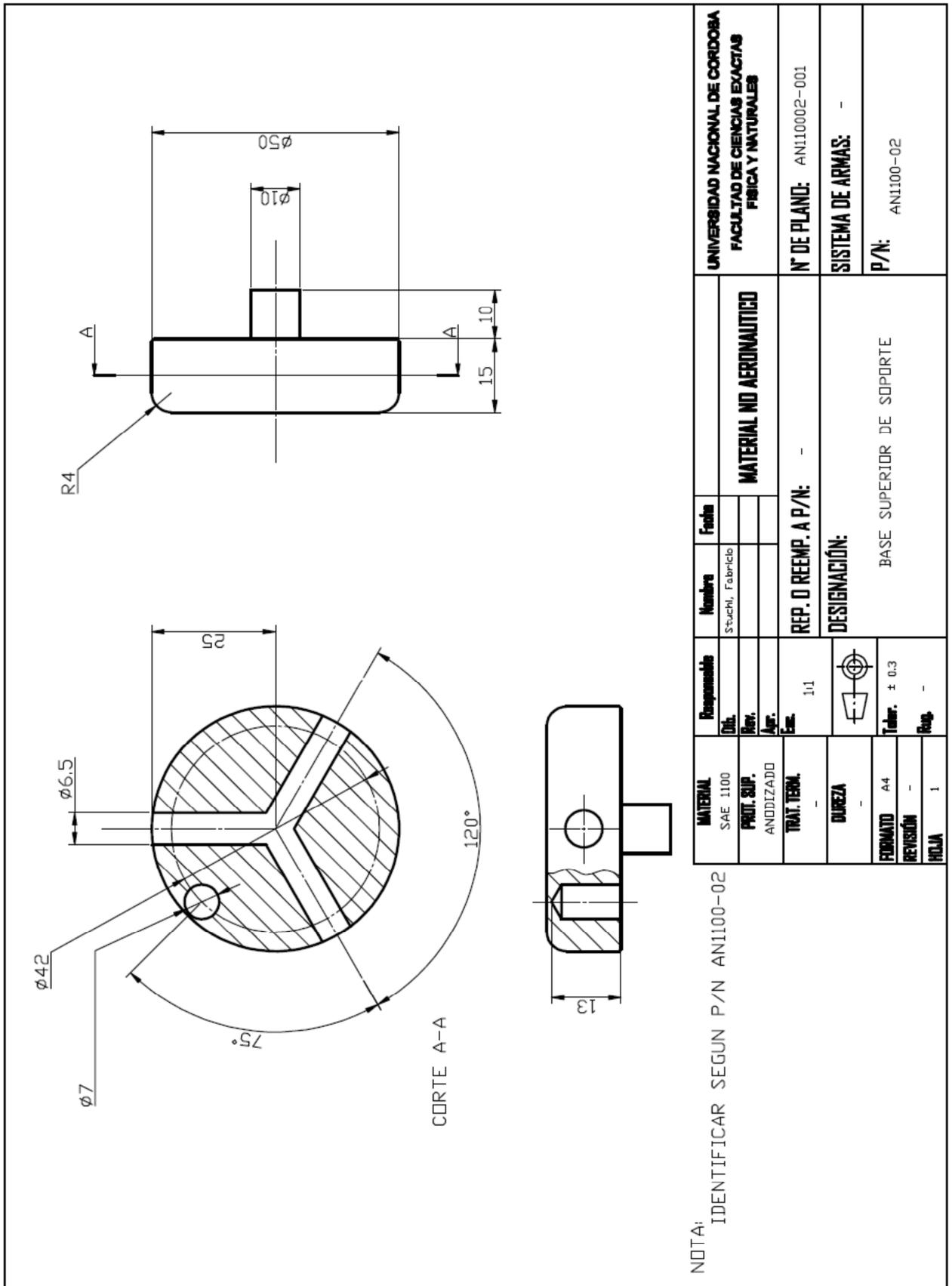


Fig. 4.2.3.2.3 - Base Superior de Soporte



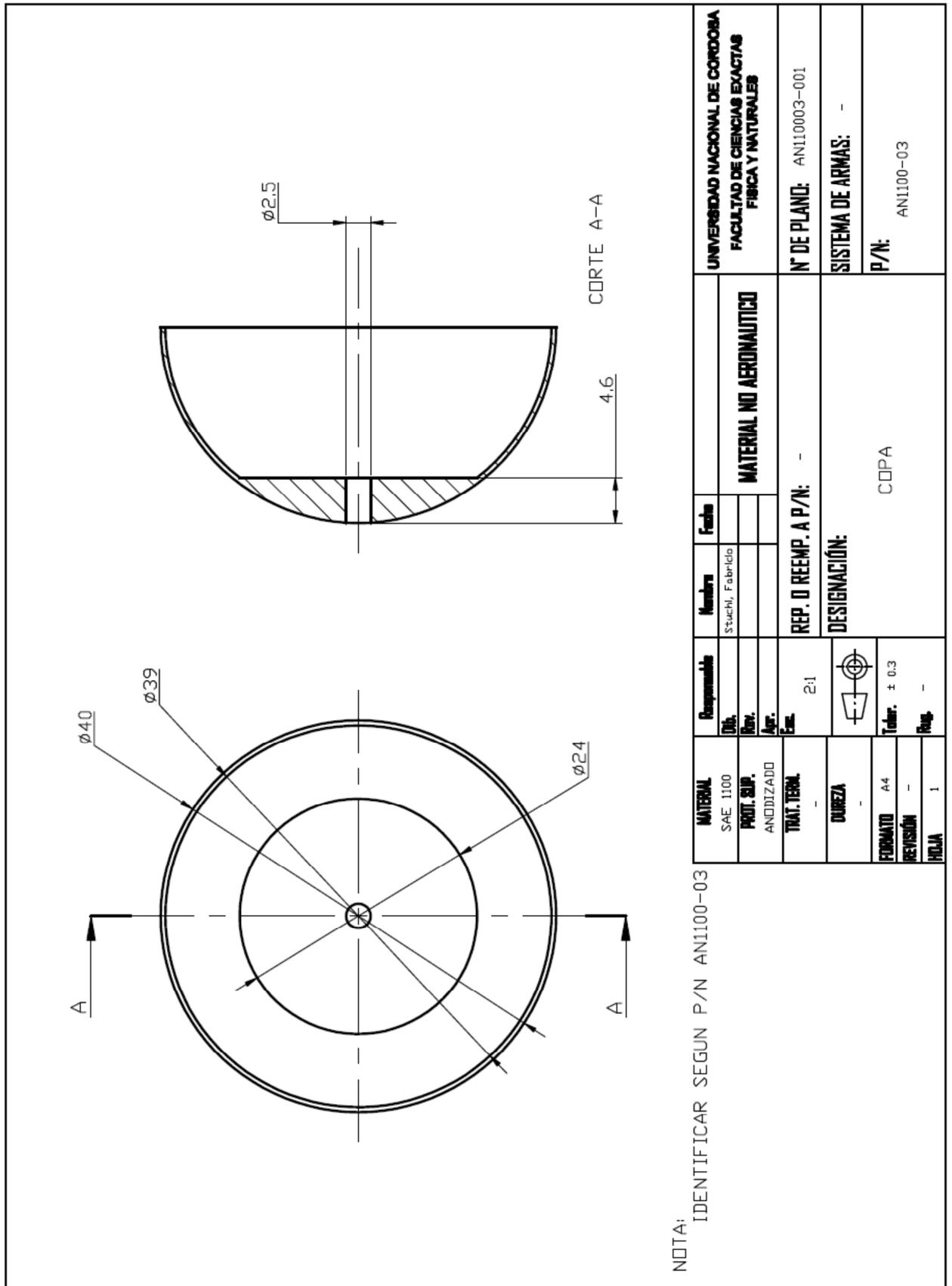


Fig. 4.2.3.2.5 – Copa

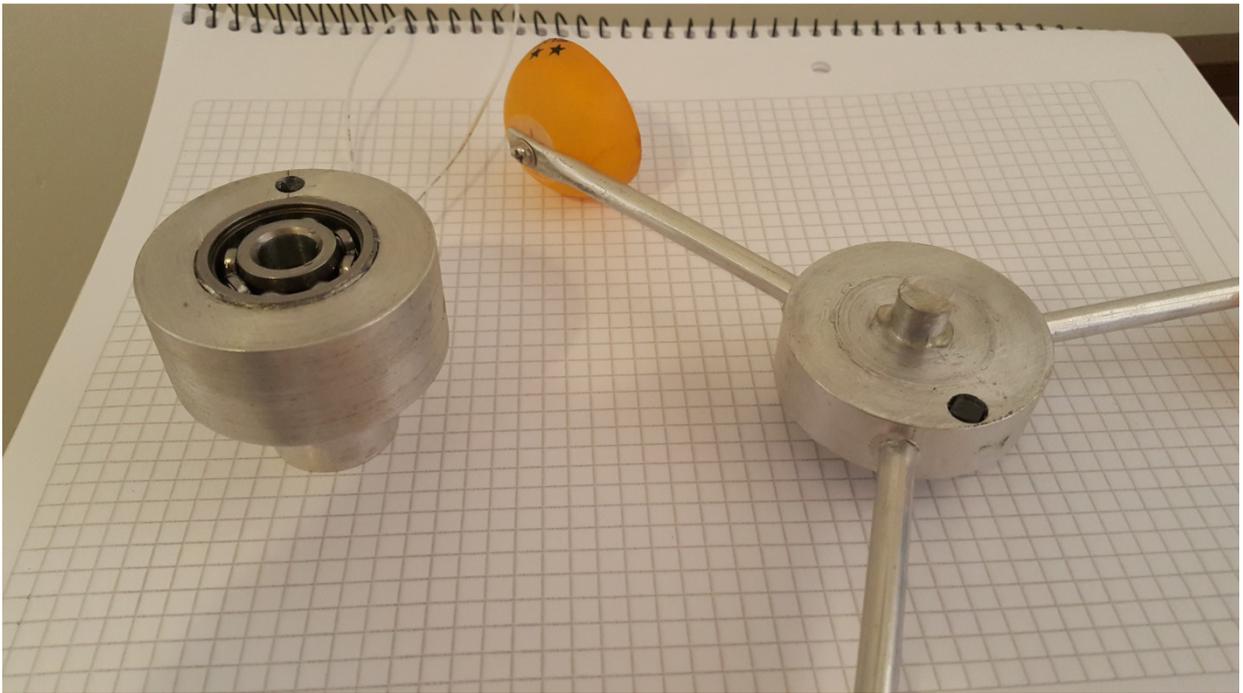


Fig. 4.2.3.2.6 – Anemómetro

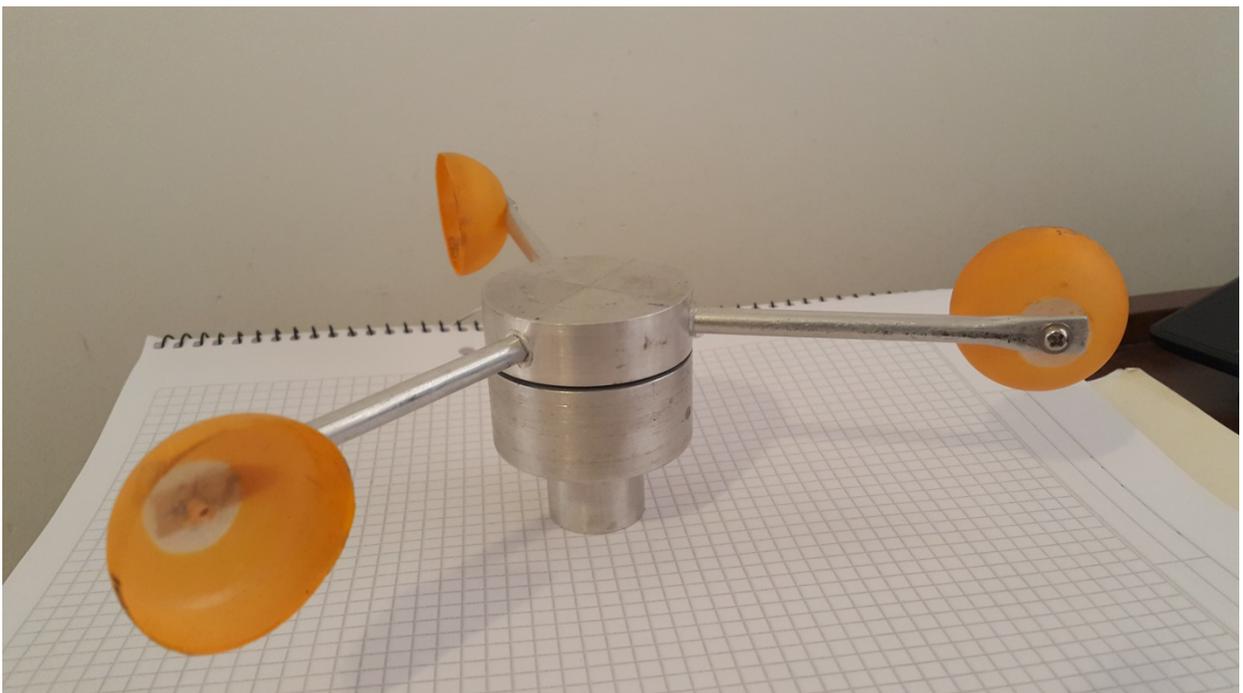


Fig. 4.2.3.2.7 – Anemómetro Terminado

#### 4.2.4 Selección de Hardware a Emplear

Para poder relevar la velocidad del viento es necesario contabilizar la cantidad de revoluciones por minuto con que gira la “Base Superior del Soporte” respecto de la base inferior del mismo. Para lograr esto, se hizo uso de un sensor magnético conocido (Reed Switch) modelo ORD213, que no es más que un interruptor magnético (normalmente Abierto) que se cierra al pasar un imán por su posición.

#### 4.2.4.1 Reed Switch (ORD213)

Los interruptores de láminas consisten en dos o tres hojas ferromagnéticas (o cañas) selladas herméticamente dentro de una envoltura de vidrio con gas inerte en su interior. La construcción asegura la protección del ambiente exterior. Hay tres tipos disponibles:

- Forma A (normalmente abierto).
- Forma B (normalmente cerrado).
- Forma C (conmutación).

En nuestro caso se utilizó un Reed Switch del tipo A y modelo ORD213, como el de la siguiente figura.

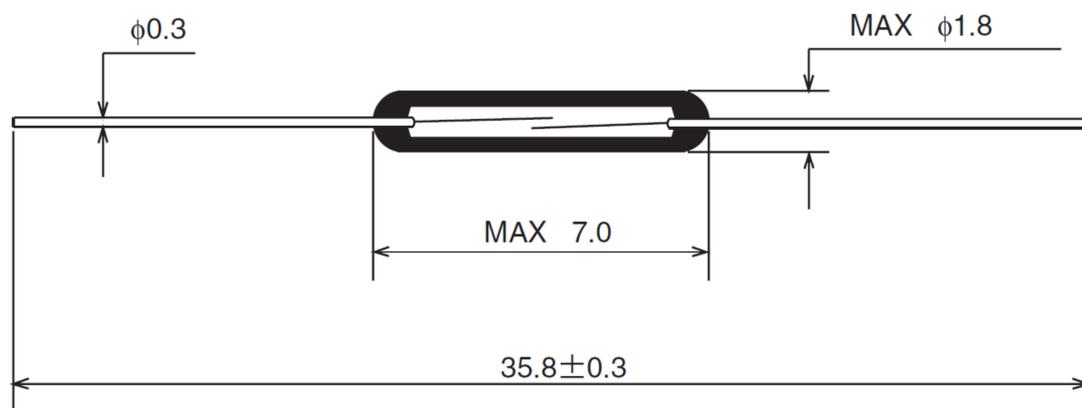


Fig. 4.2.4.1 – Reed Switch ORD213

Los interruptores de láminas son accionados (cerrados o abiertos) por un campo magnético, que en nuestro caso es generado por un imán. Al cesar la influencia del campo magnético el interruptor de láminas vuelve a retornar a su posición normal (abierto o cerrado).

##### 4.2.4.1.1 Características:

- 1- Posee una rápida respuesta.
- 2- Los interruptores de láminas son adecuados para aplicaciones en donde se trabaja con radio frecuencias.
- 3- Este tipo de interruptor posee una elevada resistencia a la corrosión y al desgaste, asegurando una larga vida en la operación de conmutación de los contactos.

#### 4.2.4.1.2 Parámetros de Operación de un Reed Switch

Parámetro	Valor Nominal	Unidad
Tiempo de operación	0.3 max	ms
Tiempo de Rebote	0.3 max	ms
Tiempo de liberación	0.05 max	ms
Frecuencia de resonancia	11000 ± 2000	Hz
Frecuencia de operación Máxima	500	Hz

Tabla 4.2.4.1.2 – Parámetros Operacionales de un Reed Switch

La disposición del sensor y de su campo magnético actuante fue la siguiente:

- El Reed Switch se colocó en la “Base Inferior de Soporte” dentro de la perforación de 5 mm.
- El imán se insertó en la “Base Superior de Soporte” dentro de la perforación de 7 mm.

La posición de los elementos se justifica por lo siguiente:

- Un imán que se traslada de manera perpendicular a un interruptor de láminas, se desactiva de una sola vez, como puede apreciarse en la siguiente imagen.

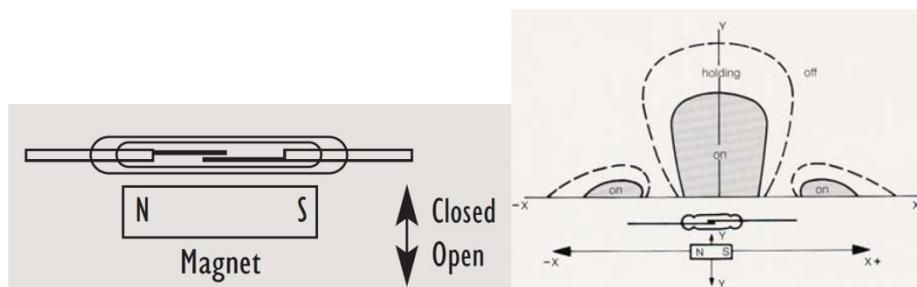


Fig. 4.2.4.1.2.1 – Movimiento Transversal de un imán Respecto al Sensor

- Un imán que se mueve paralelo a un interruptor magnético puede verse activado de una a tres veces.

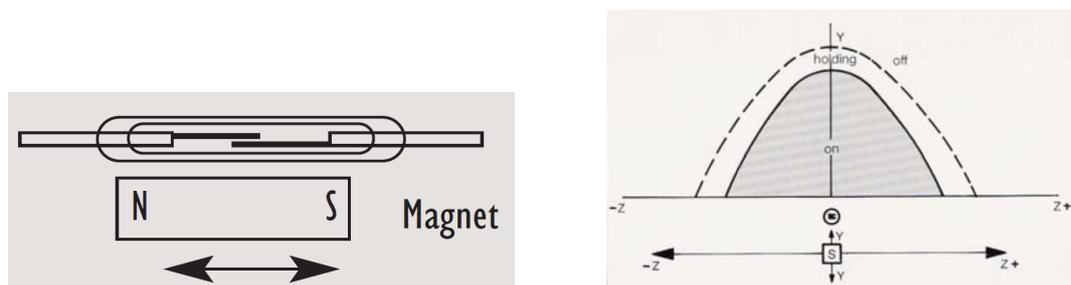


Fig. 4.2.4.1.2.2 – Movimiento Longitudinal de un imán Respecto al Sensor.

- Un imán que gira hacia y lejos de un interruptor magnético de láminas se verá accionado solo una vez.

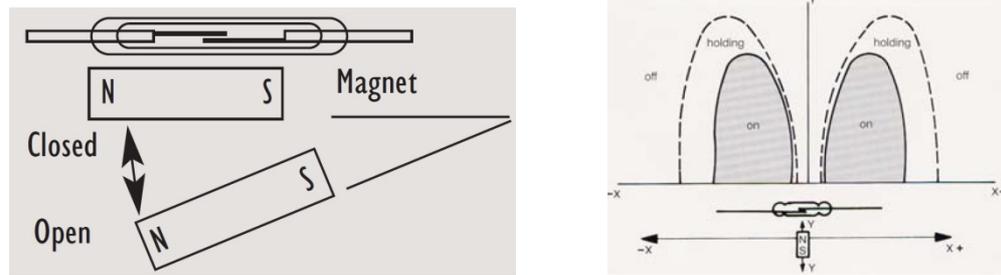


Fig. 4.2.4.1.2.3 – Movimiento Cruzado de un Imán Respecto al Sensor

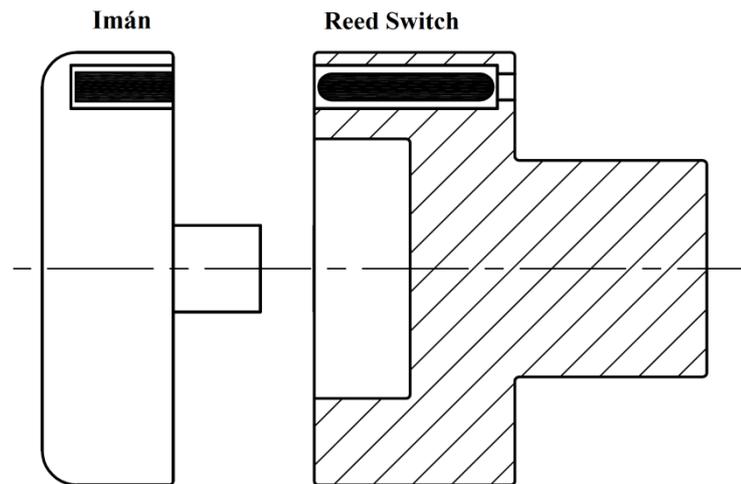


Fig. 4.2.4.1.2.4 – Forma de Posicionamiento del Imán Respecto al Reed Switch

#### 4.2.4.2 Conexión

Por lo expresado anteriormente, es que el imán se colocó en la misma dirección que el sensor magnético, para evitar que se active un número mayor de veces por cada revolución dada por el anemómetro.

Debemos agregar, además, que este tipo de diseño fue seleccionado por su fácil instalación y puesta a punto. La conexión del sensor magnético, Reed Switch, con la placa Arduino se realizó de la siguiente manera:

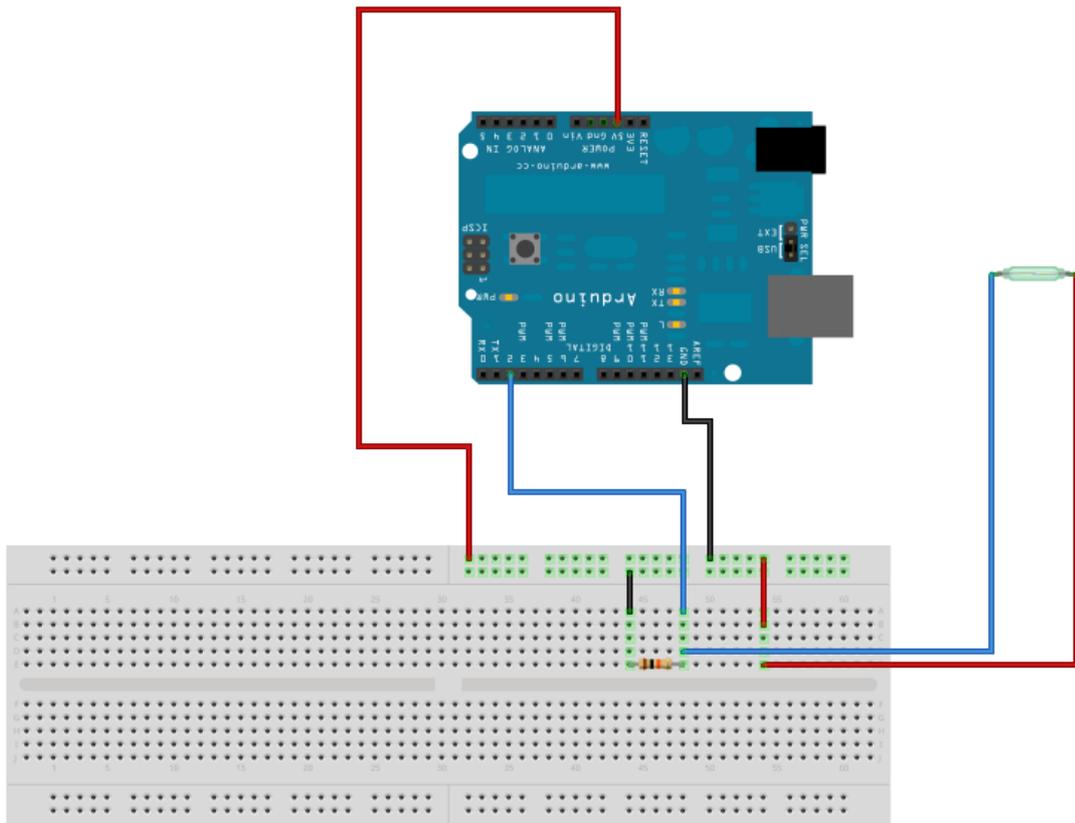


Fig. 4.2.4.2 – Esquema que conexión del Sensor Magnético a una Placa Arduino

#### 4.2.5 Desarrollo del Software

El software para relevar los datos emitidos por el sensor magnético se realizó siguiendo una metodología de trabajo similar a la que se adoptó para el resto de los elementos que componen este equipo.

El software se planteó buscando las siguientes premisas:

- 1- Determinar el número de revoluciones por minuto.
- 2- Determinar la velocidad del viento en m/s y luego en Km/h.

Para el cálculo de la velocidad del viento se tiene presente que el radio, desde el centro de la base de soporte superior al centro de la copa, es de 100 mm = 0.1 m. Con esto y recordando que:

$$V_{tg} = w * r \quad \text{Ec. 4.2.5.1}$$

$$1 \text{ RPM} = 1 \frac{r}{\text{min}} = \frac{2*\pi}{60} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] = \frac{\pi}{30} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] = 0.1047197551 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad \text{Ec. 4.2.5.2}$$

$$V_{tg} = (0.1047 * \text{RPM}) * r \quad \text{Ec. 4.2.5.3}$$

$$V_{tg} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = (0.1047 * \text{RPM}) * 0.1\text{m} \quad V_{tg} \left[ \frac{\text{Km}}{\text{h}} \right] = (0.1047 * \text{RPM}) * 0.1\text{m} * 3.6 \quad \text{Ec. 4.2.5.4}$$



## Software

```
const int Reedswitch=2;
int vueltas = 0;
int estadoReedswitch=0;
int ultimoEstadoReedswitch=0;
long tiempo_anterior = 0;
long tiempo_una_rev = 0;
unsigned long tiempo_ahora;
long rpm;
float Velms=0;
float Velkmh=0;

void setup()
{
  pinMode(Reedswitch, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

Void loop()
{
  estadoReedswitch = digitalRead(Reedswitch); // Lee el estado del interruptor magnético
  if (estadoReedswitch != ultimoEstadoReedswitch) // Compara el estado del Reedswitch con el estado
  previo
  {
    if (estadoReedswitch == HIGH) // Si el estado ha cambiado incrementa el contador
    {
      vueltas++;
      tiempo_ahora =millis();
      tiempo_una_rev = tiempo_ahora - tiempo_anterior;
      rpm = 60000 / tiempo_una_rev;          // 1 minuto = 60000 ms
      Velms= (0.1047*rpm)*0.10;
      Velkmh=Velms*3.6;
    }
    {
      Serial.print("vuelta: ");
      Serial.print(vueltas);
      Serial.print(" Tiempo por revolución: ");
    }
  }
}
```



```
Serial.print(tiempo_una_rev);  
Serial.print(" Revoluciones por minuto: ");  
Serial.print(rpm);  
Serial.print(" Vel m/s: ");  
Serial.print(Velms);  
Serial.print(" Vel km/h: ");  
Serial.print(Velkmh);  
Serial.println();  
}  
}  
else {  
    tiempo_anterior = tiempo_ahora; // Si el estado actual es LOW pasa de ON a OFF  
}  
}  
ultimoEstadoReedswitch = estadoReedswitch; // Guarda el estado actual como último estado  
}
```



### **4.3 Ensayo**

#### **4.3.1 Ensayo de Prueba del Anemómetro de Cazoletas en el Túnel de Viento N° 1 de la FCEFyN**

##### **4.3.1.1 Resumen**

En este ensayo de laboratorio se relevó los valores de velocidad del Viento, generados por el Túnel de viento N° 1 (Facultad de Ciencias Exactas de Física y Naturales). Los valores adquiridos fueron tomados con:

- Sonda de Presión Total.
- Anemómetro.

Luego de esto se especificó el grado de similitud entre ambos sensores de presión.

##### **4.3.1.2 Objetivo del Ensayo**

Determinar, si los valores arrojados por el Anemómetro coinciden, o se encuentran contenidos dentro de los valores que surgen de las mediciones realizadas con una sonda de presión total.

##### **4.3.1.3 Desarrollo**

El presente ensayo se realizó según los siguientes pasos:

1. Primeramente se realizó la toma de presión ambiente y temperatura.
2. Debido a que la sonda de presión total ocupa el espacio del anemómetro en la región de salida del túnel de viento, se realizó un relevamiento de las velocidades que se adquirirían a medida que se aumentaba la frecuencia del motor del túnel.<sup>29</sup>
3. Se colocó el Anemómetro, en las cercanías de la salida de aire del túnel de viento N° 1.
4. Se realizó la conexión del anemómetro a la placa de adquisición de datos, cuidando de no interferir con el paso del viento para no introducir errores.
5. Se puso en funcionamiento el túnel de viento.
6. Luego de esto, se fueron relevando las velocidades arrojadas por el anemómetro y la frecuencia a la cual se estaba haciendo girar el motor eléctrico del túnel de viento.
7. Se detuvo el túnel de viento
8. A partir de los datos relevados se confeccionaron las siguientes tablas. Además, con los datos obtenidos se controló que el grado de dispersión se encontrara dentro de valores aceptables.

---

<sup>29</sup> Informe Técnico N° 1 – Practico de Laboratorio N° 3 – “Determinación de la Velocidad Vena Fluida” – Este informe fue realizado como practico de laboratorio para la Materia Aeronáutica General; el mismo será anexado en el Cd-Room.



Frecuencia (Hz)	Vel. Med.Tubo Pitot	N° de Reynold Med	Velocidad Anemómetro (m/s)				D Anemómetro
			Toma N° 1	Toma N° 2	Toma N° 3	Promedio (m/s)	
0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	-
5	3,59	234504,00	1,52	1,40	1,48	1,47	8,18
10	5,29	345201,79	3,00	3,05	3,10	3,05	3,28
15	7,49	489047,74	5,00	5,40	5,20	5,20	7,69
20	9,93	648545,92	8,00	8,10	8,15	8,08	1,86
25	12,24	799115,49	11,90	11,70	11,70	11,77	1,70
30	14,57	951291,47	14,00	14,10	14,00	14,03	0,71
35	17,03	1111658,01	16,54	16,33	16,62	16,50	1,76
40	19,44	1268904,77	18,80	18,72	18,92	18,81	1,06
45	21,69	1416050,24	21,00	20,90	21,10	21,00	0,95
50	24,02	1568273,17	23,00	22,90	22,85	22,92	0,65

Tabla 4.3.1.3 – Resultado de Ensayo

Puede apreciarse, en este breve ensayo, que el anemómetro alcanza valores aceptables luego de superar los 8 m/s (aproximadamente 28.8 Km/h) en velocidad del viento. Esto es bueno, considerando que se trata del primer ensayo realizado sobre el anemómetro sobre el túnel de viento N° de la FCEFN (UNC).

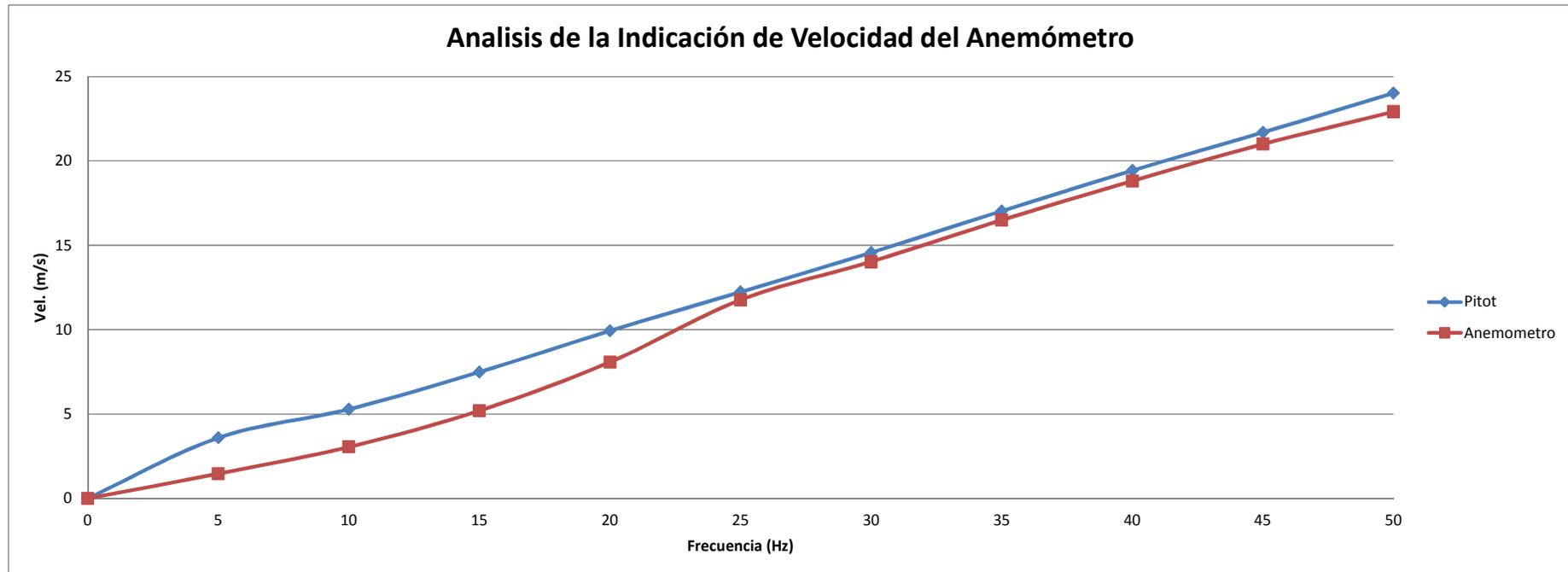


Fig. 4.3.1.3 – Velocidad Vs frecuencia (Tubo Pitot y Anemómetro)

La distorsión que se presenta, en una primera parte de la gráfica, entre los valores del tubo pitot y del anemómetro puede deberse a que la presencia del anemómetro distorsiona la forma del flujo de aire a la salida del túnel, desviando el flujo y posiblemente sea la causa de la reducción de velocidad.

Este tipo de distorsión, de ser leve, puede ser corregida sobre el software del elemento.



**Nota:**

El ensayo descrito anteriormente fue realizado en una sola oportunidad para constatar el funcionamiento del dispositivo. Con estos datos se generaron las tablas expuestas.

En la segunda tanda de ensayos, en donde se pretendía cuantificar el error del instrumento y proponer correcciones sobre las ecuaciones planteadas, sucedieron errores en la toma de valores que no permitieron seguir con los ensayos sobre el anemómetro.

La posible causa del error es la magnetización del rodamiento metálico empleado en la base del anemómetro. Se llegó a esta conclusión dado que:

**4.4 Conclusión**

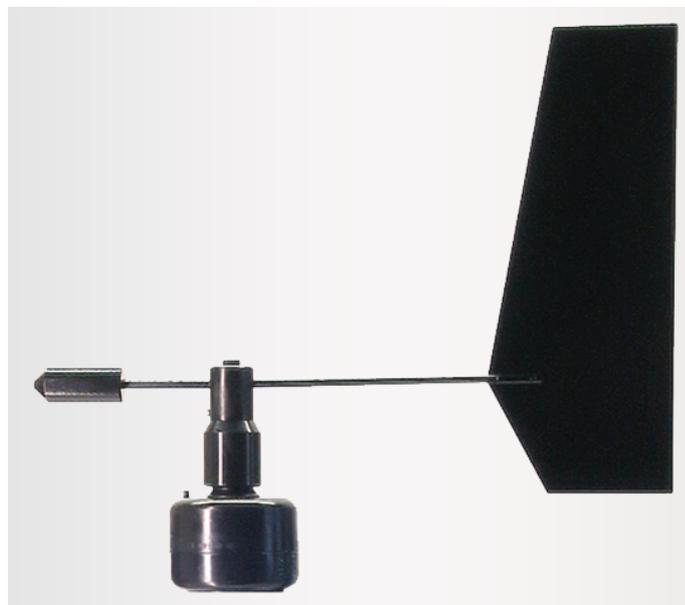
En este caso, el diseño que se desarrolló, cumple con todo lo necesario para ser probado y testado en el túnel de viento N°1 del Laboratorio de Aeronáutica de la Facultad de Ciencias Exactas, Física y Naturales (UNC).

En los ensayos efectuados sobre el mismo se presentaron diversas complicaciones, del tipo funcionales. Cuando se efectuó un primer ensayo, el comportamiento del dispositivo fue óptimo y los valores arrojados se encontraban contenidos dentro de un error aceptable (para ser la primera prueba – sin ajuste en la programación). Fuera de esto, en los ensayos venideros se presentó un salto en la velocidad (Variable), que fue atribuido a la magnetización del rodamiento. Esto último se supone que se dio debido a que el instrumento estuvo en reposo un largo periodo de tiempo.



# CAPITULO 5

## DIRECCIÓN DEL VIENTO





## **5.1 Dirección del Viento**

El viento es la variable de estado de movimiento del aire. En meteorología se estudia el viento como aire en movimiento tanto horizontal como verticalmente. Los movimientos verticales del aire caracterizan los fenómenos atmosféricos locales, como la formación de nubes de tormenta.

El viento es causado por las diferencias de temperatura existentes al producirse un desigual calentamiento de las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. Las masas de aire más caliente tienden a ascender, y su lugar es ocupado entonces por las masas de aire circundante, más frío y, por tanto, más denso. Se denomina propiamente "viento" a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal, reservándose la denominación de "corriente de convección" para los movimientos de aire en sentido vertical. La dirección del viento depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; se desplaza de los centros de alta presión (anticiclones) hacia los de baja presión (depresiones) y su fuerza es tanto mayor cuanto mayor es el gradiente de presiones. En su movimiento, el viento se ve alterado por diversos factores tales como el relieve y la aceleración de Coriolis.

En superficie, el viento viene definido por dos parámetros: la dirección en el plano horizontal y la velocidad.

### **5.1.1 Regiones de Baja Presión y Anticiclónicas**

El aire caliente de la zona ecuatorial se hace más ligero y se eleva. Al ascender, se dirige en altura hacia los polos. A medida que se desplaza hacia el polo sufre la acción de la fuerza de Coriolis, desviándose hacia su derecha en el hemisferio Norte y hacia su izquierda en el hemisferio Sur.

Cuando el aire se enfría cae, y una vez en la superficie de la tierra retorna al ecuador absorbido por las bajas presiones que se generan en la zona al ascender el aire caliente. En este trayecto se vuelve a desviar debido a la fuerza de Coriolis, de manera que al llegar a la zona subtropical es ya un viento del Noreste en el hemisferio Norte, y del sureste en el hemisferio Sur. Estos vientos son los denominados alisios.

En los polos ocurre lo contrario. El aire frío y pesado se desplaza desde la zona polar a ras de suelo en dirección al ecuador. La fuerza de Coriolis, lo desvía al Noreste en el hemisferio Norte, y al sureste en el hemisferio Sur. Al descender de latitud el aire se calienta y asciende, volviendo a la zona polar por arriba, absorbido por la depresión en altitud que genera el aire. Sobre el polo vuelve a enfriarse descendiendo y cerrando el ciclo.

El ciclo ecuatorial abarca desde el ecuador hasta los 30° de latitud en ambos hemisferios. El polar desde ambos polos hasta los 60°. En las latitudes templadas que quedan entre los 30 y los 60° de latitud se origina otro ciclo. El aire de la zona es más caliente que el polar y más frío que el subtropical. Por ello el aire de la zona tiene tendencia a trasladarse hacia el polo para llenar el vacío dejado por el aire ascendente en los 60 ° de latitud; al ser desviados de nuevo por la fuerza de Coriolis adquieren una marcada componente oeste en ambos hemisferios. Son los denominados vientos de los oestes cuyo predominio en la zona templada genera el denominado "cinturón de los oestes".

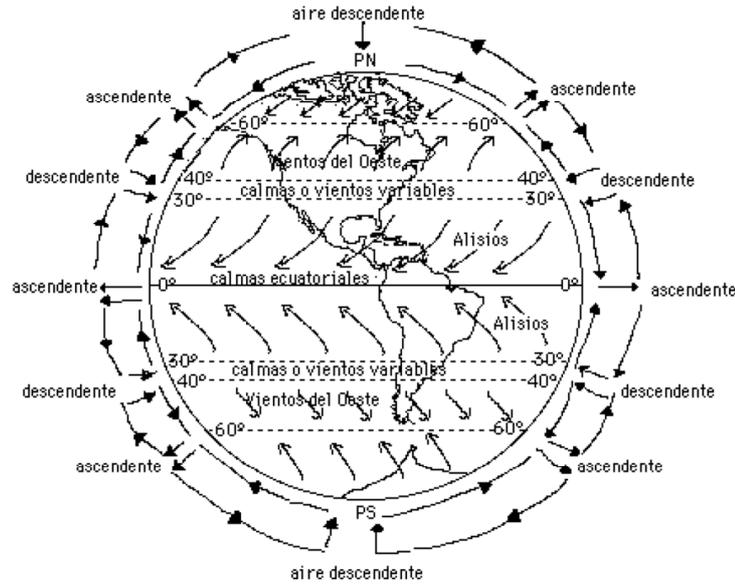


Fig. 5.1.1 – Regiones de Baja Presión y Anticiclónicas

### 5.1.2 El Efecto de la Fuerza de Coriolis

La denominada fuerza de Coriolis influye en todos los fenómenos de translación que se realizan sobre la superficie de la tierra. Debido a su rotación, se genera una fuerza que, en el hemisferio Sur, desvía hacia el Este toda partícula en movimiento de Norte a Sur y hacia el Oeste a las que lo hacen de Sur a Norte. Es decir, en el hemisferio Sur, la fuerza de Coriolis desvía hacia la izquierda los movimientos de las masas de aire y agua. En el hemisferio Norte se produce el efecto inverso: la desviación se produce hacia la derecha.



Fig. 5.1.2 – La Fuerza de Coriolis

### 5.1.2.1 Desviación por la Fuerza de Coriolis

La rotación terrestre genera la denominada fuerza de Coriolis que se produce de forma perpendicular a la dirección del movimiento. En el hemisferio sur, el aire procedente de los anticiclones es desviado hacia la izquierda, girando en el sentido contrario de las agujas del reloj. En las depresiones, el viento gira en sentido de las agujas del reloj. En el hemisferio norte se produce el efecto contrario, lo que explica que el viento de las borrascas y los anticiclones gire en sentido inverso.

Este efecto es la base de la denominada Ley de Buys-Ballot que enuncia que un observador que se coloque cara al viento en el hemisferio sur tendrá siempre las bajas presiones a su derecha y las altas presiones a su izquierda.

### 5.1.3 La Dirección del Viento

Viene definida por el punto del horizonte del observador desde el cual sopla. En la actualidad, se usa internacionalmente la rosa dividida en 360°. El cálculo se realiza tomando como origen el norte y contando los grados en el sentido de giro del reloj. De este modo, un viento del SE equivale a 135°; uno del S, a 180°; uno del NW, a 315°, etc.

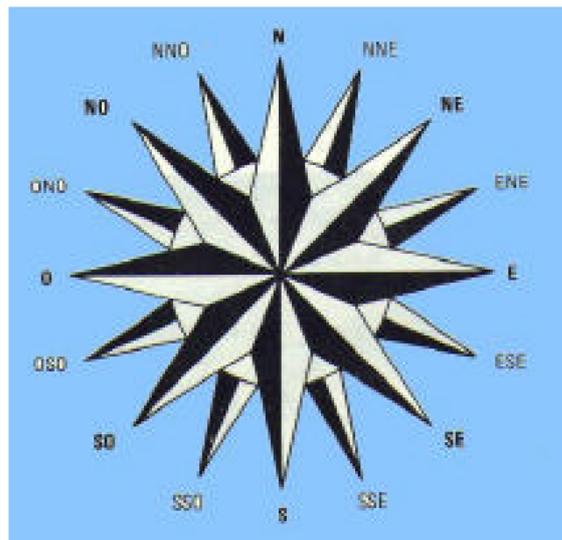


Fig. 5.1.3.1 – Roseta de Vientos

La dirección del viento, en un gráfico, se representa en grados de 0 a 360 como se muestra en la siguiente figura. En esta, 0 grados corresponde al Norte, 90 al Este, 180 al Sur, 270 al Oeste y 360 grados nuevamente al Norte. En la Fig. 5.1.3.2 se ha representado el viento con una dirección de 120 grados (aprox. del sureste), la punta de la flecha indica de donde viene el viento y las barbas como se verá a continuación la magnitud del viento, en este caso 15 nudos.

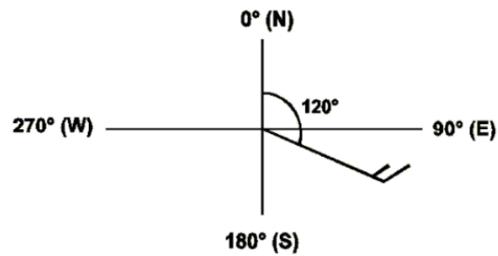


Fig. 5.1.3.2 - Representación de la Dirección del Viento en Gráficos

#### 5.1.4 Medición de la Dirección del Viento

El elemento empleado tradicionalmente para medir la dirección del viento es una veleta, que consiste en un dispositivo montado sobre un eje vertical y de giro libre, de tal modo que puede moverse cuando el viento cambia de dirección. Normalmente, el movimiento de la veleta está amortiguado para prevenir cambios demasiado rápidos de la dirección del viento.

Así mismo, puede obtenerse una medida de la dirección del viento resolviendo los registros de salida de dos anemómetros de hélice dispuestos ortogonalmente.

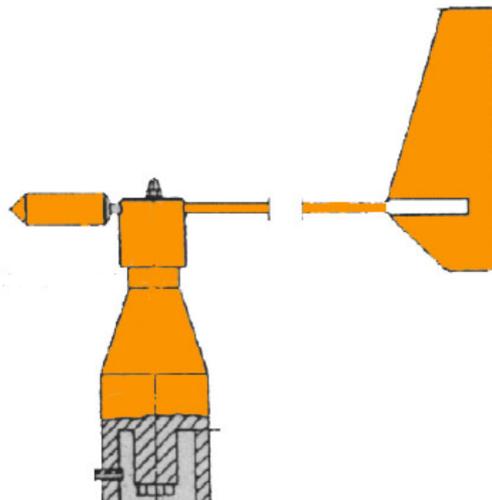


Fig. 5.1.4 – Veleta

### 5.2 Diseño

Teniendo presente todo lo expresado para el diseño del anemómetro, se procede con el desarrollo de la Veleta. El mismo fue diseñado con un fin experimental, para comprender aspectos básicos de su funcionamiento y así poder vislumbrar los distintos elementos, que le juegan a favor y en contra a su desempeño.

En este caso se diseñó una veleta, del tipo estándar, formada por una Base superior de Soporte, Base Inferior de Soporte, Punta y Cola.



El diseño de esta veleta para ensayos se realizó en 4 etapas:

- **Determinar las condiciones de trabajo.**
- **Diseño Estructural y Mecánico.**
  - o **Selección de Material.**
  - o **Selección de Rodamiento.**
  - o **Diseño de la Estructura.**
- **Selección del Hardware.**
- **Desarrollo de Software.**

### **5.2.1 Determinación de las Condiciones de Trabajo**

Con el fin de disminuir la extensión de este trabajo, se dirá que los dos primeros puntos siguen un lineamiento muy similar al expresado en el anemómetro.

Por tanto para las consideraciones de la zona de trabajo del elemento, se consideró que al ser un elemento a emplear en ensayos de laboratorio las dimensiones del mismo no deben exceder las del volumen de trabajo de la cámara de ensayos antes mencionada. Por tanto, las velocidades supuestas son las mismas que para el caso del anemómetro.

### **5.2.2 Diseño Estructural y Mecánico**

En términos de diseño estructural y mecánico se utilizó aluminio (SAE 1100) como material de fabricación, dado que es adecuado para la tarea que se le encomendó a la veleta. Es propicio aclarar, que este instrumento no está sujeto a la misma cantidad de revoluciones (máximas) que el anemómetro.

Por lo tanto, se supuso que las revoluciones máximas que soporta el instrumento (como caso extremo y de bajas probabilidades de ocurrencia) son las mismas consideradas para el anemómetro. Por esto, la selección del rodamiento a emplear deja pocos aspectos bajo análisis, dado que no se lo solicita en ningún momento de la misma forma que al anemómetro. Finalmente, el rodamiento que emplearemos será uno de bolas con un diámetro interno de 10mm y un diámetro externo de 30 mm

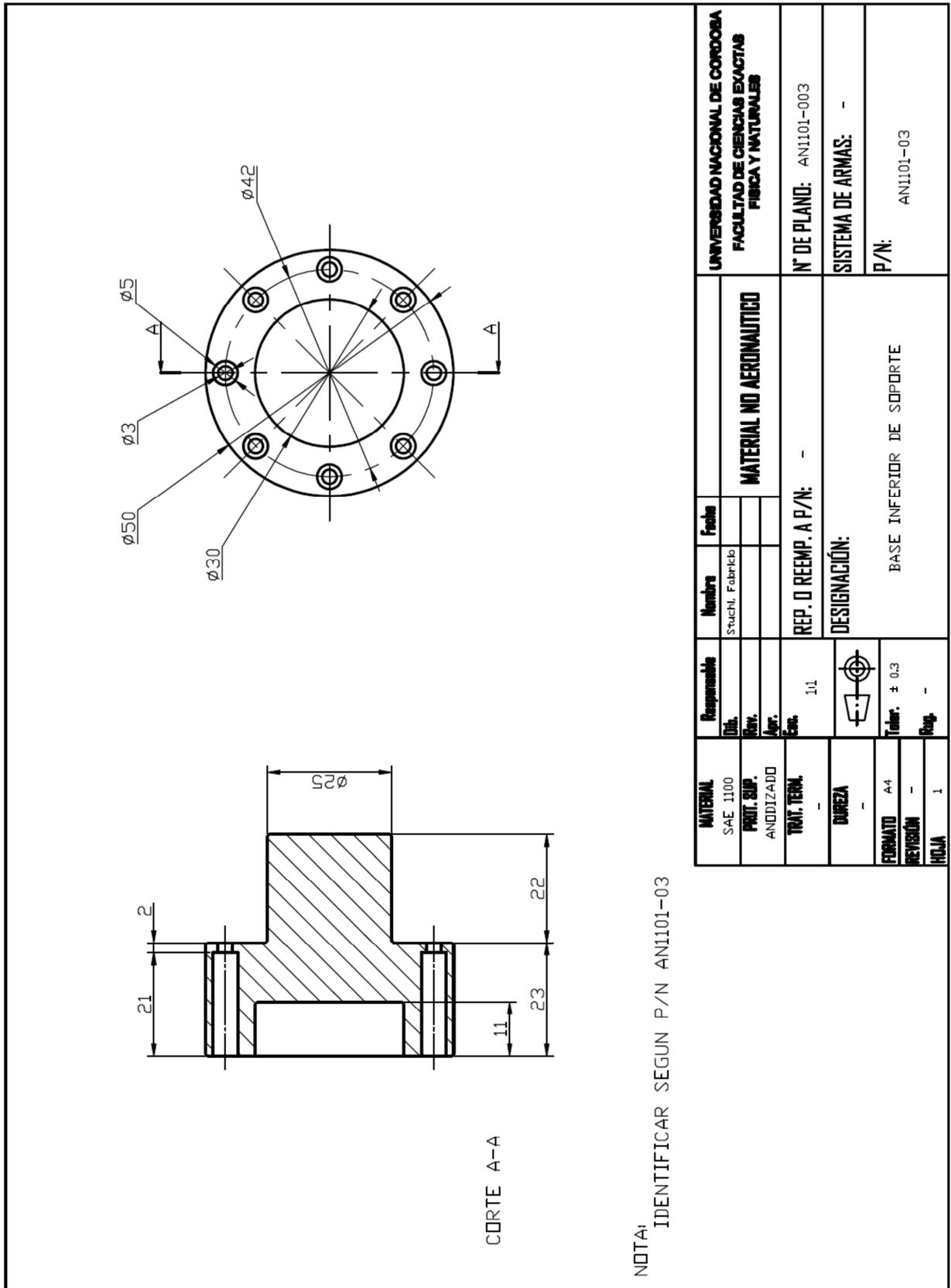


Fig. 5.2.2.1 – Base inferior de soporte

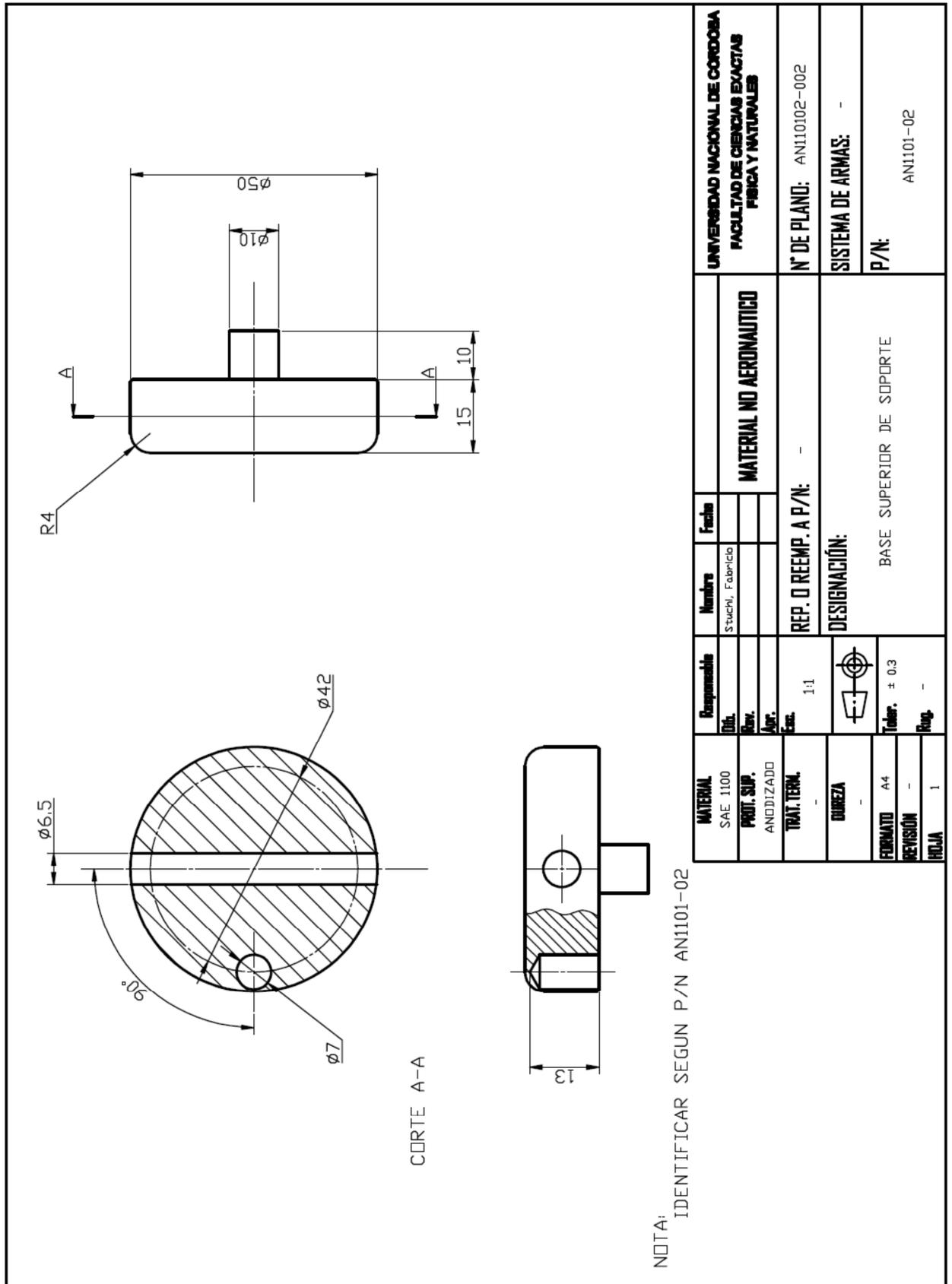


Fig. 5.2.2.2 – Base Superior de Soporte

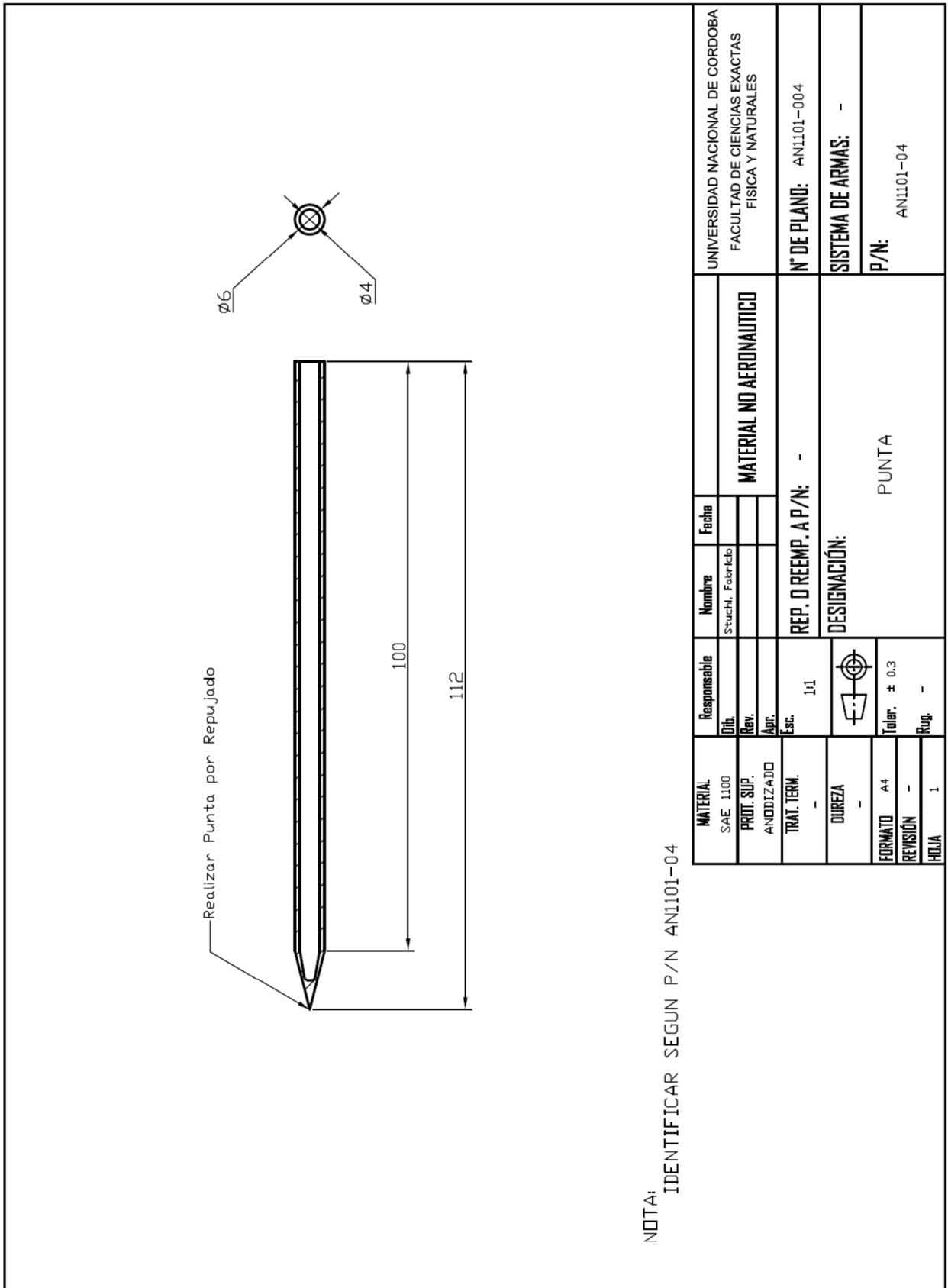


Fig. 5.2.2.3 - Punta

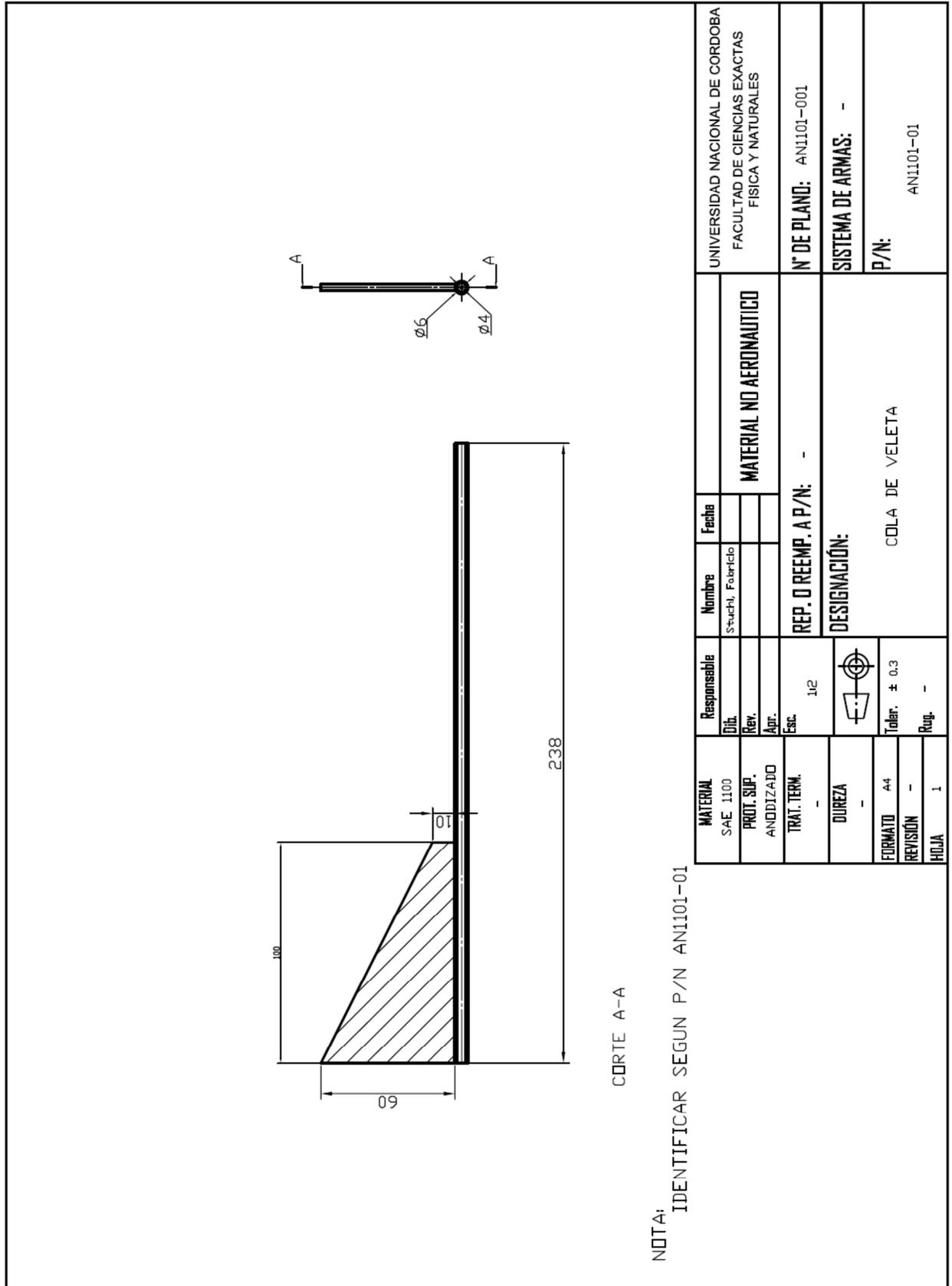


Fig. 5.2.2.4 – Cola de Veleta

### 5.2.3 Selección del Hardware

Se empleó un grupo de interruptores magnéticos, del mismo tipo que en el anemómetro. La única diferencia es la forma en que fueron colocados.

En este caso, la disposición de los sensores magnéticos fue de manera circular, como se puede ver en la siguiente figura, tal que nos permitió determinar la dirección de la que provenía el viento.

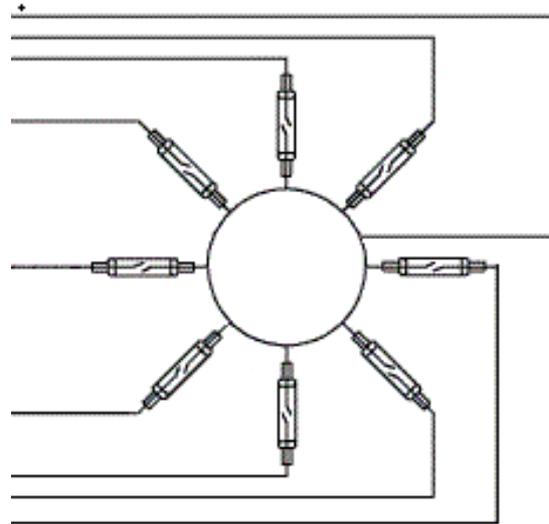


Fig. 5.2.2.5 – Disposición de Sensores Magnéticos

De esta manera, cada vez que el imán, colocado en el “Base superior de Soporte, pasa por encima de alguno de los interruptores lo cierra e indica la dirección en cuestión. El programa presentado más adelante, presenta la siguiente condición:

- Si no se acciona ningún otro interruptor magnético, el software sigue presentando la información del último accionado. Es decir, si se accionó el interruptor del Sur y luego la “Base Superior de Soporte” se traslada hacia el Suroeste sin que el imán accione algún interruptor, el software seguirá mostrando la dirección Sur.

#### 5.2.3.1 Conexión

A continuación se muestra la gráfica de la vinculación general de los Reed Switch con la placa de control (Arduino).

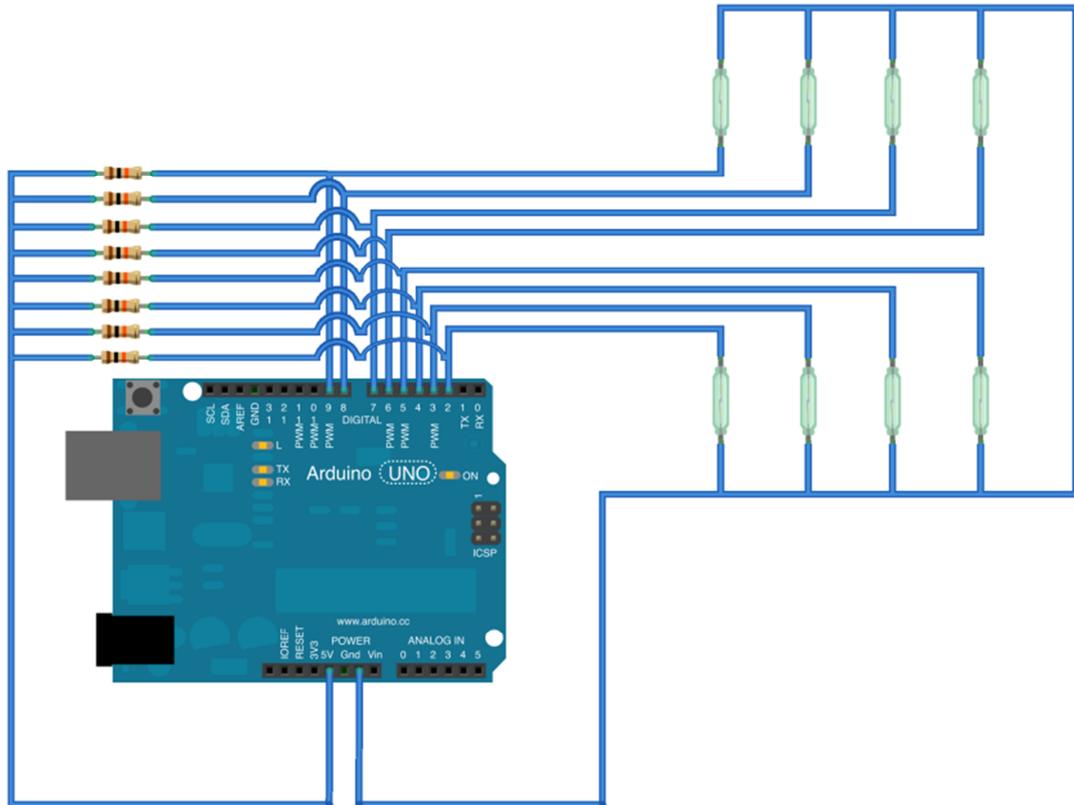


Fig. 5.2.3.1 – Esquema de Conexión de los Sensores Magnéticos a la Placa Arduino

#### 5.2.4 Desarrollo del Software

El software para relevar los datos emitidos por el sensor magnético se realizó siguiendo una metodología de trabajo similar a la que se adoptó para el resto de los elementos que componen este equipo.

##### Software

```
#include "Wire.h";
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
LiquidCrystal lcd (12, 11, 5, 4, 3, 2);
```

```
// Constantes para definir los pines del reed switch.
```

```
int pinSwitchN = 1; // el número de pin del reed switch para el Norte
```

```
int pinSwitchNE = 2; // el número de pin del reed switch para el Noreste
```

```
int pinSwitchE = 3; // el número de pin del reed switch para el Este
```

```
int pinSwitchSE = 4; // el número de pin del reed switch para el SurEste
```

```
int pinSwitchS = 5; // el número de pin del reed switch para el Sur
```

```
int pinSwitchSO = 6; // el número de pin del reed switch para el Suroeste
```

```
int pinSwitchO = 7; // el número de pin del reed switch para el Oeste
```

```
int pinSwitchNO = 8; // el número de pin del reed switch para el NorOeste
```

```
// Variable para guardar el valor del sensor
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600); // Inicio de transferencia de datos a 9600 baudios
```

```
  Wire.begin();
```



```
lcd.begin(16,2);
```

```
// Para inicializar los pines del reed switch como de entrada de datos
```

```
pinMode(pinSwitchN, INPUT);  
pinMode(pinSwitchNE, INPUT);  
pinMode(pinSwitchE, INPUT);  
pinMode(pinSwitchSE, INPUT);  
pinMode(pinSwitchS, INPUT);  
pinMode(pinSwitchSO, INPUT);  
pinMode(pinSwitchO, INPUT);  
pinMode(pinSwitchNO, INPUT);  
}
```

```
void loop(){
```

```
if (pinSwitchN == HIGH);  
{  
  // estadoswitch = Norte;  
  Serial.print ("Norte");  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print(" ");  
  lcd.print("Norte");  
  delay (1000);  
}
```

```
if (pinSwitchNE == HIGH);  
{  
  //estadoswitch = Noreste;  
  Serial.print ("Noreste");  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print(" ");  
  lcd.print("Noreste");  
  delay (1000);  
}
```

```
if (pinSwitchE == HIGH);  
{  
  //estadoswitch = Este;  
  Serial.print ("Este");  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print(" ");  
  lcd.print("Este");  
  delay (1000);  
}
```

```
if (pinSwitchSE == HIGH);  
{  
  //estadoswitch = Sureste;  
  Serial.print ("sureste");
```



```
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print(" ");  
lcd.print("sureste");  
delay (1000);  
}  
  
if (pinSwitchS == HIGH);  
{  
  //estadoswitch = Sur;  
  Serial.print ("Sur");  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print(" ");  
  lcd.print("sur");  
  delay (1000);  
}  
  
if (pinSwitchSO == HIGH);  
{  
  //estadoswitch = Suroeste;  
  Serial.print ("Suroeste");  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print(" ");  
  lcd.print("Suroeste");  
  delay (1000);  
}  
  
if (pinSwitchO = HIGH);  
{  
  //estadoswitch = Oeste;  
  Serial.print ("Oeste");  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print(" ");  
  lcd.print("Oeste");  
  delay (1000);  
}  
  
if (pinSwitchNO = HIGH);  
{  
  //estadoswitch = Noroeste;  
  Serial.print ("Noroeste");  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print(" ");  
  lcd.print("Noroeste");  
  delay (1000);  
}  
}
```



### **5.3 Conclusión**

Debido a que en esta parte del trabajo solo se realizó el diseño de la veleta y se generó el software de control; solo podemos decir que:

- En su diseño, se consideraron todas las condiciones de trabajo a que será sometido el elemento.
- Se comprobó el software de control de la veleta en la placa Arduino, compilando correctamente.

Fuera de esto podría realizarse una serie de ensayos sobre este instrumento, quedando ligados a futuros trabajos finales de carrera al igual que un posible rediseño de la veleta.



# CAPITULO 6

## CONCLUSION GENERAL





## 6.1 Conclusión

En este capítulo se aborda la totalidad del trabajo realizado, ejecutando un resumen de los resultados obtenidos y analizando los pros y los contras de cada elemento que forma parte de esta Estación Meteorológica desarrollada.

Primeramente se analiza el **Sensor de Presión Atmosférica – Bosch BMP085**. Este elemento resulto ser de fácil implementación e instalación (en la placa principal – Arduino Duemilanove).

Los ensayos que se realizaron sobre el mismo, evidenciaron una excelente respuesta frente a los bruscos cambios de altura a que fue sometido; sin experimentar daños físicos o modificaciones en los valores de ajustes previos.

Además de esto, en el ensayo comparativo realizado entre el sensor de presión BMP085 y el barómetro de columna de mercurio (FCEFYN), se logró constatar la veracidad de los datos arrojados por el elemento bajo estudio, dado que los valores del barómetro de columna de mercurio se encontraban contenidos dentro del intervalo de confianza del Sensor BMP085.

Respecto a la toma de valores de **Humedad Relativa y Temperatura**, se decidió utilizar el Sensor de Humedad Relativa y Temperatura Modelo DHT22. Esta decisión fue tomada luego de analizar los resultados de los ensayos realizados sobre este tipo de sensor y su análogo modelo DHT11. La diferencia más importante entre ambos sensores fue que:

- En el “Ensayo comparativo entre el Sensor DHT 11 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” frente a un ambiente sin control de la temperatura y la humedad”. Se pudo observar que los datos del elemento de control (H. D. Dwyer) se encontraban muy alejados de los valores que nos devolvía nuestro sensor (fuera del intervalo de confianza de este último). Además, en el “Ensayo comparativo entre el Sensor DHT 11 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” frente a un ambiente de humedad controlado” se pudo observar que la respuesta del Sensor DHT 11, frente a cambios bruscos de Humedad no era buena.
- En el “Ensayo comparativo entre el Sensor DHT 22 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” frente a un ambiente sin control de la temperatura y la humedad.” Se observó que la mayoría de los valores arrojados por el elemento de control (H. D. Dwyer) se encontraron contenidos dentro del intervalo de confianza del Sensor DHT 22. Además, en el “Ensayo comparativo entre el Sensor DHT 22 y el Higrómetro Digital “Dwyer Modelo 485-2” frente a un ambiente de humedad controlado” se pudo observar que la respuesta del Sensor DHT 22, a cambios bruscos de Humedad mejoraba respecto a lo arrojado por el Sensor Modelo DHT11.

En el caso del **Anemómetro**, el diseño cumple con todo lo necesario para ser probado y testeado en el túnel de viento N°1 del Laboratorio de Aeronáutica de la Facultad de Ciencias Exactas, Física y Naturales (UNC).



En los ensayos efectuados sobre el mismo se presentaron diversas complicaciones, del tipo funcionales:

- Cuando se efectuó un primer ensayo, el comportamiento del dispositivo fue óptimo y los valores arrojados se encontraban contenidos dentro de un error aceptable (para ser la primera prueba – sin ajuste en la programación). Fuera de esto, en los siguientes ensayos se presentó un salto en la velocidad, que fue atribuido a la magnetización del rodamiento. Se supuso que esto último se dio debido a que el instrumento estuvo en reposo un largo periodo de tiempo, y al encontrarse el imán inmediatamente próximo al rodamiento, este logro adquirir cierto magnetismo que paso a interferir en la toma de datos posteriores.

La solución propuesta para lograr salvar este error es la de posicionar el rodamiento más cerca de la base del instrumento, alejándolo del imán y del interruptor magnético, ó reemplazar dicho mecanismo y realizar la lectura utilizando un sensor óptico. La implementación de estas soluciones queda recomendada para futuros trabajos.

En el caso de la **Veleta** no se puede llegar a una conclusión cerrada debido a que solo se presentó el diseño y programación de la misma, sin incurrir en pruebas y ensayos en profundidad.

Fuera de esto podría realizarse una serie de ensayos sobre este instrumento, quedando ligados a futuros trabajos finales de carrera al igual que un posible rediseño del anemómetro.

Queda mencionar, la adquisición de la **hora calendario**. Si bien este módulo no recibió un ensayo propio, si se realizó la inspección y un control del mismo. De este control, se pudo saber que luego de transcurrido un mes desde la carga de datos en el módulo, el reloj no manifestaba retraso ni adelanto alguno.

Finalmente, y haciendo una conclusión final sobre la Estación Meteorológica como conjunto, se puede decir que el dispositivo logrado es capaz de relevar los siguientes parámetros:

- Presión Atmosférica
- Temperatura del Equipo (Control y ajuste del BMP085).
- Humedad relativa.
- Temperatura Ambiente.
- Fecha y Hora.
- Velocidad del Viento.

A dichos datos los puede mostrar por dos vías distintas, una de ellas es a través de la Computadora en donde se pueden almacenar los datos y otra es a través de la pantalla LCD (de manera directa) del dispositivo.

A continuación se agrega una imagen de la Estación Meteorológica Finalizada y en el Anexo IV se agrega una breve recopilación de datos extraída de la Estación Meteorología.



Fig. 6.1 – Estación Meteorológica

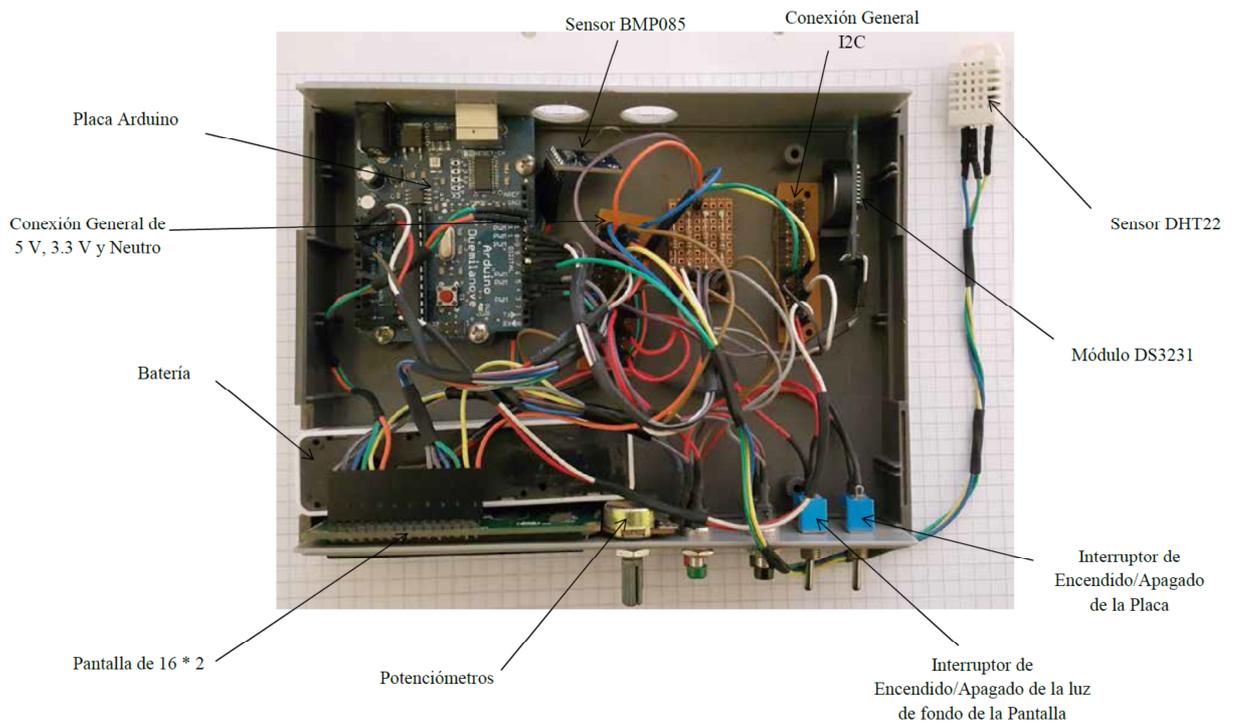


Fig. 6.2 – Interior de la Estación Meteorológica



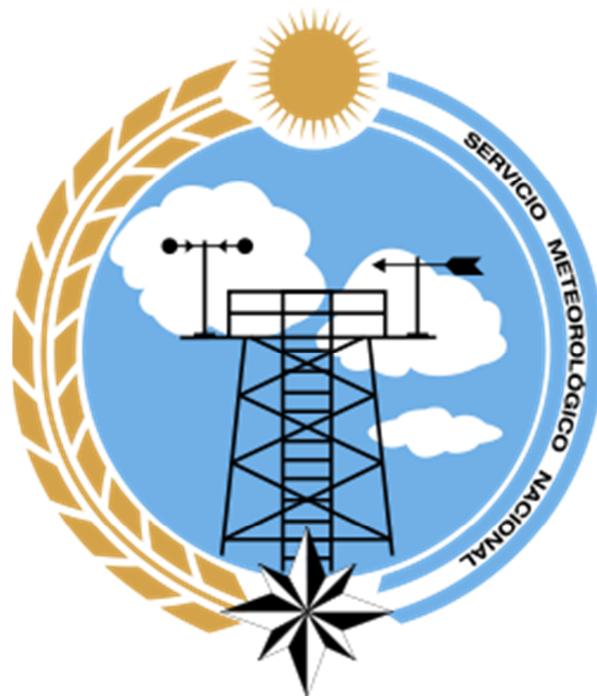
## Referencias Bibliografía

- DATASHEET LCM MODULE TC2004A-01 – SPECIFICATION FOR APPROVAL.
- XIAMED AMOTEC DISPLAY CO. LTD. – SPECIFICATION OF LCD MODULE – MODULO N° ADM1602K-NSW-F13S/3.3.
- BMP085 DIGITAL PRESSURE SENSOR DATASHEET.
- [WWW.SPARKFUN.COM/TUTORIAL/253](http://WWW.SPARKFUN.COM/TUTORIAL/253).
- INSTRUCCIONES DE FUNCIONAMIENTO PARA BARÓMETRO ESTÁNDAR 2K, 4K Y 20 K (FUSS).
- REGLAMENTO DE AERONAVEGABILIDAD DNAR – APÉNDICE E – ENSAYO E INSPECCIÓN DE SISTEMA ALTIMÉTRICO.
- AOSONG – TEMPERATURA AND HUMIDITY MODULE DHT11 PRODUCT MANUAL.
- DHT11 HUMIDITY AND TEMPERATURA SENSOR D-ROBOTIC UK.
- AOSONG ELECTRONICS CO. LTD – DIGITAL OUTPUT RELATIVE HUMIDITY AND TEMPERATURA SENSOR/MODULE DHT22.
- MODEL 485-2 – DIGITAL HYGROMETER – SPECIFICATION AND OPERATING INSTRUCTIONS – BULLETING E-85-A – DWYER.
- [WWW.LEARN.ADAFRUIT.COM/DHT/USING-A-DHTXX-SENSOR](http://WWW.LEARN.ADAFRUIT.COM/DHT/USING-A-DHTXX-SENSOR)
- RECCOMENDED PRACTICES FOR WIND TURBINE TESTING AND EVALUATION – 2WIND SPEED MEASUREMENT AND USE OF CUP ANEMOMETRY” – EDITION 1999.
- THE COMUS GROUP OF COMPANIES – REED SWITCHES (DATASHEET).
- DATASHEET REED SWITCH MODEL ORD 213.
- REEDSWITCH DATABOOK – SPTEMBER 2010 – OKI.
- MANEJO Y APLICACIONES DEL BUS I2C DE ARDUINO – AUTOR: JOSE MANUEL RUIZ GUTIERREZ.
- ARDUINO PROGRAMMING NOTEBOOK – BRIAN W. EVANS.
- MANUAL SKF DE MANTENIMIENTO DE RODAMIENTOS.
- REGLAMENTO CIRSOC 102 – MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS – JULIO 2005.
- SIRENA, JOSÉ A: AERONÁUTICA GENERAL, EDITORIAL UNIVERSITAS
- GARCÍA, JORGE - GALEASSO, ÁNGEL: GUÍA DE TRABAJOS PRÁCTICOS DE AERONÁUTICA GENERAL, EDITORIAL UNIVERSITAS.



# ANEXO I

# METEOROLOGÍA





## **Historia de la Meteorología Nacional**

En la segunda mitad del siglo XIX, algunos países del hemisferio Norte, experimentaron la necesidad de crear sus propias oficinas meteorológicas. Argentina, dada la muy temprana preocupación por los problemas relacionados con el tiempo y el clima, fue pionera en la materia, en el hemisferio Sur.

Es así que el 4 de octubre de 1872, el Honorable Congreso de la Nación votó la Ley N° 559, por la cual se creó la Oficina Meteorológica Argentina (OMA), predecesora del actual Servicio Meteorológico Nacional (SMN). La OMA fue la tercera fundada en el orden mundial, sólo precedida por la Oficina Meteorológica de Hungría en 1870, y la de los Estados Unidos de América, en 1871.

El Servicio Meteorológico Nacional dependía hacia 1966 del Ministerio de Educación de la Nación, fue traspasado al ámbito de la Fuerza Aérea Argentina pasando a depender del disuelto "Comando de Regiones Aéreas" perteneciente a la misma, durante el gobierno del general Onganía. A partir del 1° de enero de 2007, por decreto del Poder Ejecutivo Nacional, el SMN pasó a depender de la Secretaría de Planificación del Ministerio de Defensa, volviendo al ámbito civil, perdiendo así injerencia militar.

A fin de satisfacer las necesidades operativas exclusivas de la Fuerza Aérea, la citada institución, creó el Servicio de Meteorología Militar, dependiente del Comando de Adiestramiento y Alistamiento, para reemplazar las funciones que durante 41 años (1966-2007) realizó el SMN para los vuelos de la Fuerza.

Sobre la base del resultado de minuciosos estudios realizados en distintos centros mundiales de investigación, es posible afirmar que el dinero que se invierte en un Servicio Meteorológico, genera además de sustanciales ventajas en materia de bienestar, salud, confort y seguridad, importantes beneficios económicos, los que llegan a ser hasta diez veces superiores al monto de la inversión original.

Es muy probable que el público usuario conozca a este organismo, solo a través de sus pronósticos, pero son muchos más y de no menor importancia, los servicios que brinda a la comunidad, como el de generar "Alertas Meteorológicas".

Además de ello, el Servicio Meteorológico Nacional es el asesor oficial del Gobierno Argentino en todo lo que atañe a la meteorología y actividades conexas. Por otra parte, la Argentina, a través del SMN, es Estado Miembro de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

## **Breve descripción de la Atmósfera**

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la Tierra, y que se adhiere a ella gracias a la acción de la gravedad. Es difícil determinar exactamente su espesor, puesto que los gases que la componen se van haciendo menos densos con la altura, hasta prácticamente desaparecer a unos pocos cientos de kilómetros de la superficie.

La atmósfera está formada por una mezcla de gases, la mayor parte de los cuales se concentra en la denominada homosfera, que se extiende desde el suelo hasta los 80-100 kilómetros de altura. De hecho esta capa contiene el 99,9% de la masa total de la atmósfera. Entre los gases que componen la



atmósfera, hay que destacar el Nitrógeno ( $N_2$ ), el Oxígeno ( $O_2$ ), el Argón (Ar), el Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) y el vapor de agua. La siguiente tabla recoge el porcentaje de volumen de aire que cada uno de ellos representa. Es importante recordar que la concentración de estos gases varía con la altura, siendo especialmente acusadas las variaciones del vapor de agua, que se concentra sobre todo en las capas próximas a la superficie.

Componente	Volumen %	PPMV
Nitrógeno ( $N_2$ )	78.084 %	780840 ppmv
Oxígeno ( $O_2$ )	20.946 %	209460 ppmv
Argón (Ar)	0.934 %	9340 ppmv
Dióxido de Carbono ( $CO_2$ )	0.04 %	400 ppmv
Neón (Ne)	0.001818 %	18.18 ppmv
Helio (He)	0.000524 %	5.24 ppmv
Metano ( $CH_4$ )	0.000179 %	1.79 ppmv
Hidrogeno ( $H_2$ )	0.000055 %	0.55 ppmv
Óxido Nitroso ( $N_2O$ )	0.00003 %	0.3 ppmv
Xenón (Xe)	$9 \cdot 10^{-6}$ %	0.09 ppmv
Ozono ( $O_3$ )	$0 - 7 \cdot 10^{-6}$ %	0.0 - 0.07 ppmv
Dióxido de Nitroso ( $NO_2$ )	$2 \cdot 10^{-6}$ %	0.02 ppmv
Yodo (I)	$1 \cdot 10^{-6}$ %	0.01 ppmv
Monóxido de Carbono (CO)	0.00001 %	0.1 ppmv
Vapor de Agua en Superficie	1 % - 4 %	

Tabla I.1 – Composición de la Aire

La presencia de los gases que componen el aire es esencial para el desarrollo de la vida sobre la Tierra. Por un lado, el  $O_2$  y el  $CO_2$  permiten la realización de las funciones vitales de animales y plantas, y por otro, la presencia del vapor de agua y del  $CO_2$ , permiten que las temperaturas sobre la Tierra sean las adecuadas para la existencia de la vida. El vapor de agua y el  $CO_2$ , junto con otros gases menos abundantes como el metano o el ozono, son los llamados gases de efecto invernadero. La radiación solar puede atravesar sin dificultad estos gases, pero la radiación emitida por la Tierra (tras calentarse con la energía solar) es absorbida en parte por ellos, sin poder escapar al espacio en su totalidad. Sin la existencia del efecto invernadero la temperatura en la tierra sería de unos  $-15^\circ C$ .

### **Capas de la atmosfera terrestre y variación de la temperatura**

La temperatura de la atmósfera terrestre varía con la altitud. La relación entre la altitud y la temperatura es distinta dependiendo de la capa atmosférica considerada: troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera.

Las divisiones entre una capa y otra se denominan respectivamente tropopausa, estratopausa, mesopausa y termopausa.



## Troposfera

La **troposfera** o **tropósfera** es la capa de la atmósfera terrestre que está en contacto con la superficie de la Tierra.

Tiene alrededor de 17 km de espesor en el ecuador terrestre y solo 7 km en los polos, y en ella ocurren todos los fenómenos meteorológicos que influyen en los seres vivos, como los vientos, la lluvia y las nieves. Además, concentra la mayor parte del oxígeno y del vapor de agua. En particular este último actúa como un regulador térmico del planeta; sin él, las diferencias térmicas entre el día y la noche serían tan grandes que no podríamos sobrevivir. Es de vital importancia para los seres vivos. La troposfera es la capa más delgada del conjunto de las capas de la atmósfera.

La temperatura en la troposfera desciende a razón de aproximadamente  $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  por kilómetro de altura, por encima de los 2000 metros de altura.

En la troposfera suceden los fenómenos que componen lo que llamamos tiempo meteorológico.

## Estratosfera

La **estratosfera** o **estratósfera** es una de las capas más importantes de la atmósfera, y se extiende en una capa que va desde los 35 hasta los 50 km de altura aproximadamente. La temperatura aumenta progresivamente desde los  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  de la tropopausa hasta alcanzar los  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  de la estratopausa, aunque según algunos autores puede alcanzar incluso los  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  o más. Es decir, en esta capa la temperatura aumenta con la altitud, al contrario de lo que ocurre en las capas superior e inferior.

En la parte baja de la estratósfera la temperatura es relativamente estable, y en toda la capa hay muy poca humedad.

A una altura aproximadamente de 2,5 veces la altura del Everest y unas 50 veces el Empire State de New York solo algunos aviones como el Mig-31ruso, el SR-71, el Concorde, el U-2 y el UAV RQ-4 Global Hawk pueden volar. Cerca del final de la estratósfera se encuentra la capa de ozono que absorbe la mayoría de los rayos ultravioleta del Sol.

## Ozonosfera

Se denomina capa de **ozono**, u **ozonosfera**, a la zona de la estratosfera terrestre que contiene una concentración relativamente alta de ozono. Esta capa, que se extiende aproximadamente de los 15 km a los 40 km de altitud, reúne el 90 % del ozono presente en la atmósfera y absorbe del 97 % al 99 % de la radiación ultravioleta de alta frecuencia.

## Mesosfera

En meteorología se denomina **mesosfera** o **mesósfera** a la capa de la atmósfera en la que la temperatura va disminuyendo a medida que se aumenta la altura, hasta llegar a unos  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  a las 80.4 Km aproximadamente. Se extiende desde la estratopausa (zona de contacto entre la estratosfera y la



mesosfera) a unos 50km, hasta una altura de unos 80 km donde la temperatura vuelve a descender hasta unos  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  u  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura disminuye a medida que se sube, como sucede en la troposfera. Puede llegar a ser hasta de  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Es la zona más fría de la atmósfera.

Contiene sólo cerca del 0,1 % de la masa total del aire. Es importante por la ionización y las reacciones químicas que ocurren en ella.

### **Ionosfera**

La **ionosfera** o **ionósfera**, es la parte de la atmósfera terrestre ionizada permanentemente debido a la fotoionización que provoca la radiación solar. Se sitúa entre la mesosfera y la exosfera, y en promedio se extiende aproximadamente entre los 80 km y los 500 km de altitud, aunque los límites inferior y superior varían según autores y se quedan en 80-90 y 600-800 km respectivamente. Por otra parte, algunos consideran que la alta ionosfera constituye el límite inferior de la magnetosfera, solapándose ligeramente ambas capas (entre los 500 y 600-800km). La ionosfera también se conoce como termosfera por las elevadas temperaturas que se alcanzan en ella debido a que los gases están en general ionizados. Si el sol actúa sobre la misma, las temperaturas en la termosfera pueden llegar a  $1.500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Los gases aparecen ionizados porque esta capa absorbe las radiaciones solares de menor longitud de onda (rayos gamma y rayos X) que son altamente energéticos.

Entre las propiedades de la ionosfera, encontramos que esta capa contribuye esencialmente en la reflexión de las ondas de radio emitidas desde la superficie terrestre, lo que posibilita que éstas puedan viajar grandes distancias sobre la Tierra gracias a las partículas de iones (cargadas de electricidad) presentes en esta capa.

En las regiones polares las partículas cargadas portadas por el viento solar son atrapadas por el campo magnético terrestre incidiendo sobre la parte superior de la ionosfera y dando lugar a la formación de auroras.

### **Exosfera**

La **exosfera** o **exósfera** se localiza por encima de la [termosfera](#), aproximadamente a unos 690 [kilómetros](#) de altitud, en contacto con el espacio exterior, donde existe prácticamente el vacío. Es la región atmosférica más distante de la superficie terrestre. En esta capa la temperatura no varía y el aire pierde sus cualidades físico-químicas.

Su límite inferior se localiza a una altitud generalmente de entre 600 y 700 km, aproximadamente. Su límite con el espacio llega en promedio a los 10 000 km por lo que la exosfera está contenida en la [magnetosfera](#) (representa el campo magnético de la tierra - 500-60 000 km). En esa región, hay un alto contenido de polvo cósmico que cae sobre la Tierra. Es la zona de tránsito entre la atmósfera terrestre y el espacio interplanetario y en ella se pueden encontrar satélites meteorológicos.



En la exosfera, el concepto popular de [temperatura](#) desaparece, ya que la densidad del aire es casi despreciable.

Está constituida por materia plasmática. En ella la [ionización](#) de las moléculas determina que la atracción del campo magnético terrestre sea mayor que la del gravitatorio (de ahí que también se la denomina magnetosfera).

Por lo tanto, las moléculas de los gases más ligeros poseen una [velocidad media](#) que les permite escapar hacia el espacio interplanetario sin que la fuerza gravitatoria de la Tierra sea suficiente para retenerlas. Los gases que así se difunden en el vacío representan una pequeñísima parte de la atmósfera terrestre.

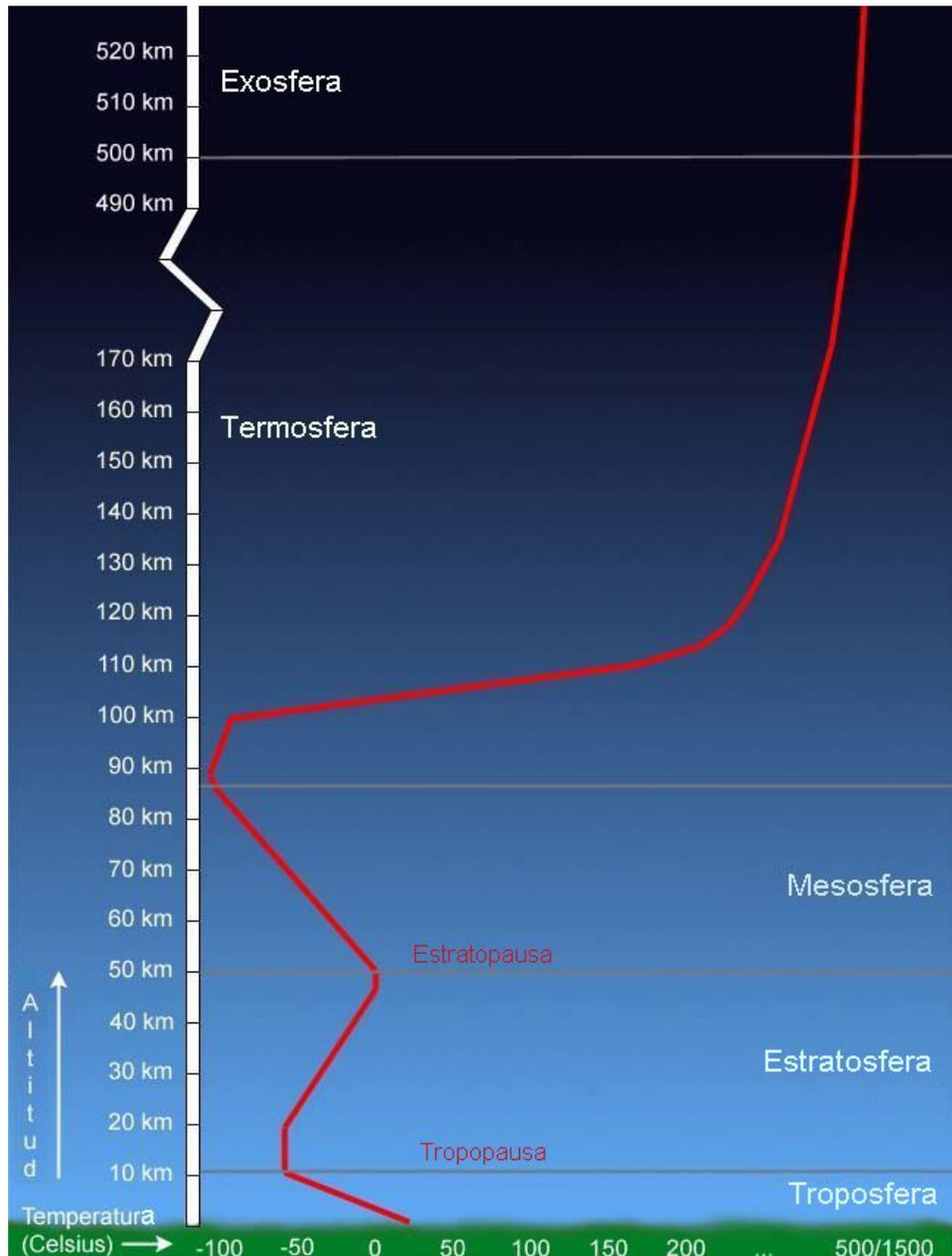


Fig. I.1 – Atmósfera Terrestre y Variación de la Temperatura con la Altura



## **Instrumentos meteorológicos**

He aquí una descripción de los instrumentos utilizados normalmente en las estaciones meteorológicas.

### **Barómetro de mercurio**

Instrumento utilizado para medir la presión atmosférica. Pueden ser de ramas iguales o desiguales y en este último caso de cubeta fija y cero móvil o de cubeta móvil y cero fijo. La descripción que sigue se refiere al barómetro FORTIN (de cubeta móvil y cero fijo) que es el empleado en las estaciones meteorológicas de Argentina.

**Descripción:** Se basa en el principio de Torricelli. Consta de un tubo de cristal lleno de mercurio con un extremo abierto que va sumergido en una cubeta situada bajo el tubo graduado. Lleva un termómetro adjunto para medir la temperatura del mercurio. Está construido de manera que se conoce la relación entre las secciones del tubo y la cubeta. La escala se hace de tal manera que las subidas del mercurio en el tubo estén compensadas por las bajadas del mercurio en la cubeta.

### **Barómetro aneroide**

**Descripción:** Es el aparato que todos tenemos en casa. Se fundamenta en la deformación que la presión atmosférica produce en una cápsula metálica (cobre o berilio), ondulada, elástica y cerrada (Cápsula de Vidi), en la que se ha hecho el vacío casi absoluto, a fin de que la temperatura del aire que contiene no influya en las indicaciones del aparato. El hecho de que la superficie de la cápsula sea ondulada se debe a que de esta manera aumenta la superficie sin afectar su resistencia. En el interior de la cara ondulada de la cápsula, y para evitar que se aplaste con la presión del aire, se coloca un resorte. Una aguja indicadora señala la presión en un círculo graduado. Debido a la inercia que este instrumento tiene conviene golpearlo suavemente con los dedos antes de realizar la lectura, de esta manera la aguja se pone en su punto.

**Instalación:** Se coloca en el interior de la estación meteorológica

### **Termómetro**

**Descripción:** Mide la temperatura del aire. Pueden ser de líquido en vidrio (mercurio o alcohol), de líquido en metal, basados en la deformación (bimetálico) o basados en la variación de un parámetro eléctrico: resistencia (resistores, termistores) o capacidad (termocap). Los más comúnmente usados son de líquido en vidrio. Están compuestos por un bulbo conectado a una columna capilar de diámetro muy pequeño (menor a 0.1 mm) en una cámara de vacío. La escala está detrás del capilar y todo el conjunto encerrado en un tubo de vidrio (pirex). El alcohol suele colorearse para hacer más fácil su lectura. Para medir debajo de  $-39^{\circ}\text{C}$  se usa una mezcla de mercurio con talio pudiendo llegar a  $-58^{\circ}\text{C}$ .



**Instalación:** Se coloca en el interior de la estación meteorológica con su bulbo a una altura entre 1,5 y 2 metros de altura.

### **Termómetro de máxima**

**Descripción:** Es un termómetro de mercurio que tiene un estrechamiento del capilar cerca del bulbo o depósito. Cuando la temperatura sube, la dilatación de todo el mercurio del bulbo vence la resistencia opuesta por el estrechamiento, mientras que cuando la temperatura baja y la masa de mercurio se contrae, la columna se rompe por el estrechamiento y su extremo libre queda marcando la temperatura máxima. La escala tiene una división de  $0,5^{\circ}\text{C}$  y el alcance de la misma es de  $-31,5$  a  $51,5^{\circ}\text{C}$ .

**Instalación y medición:** Se coloca dentro de la estación meteorológica en un soporte adecuado, con su bulbo inclinado hacia abajo formando un ángulo de  $2^{\circ}$  con la horizontal. Luego de la lectura, para volver a ponerlo a punto se debe sujetar firmemente por la parte contraria al depósito y sacudirlo con el brazo extendido (maniobra similar a la que realizamos para bajar la temperatura de un termómetro clínico).

### **Termómetro de mínima**

**Descripción:** Están compuestos de líquido orgánico (alcohol) y llevan un índice coloreado de vidrio o marfil sumergido en el líquido. El bulbo tiene en general forma de horquilla (para aumentar la superficie de contacto del elemento sensible). Cuando la temperatura baja, el líquido arrastra el índice porque no puede atravesar el menisco y se ve forzado a seguir su recorrido de retroceso. Cuando la temperatura sube, el líquido pasa fácilmente entre la pared del tubo y el índice y éste queda marcando la temperatura más baja por el extremo más alejado del bulbo. La escala está dividida cada  $0,5^{\circ}\text{C}$  y su amplitud va desde  $-44,5$  a  $40,5^{\circ}\text{C}$ .

**Instalación y medición:** Se coloca dentro de la estación meteorológica en un soporte adecuado en forma horizontal. Luego de la lectura se debe poner nuevamente el índice en contacto con la superficie libre del alcohol.

### **Termómetros de suelo**

Se utilizan para medir la temperatura del suelo y a distintas profundidades. Se recomienda que todo el termómetro esté sumergido para evitar el error por columna emergente. Los termómetros que miden distintas profundidades se colocan dentro de un compartimento de plástico, cerámica o cualquier material que adquiera la temperatura de la tierra.

### **Psicrómetro**

Este mide la humedad relativa. Hay dos tipos de psicrómetros los de ventilación forzada y los de ventilación natural. Me referiré a este último.



**Descripción:** Consiste en un juego de dos termómetros iguales, uno de ellos llamado termómetro seco y el otro termómetro húmedo ya que tiene su bulbo recubierto por una muselina húmeda mediante una mecha que lo pone en comunicación con un depósito de agua destilada. Su funcionamiento es muy fácil de entender. El agua empapa la muselina y se evapora. Para evaporarse necesita calor, calor que toma del bulbo del termómetro. El agua evaporada es reemplazada por la que llega a través de la mecha. Este transporte de agua se ajusta a la velocidad de evaporación. Al termómetro le llega la misma cantidad de agua que se evapora. La velocidad de evaporación depende de la humedad del aire. Si el aire está seco habrá mayor evaporación y si el aire está saturado no podrá admitir más cantidad de vapor y por lo tanto no habrá evaporación.

**Instalación y medición:** Este instrumento se coloca en un soporte dentro de la estación meteorológica. Para determinar la humedad relativa y punto de rocío se disponen de tablas, a las que se ingresa con los datos de las lecturas de ambos termómetros.

### **Termógrafo**

**Descripción:** El sensor de este instrumento está constituido por un elemento bimetálico circular. Es decir dos metales de diferente coeficiente de dilatación (invar y bronce o invar y acero). Cuando varía la temperatura se produce un cambio en el radio del elemento medidor que se transmite a un sistema de palancas que accionan un brazo inscriptor. La banda de registro va colocada sobre un tambor cilíndrico que contiene un mecanismo de relojería. Este gira una vuelta en 24 horas o en una semana según se seleccione. La escala está dividida de a 1°C. La amplitud es de -35 a 45°C y la precisión es de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

**Instalación:** Se coloca en el interior de la estación meteorológica.

### **Hidrógrafo**

**Descripción:** El sensor es un haz de cabellos que modifica su longitud según las variaciones de humedad. Esta variación de la longitud del haz de cabellos se transmite mediante un sistema de palancas a un brazo inscriptor, el cual, con un plomo acoplado en su extremo registra las variaciones de humedad sobre una falla arrollada a un tambor cilíndrico. Este tambor dispone de un sistema de relojería que gira una vuelta en un día o en una semana según se seleccione. El alcance de la medida va de 0 a 100%. La escala se divide cada 5% de humedad relativa. Funciona con temperaturas de -35 a 70°C y la precisión es de  $\pm 2\%$ .

**Instalación:** Se coloca en el interior de la estación meteorológica. El haz de cabellos se debe limpiar con agua destilada.



## **Anemómetro**

Pueden ser de coperolas, de hélice, de tubo pitot o eléctrico. Me referiré al primero de ellos (de coperolas) por ser el más usado.

**Descripción:** Está compuesto por un conjunto giratorio formado por un eje y tres brazos con semiesferas adosadas (coperolas), formando un ángulo de  $120^\circ$  entre sí. Las coperolas pueden tener forma semiesférica o de cono truncado. Este instrumento está sujetado por rodamientos de acero inoxidable (rulemanes) introducidos en un casquete de metal. En el extremo del eje hay un disco con una serie de agujeros, un emisor y un receptor de luz infrarroja. Cuando coinciden emisor, orificio y receptor se envía un impulso eléctrico. La cantidad de pulsos depende de la velocidad de rotación.

**Instalación:** Se coloca lejos de obstáculos, en general a 10 metros de altura.

## **Veleta**

**Descripción:** Es un sistema mecánico, perfectamente balanceado y paralelo al suelo. Puede ser de chapa común. Debe estar orientada perfectamente Norte-Sur. La información se transmite a través de electricidad (puede ser a través de un motor sincro-repetidor, que hace girar una aguja la misma cantidad de grados que ha girado la veleta; o a través de un disco codificado. Este disco tiene seis pistas y cada una sensores infrarrojos. La combinación de los diferentes sensores se traduce en un código binario que se envía a la estación).

**Instalación:** El sensor se coloca a 10 metros de altura, alejado de obstáculos

## **Pluviómetro**

**Descripción:** Consiste en un vaso cilíndrico receptor que tiene un aro de bronce para evitar salpicaduras, un embudo profundo y un recipiente colector más estrecho que conserva el agua caída. Allí queda protegida de la evaporación por el estrechamiento de la boca y por el dispositivo de dobles paredes. Todo el conjunto está pintado de blanco para evitar la radiación solar.

**Instalación y medición:** Se coloca sobre piso de césped bien cortado para evitar salpicaduras y la distancia a cualquier objeto cercano debe ser de por lo menos 4 veces su altura. La boca del pluviómetro debe estar perfectamente horizontal. A veces, para evitar la turbulencia del viento se le coloca una especie de pollerita al cuerpo del instrumento. La observación se hace cada 24 horas. El agua se trasvasa a una probeta de tipo pirex graduada en mm de precipitación.



## **Pluviógrafo**

**Descripción:** Existen dos sistemas a sifón o flotador y de cangilones. El primero consiste en un depósito que recibe a través de un tubo de goma el agua de lluvia recogida por el embudo exterior. Dentro del depósito hay un flotador que sostiene directamente un brazo que lleva una pluma inscriptora. Casi desde el fondo del depósito sale un tubo de goma en forma de sifón, en el que la rama ascendente llega justo al nivel más alto al que se quiere llegar (que corresponde a 10 mm de precipitación). Cuando el agua del depósito llega a ese nivel, actúa el sifón y el recipiente se vacía completamente. Si continúa lloviendo vuelve a comenzar la subida. La curva obtenida tiene forma de zigzag con sus ramas ascendentes curvas e inclinadas y las descendentes rectas y verticales.

El sistema de cangilones consiste en que al final del embudo, se coloca un recipiente que tiene dos compartimentos. Este recipiente se columpia y cuando se llena uno de sus compartimentos se inclina y se empieza a llenar el otro. Cada vuelco del cangilón representa 0,2 mm de precipitación. Cada vuelco hace girar una rueda dentada en un ángulo determinado y el movimiento de esa rueda dentada se transmite por medio de una leva a una palanca con una pluma inscriptora. Esta registra la cantidad de agua caída en una faja que gira sobre un cilindro con un sistema de relojería (una vuelta por día). El registro se hace en forma escalonada. El ancho de los escalones depende de la intensidad de la lluvia. Las pausas indican que dejó de llover.

**Instalación y medición:** Las características de instalación de este instrumento coinciden con las del pluviómetro. Para medir la lluvia sólo deben sumarse las ramas ascendentes del registro de la faja. En el caso del pluviógrafo de cangilones se deben sumar tanto las subidas como las bajadas de la curva graficada en la faja.



# **ANEXO II**

## **INTRODUCCIÓN A ARDUINO**





## **Introducción a Arduino**

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles, que resultan fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos. Arduino puede ayudarnos a interpretar el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su ambiente mediante el control de luces, motores y otros dispositivos. El microcontrolador de la placa se programa usando el lenguaje de programación de Arduino (Arduino Programming Language - basado en Wiring1). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador. Las placas pueden ser fabricadas de manera “artesanal” (home made) o encargadas preensambladas; el software se puede descargar de manera gratuita. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que uno es libre de adaptarlas a las necesidades básicas de cada diseño.

## **Ventajas de trabajar con Placas Arduino**

**Bajo costo:** Las placas Arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas microcontroladoras. La versión menos cara del módulo Arduino puede ser ensamblada a mano, e incluso los módulos de Arduino preensamblados cuestan menos de \$ 300.

**Multiplataforma:** El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux. La mayoría de los sistemas microcontroladores están limitados a Windows.

**Entorno de programación simple y claro:** El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo también. Para profesores, está convenientemente basado en el entorno de programación Processing, de manera que los estudiantes, que aún no estén familiarizados con este puedan familiarizarse con el aspecto y la imagen de Arduino.

**Código abierto y software extensible:** El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados. El lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++.

**Código abierto y hardware extensible:** El Arduino está basado en microcontroladores ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328 Y ATMEGA 1280 de Atmel. Los planos para los módulos están publicados bajo licencia Creative Commons, por lo que diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo. Incluso usuarios relativamente inexpertos pueden construir la versión de la placa del módulo para entender cómo funciona y ahorrar dinero.

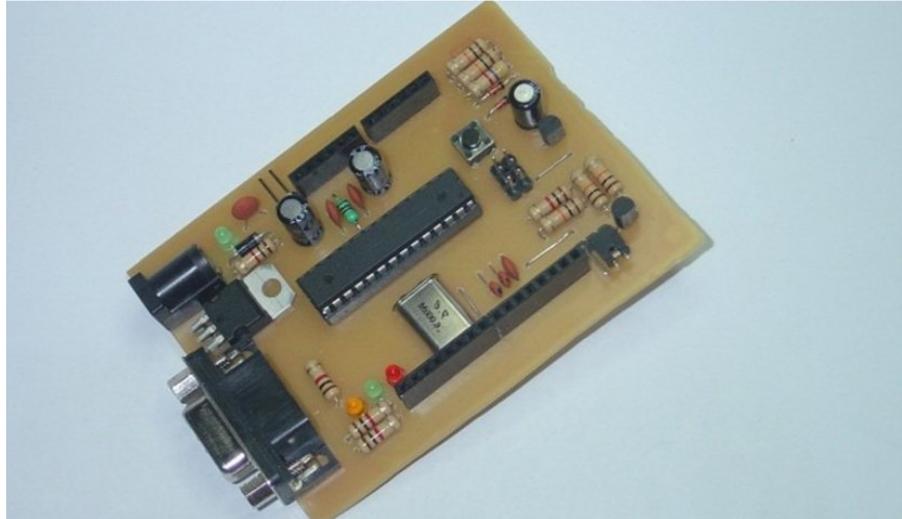
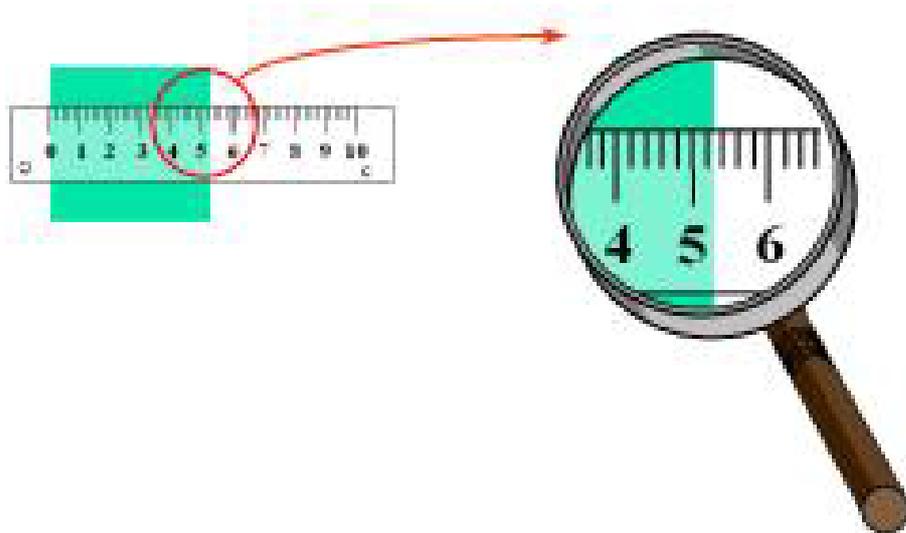


Fig. II.1 - Placa Arduino de fabricación casera



# ANEXO III

## TEORÍA DE ERRORES





## Teoría de Errores

Muchas de las decisiones tomadas en ingeniería se basan en resultados de medidas experimentales, por lo tanto es muy importante expresar dichos resultados con claridad y precisión.

### Valor estimado y error asociado en medidas directas

Medir es comparar con un patrón. Por ejemplo, si medimos la anchura del laboratorio poniendo un pie delante de otro, podemos decir que la anchura del laboratorio es 18 pies, siendo nuestro patrón un pie. Ahora bien, una medida nunca puede ser exacta, es decir, siempre cometemos un error, por lo que nuestra medida no será completa sin la estimación del error cometido. Unas veces ese error será debido a los instrumentos de medida, otras a nuestra propia percepción, etc.

Los errores al medir son inevitables.

En función de la naturaleza del error podemos definir dos tipos de error:

**Errores sistemáticos:** Son debidos a problemas en el funcionamiento de los aparatos de medida o al hecho de que al introducir el aparato de medida en el sistema, éste se altera y se modifica, por lo tanto, la magnitud que deseamos medir cambia su valor.

**Errores accidentales:** Son debidos a causas imponderables que alteran aleatoriamente las medidas. Al producirse aleatoriamente las medidas se distribuyen alrededor del valor real, por lo que un tratamiento estadístico permite estimar su valor.

Debido a la existencia de errores es imposible conocer el valor real de la magnitud a medir. Si somos cuidadosos podemos controlar los errores sistemáticos, en cuanto a los errores accidentales podemos reducirlos si tomamos un conjunto de medidas y calculamos su valor medio. Tomaremos como valor estimado de la medida el valor medio de las distintas medidas realizadas.

Supongamos que se pretende medir la longitud  $L$  de una barra y se obtienen dos conjuntos de medidas:

Grupo a: 146 cm, 146 cm, 146 cm.

Grupo b: 140 cm, 152 cm, 146 cm.

En ambos casos el valor estimado es el mismo (146 cm). Sin embargo, la precisión de las medidas no es la misma. ¿Cómo podemos diferenciar la precisión de dos medidas? Mediante el concepto de error o incertidumbre que definiremos más adelante.

A la hora de expresar una medida siempre se ha de indicar el valor observado junto con su error y la/s unidad/es correspondiente/s. Podemos decir que el valor verdadero de la medida se encuentra con una alta probabilidad en un intervalo cuyos límites son la estimación de la medida más/menos el error estimado.

Medida = Valor observado  $\pm$  Error    Unidad.



En el ejemplo anterior, una vez estimado el error se escribiría:  $L = 146 \pm 4$  cm.

### Notación: cifras significativas

A la hora de expresar el resultado de una medida junto con su error asociado se han de observar ciertas consideraciones:

- 1- En primer lugar se ha de escribir correctamente el error. Dado que su valor es aproximado, no tiene sentido dar más allá de una cifra significativa excepto en el caso en que al quitar la segunda cifra significativa se modifique de forma considerable su valor. Por ello se establece la norma en que el error se expresa con una cifra significativa, excepto cuando esa cifra sea un 1 o cuando sea un 2 seguida de un número menor que 5, en este caso se puede expresar con dos cifras significativas.

	Error de V	Error de V	Error de L
BIEN	0,12 V	0,08 V	30 cm
MAL	0,1203 V	0,078 V	35 cm

- 2- En segundo lugar se ha de escribir correctamente el valor de la medida. Tampoco tiene sentido que la precisión del valor medido sea mayor que la precisión de su error. El orden decimal de la última cifra significativa de la medida y de la última cifra significativa del error deben coincidir. Para ello se redondea el valor de la medida, si hace falta.

	Medida de V	Medida de V	Medida de L
BIEN	$48,72 \pm 0,12$ V	$4,678 \pm 0,012$ V	$560 \pm 10$ cm
MAL	$48,721 \pm 0,12$ V	$4,6 \pm 0,012$ V	$563 \pm 10$ cm

También hay que tener en cuenta cuando se trabaja con números grandes o pequeños utilizando la notación científica de potencias de 10, que conviene escribir valor y error acompañados de la misma potencia de 10.

BIEN	$8,72 \cdot 10^{-4} \pm 0,12 \cdot 10^{-4}$ N	$(4,678 \pm 0,012) \cdot 10^{-8}$ A
MAL	$872 \cdot 10^{-6} \pm 0,12 \cdot 10^{-4}$ N	$4,678 \cdot 10^{-8} \pm 1,2 \cdot 10^{-10}$ A

### Error absoluto y relativo

El error absoluto es la diferencia entre el valor exacto y el valor obtenido por la medida. El error absoluto no puede ser conocido con exactitud ya que desconocemos el valor exacto de la medida. Por eso, utilizaremos una estimación del intervalo en el que se puede encontrar el error absoluto. A esta



estimación se la denomina error o incertidumbre, y en este libro la llamaremos simplemente error y se denotará mediante el símbolo  $\varepsilon$ .

Por ejemplo, tenemos una regla y medimos la anchura de un papel, la medida es 22,5 cm. ¿Cuál es el error absoluto cometido? Hay que estimarlo. Si la regla está dividida en intervalos de un milímetro, ésta puede ser una cota superior aceptable del error absoluto. De esta forma, el valor real debería estar comprendido en un intervalo entre 22,4 y 22,6 cm. La medida se denota entonces como  $22,5 \pm 0,1$  cm, donde 0,1 cm es el error de la medida.

El error relativo  $\varepsilon_r$  es el cociente entre el error y el valor medido. Se suele expresar en tanto por ciento. Esta forma de expresar el error es útil a la hora de comparar la calidad de dos medidas. Por ejemplo, medimos la distancia que separa Valencia de Castellón y el resultado es  $75 \pm 2$  Km. Después, medimos la longitud del aula resultando  $8 \pm 2$  m. ¿Qué medida es mejor? El error relativo de la primera es  $\varepsilon_{r1} = 2/75 \cdot 100 = 2,7 \%$  y el de la segunda es  $\varepsilon_{r2} = 2/8 \cdot 100 = 25 \%$ . Por lo tanto, la primera medida es mejor, a pesar de que el error de la segunda medida es menor.

### Errores Accidentales

Como se ha dicho, estos errores son debidos a causas imponderables que alteran aleatoriamente las medidas, tanto al alza como a la baja. Son de difícil evaluación, ésta se consigue a partir de las características del sistema de medida y realizando medidas repetitivas junto con un posterior tratamiento estadístico. De esta forma, a partir de las medidas repetitivas se debe calcular la desviación típica  $s$ , y a partir de las características del aparato de medida se evaluará el error debido al aparato,  $D$ . El error de la medida se tomará como el máximo de estas dos cantidades

$$\varepsilon = \max\{s, D\}.$$

### Desviación típica

Para obtener un buen resultado de una medida, minimizando el efecto de los errores accidentales, es conveniente repetir la medida varias veces. El valor medio será el que tomaremos como resultado de la medida, ya que probablemente se acerque más al valor real. Cuantas más repeticiones de la medida se efectúen, mejor será en general el valor medio obtenido, pero más tiempo y esfuerzo se habrá dedicado a la medida. Normalmente a partir de un cierto número de repeticiones no vale la pena continuar. ¿Cuál es el número óptimo de repeticiones? Para decidirlo hay que realizar tres medidas iniciales. A partir de estas medidas se calcula la dispersión  $D$ . La dispersión de una medida es la diferencia entre el valor máximo y el mínimo obtenidos, dividido entre el valor medio, expresado en tanto por cien:

$$D = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{\bar{x}} \times 100$$

Si el valor de la dispersión es mayor del 2% es necesario realizar más medidas, según la tabla siguiente:

D < 2 %	con tres medidas es suficiente
2 % < D < 8 %	realizar un total de seis medidas
8 % < D < 12 %	realizar un total de quince medidas
D > 12 %	mínimo 50 medidas y tratamiento estadístico

Si se ha repetido la medida N veces calcularemos la desviación típica mediante la expresión:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (\bar{x} - x_i)^2}{N-1}}$$

Donde  $\bar{x}$  es el valor medio,  $x_i$  es el valor de cada medida y N es el número de medidas.

### Error debido al aparato

Existen diferencias entre la forma de evaluar los errores debidos a los aparatos. Se ha de distinguir entre aparatos analógicos y digitales. Pueden estimarse estos errores a partir de las características técnicas de los aparatos, como se verá a continuación. Estas características aparecen en las hojas de especificaciones del aparato, o vienen indicadas en el propio aparato. En la página siguiente se muestra como ejemplo la hoja de especificaciones del multímetro digital Demestres 3801A.

### Aparatos digitales

El error accidental que se comete en un aparato digital es la suma del error de precisión y el error de lectura.



Fig. III.1 – Multímetro Digital

Error de precisión: Es un porcentaje del valor leído en pantalla. Ejemplo:

Error de precisión: 1%.

Medida: 4,56 V.

Error de precisión:  $4,56 * 1/100 = 0,05$  V.

### Error de lectura

La salida en pantalla se realiza con un número limitado de dígitos por lo que, aunque el aparato pueda medir con mayor precisión, sólo nos podrá mostrar una medida limitada al número de dígitos de que dispone. El error de lectura equivale a N unidades del último dígito. Ejemplo:

Error de lectura: 3d (tres unidades)



Medida: 4,56 V.

Error de lectura:  $0,01 \cdot 3 = 0,03$  V.

El error debido al aparato será la suma  $D = 0,05 + 0,03 = 0,08$  V.

CARACTERISTICAS MULTIMETRO DIGITAL DEMESTRES 3801A																																						
Las precisiones vienen especificadas en $\pm$ (% de lectura + n° de dígitos) a $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C} < 75\% \text{H.R.}$																																						
<b>VOLTIOS CC</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>PRECISION</th> <th>RESOLUCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200 mV</td> <td rowspan="4">± 0,5% lect. + 1 dígito</td> <td>100 <math>\mu\text{V}</math></td> </tr> <tr> <td>2 V</td> <td>1 mV</td> </tr> <tr> <td>20 V</td> <td>10 mV</td> </tr> <tr> <td>200 V</td> <td>100 mV</td> </tr> <tr> <td>1000 V</td> <td></td> <td>1 V</td> </tr> </tbody> </table> <p>Impedancia de entrada: 10M<math>\Omega</math> en todos los rangos. Sobrecarga: 1000V cc o pico ca en todos los rangos.</p>		RANGO	PRECISION	RESOLUCION	200 mV	± 0,5% lect. + 1 dígito	100 $\mu\text{V}$	2 V	1 mV	20 V	10 mV	200 V	100 mV	1000 V		1 V	<b>VOLTIOS CA</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>PRECISION</th> <th>RESOLUCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200 mV</td> <td rowspan="2">± 1,2 % lect. + 5 díg</td> <td>100 <math>\mu\text{V}</math></td> </tr> <tr> <td>2 V</td> <td>1 mV</td> </tr> <tr> <td>20 V</td> <td rowspan="2">± 0,8 % lect. + 3 díg</td> <td>10 mV</td> </tr> <tr> <td>200 V</td> <td>100 mV</td> </tr> <tr> <td>700V</td> <td></td> <td>1 V</td> </tr> </tbody> </table> <p>Impedancia de entrada: 10M<math>\Omega</math> en todos los rangos. Frecuencia de trabajo: 40Hz hasta 1 KHz. Protección sobrecargas: 750V rms ó 1000V pico continuos en todos los rangos excepto 200mV ca (máx. 300V rms 15 seg.). Indicación: Promedio RMS de onda senoidal.</p>	RANGO	PRECISION	RESOLUCION	200 mV	± 1,2 % lect. + 5 díg	100 $\mu\text{V}$	2 V	1 mV	20 V	± 0,8 % lect. + 3 díg	10 mV	200 V	100 mV	700V		1 V					
RANGO	PRECISION	RESOLUCION																																				
200 mV	± 0,5% lect. + 1 dígito	100 $\mu\text{V}$																																				
2 V		1 mV																																				
20 V		10 mV																																				
200 V		100 mV																																				
1000 V		1 V																																				
RANGO	PRECISION	RESOLUCION																																				
200 mV	± 1,2 % lect. + 5 díg	100 $\mu\text{V}$																																				
2 V		1 mV																																				
20 V	± 0,8 % lect. + 3 díg	10 mV																																				
200 V		100 mV																																				
700V		1 V																																				
<b>INTENSIDAD CC</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>PRECISION</th> <th>RESOLUCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200 <math>\mu\text{A}</math></td> <td rowspan="3">± 0,5 % lect. + 1 díg</td> <td>0,1 <math>\mu\text{A}</math></td> </tr> <tr> <td>2 mA</td> <td>1 <math>\mu\text{A}</math></td> </tr> <tr> <td>20 mA</td> <td>10 <math>\mu\text{A}</math></td> </tr> <tr> <td>200 mA</td> <td rowspan="2">± 1,2 % lect. + 1 díg.</td> <td>100 <math>\mu\text{A}</math></td> </tr> <tr> <td>2 A</td> <td>1 mA</td> </tr> <tr> <td>20 A, 20 <math>\mu\text{A}</math></td> <td>± 2 % lect. + 5 díg</td> <td>10 mA, 10 nA</td> </tr> </tbody> </table> <p>Protección de sobrecarga: fusible 2A/250V (rango 20A sin fusible). En 20 A máxima entrada corriente 20A durante 15 segundos. Caída de tensión: 300mV.</p>		RANGO	PRECISION	RESOLUCION	200 $\mu\text{A}$	± 0,5 % lect. + 1 díg	0,1 $\mu\text{A}$	2 mA	1 $\mu\text{A}$	20 mA	10 $\mu\text{A}$	200 mA	± 1,2 % lect. + 1 díg.	100 $\mu\text{A}$	2 A	1 mA	20 A, 20 $\mu\text{A}$	± 2 % lect. + 5 díg	10 mA, 10 nA	<b>INTENSIDAD CA</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>PRECISION</th> <th>RESOLUCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200 <math>\mu\text{A}</math></td> <td rowspan="2">± 1 lect. + 3 díg.</td> <td>0,1 <math>\mu\text{A}</math></td> </tr> <tr> <td>2 mA</td> <td>1 <math>\mu\text{A}</math></td> </tr> <tr> <td>20 mA</td> <td rowspan="2">± 1,5 % lect. + 3 díg</td> <td>10 <math>\mu\text{A}</math></td> </tr> <tr> <td>200 mA</td> <td>100 <math>\mu\text{A}</math></td> </tr> <tr> <td>2 A</td> <td rowspan="2">± 3 % lect. + 7 díg</td> <td>1 mA</td> </tr> <tr> <td>20 A, 20 <math>\mu\text{A}</math></td> <td>10 mA, 10 nA</td> </tr> </tbody> </table> <p>Protección de sobrecarga: fusible 2A/250V (rango 20A sin fusible). Máxima entrada de tensión: 200mV Frecuencia de trabajo: 40Hz a 1KHz. Indicación: Promedio RMS de onda senoidal.</p>	RANGO	PRECISION	RESOLUCION	200 $\mu\text{A}$	± 1 lect. + 3 díg.	0,1 $\mu\text{A}$	2 mA	1 $\mu\text{A}$	20 mA	± 1,5 % lect. + 3 díg	10 $\mu\text{A}$	200 mA	100 $\mu\text{A}$	2 A	± 3 % lect. + 7 díg	1 mA	20 A, 20 $\mu\text{A}$	10 mA, 10 nA
RANGO	PRECISION	RESOLUCION																																				
200 $\mu\text{A}$	± 0,5 % lect. + 1 díg	0,1 $\mu\text{A}$																																				
2 mA		1 $\mu\text{A}$																																				
20 mA		10 $\mu\text{A}$																																				
200 mA	± 1,2 % lect. + 1 díg.	100 $\mu\text{A}$																																				
2 A		1 mA																																				
20 A, 20 $\mu\text{A}$	± 2 % lect. + 5 díg	10 mA, 10 nA																																				
RANGO	PRECISION	RESOLUCION																																				
200 $\mu\text{A}$	± 1 lect. + 3 díg.	0,1 $\mu\text{A}$																																				
2 mA		1 $\mu\text{A}$																																				
20 mA	± 1,5 % lect. + 3 díg	10 $\mu\text{A}$																																				
200 mA		100 $\mu\text{A}$																																				
2 A	± 3 % lect. + 7 díg	1 mA																																				
20 A, 20 $\mu\text{A}$		10 mA, 10 nA																																				
<b>RESISTENCIA</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>PRECISION</th> <th>RESOLUCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200 <math>\Omega</math></td> <td rowspan="2">± 0,5 % lect. + 3 díg.</td> <td>0,1 <math>\Omega</math></td> </tr> <tr> <td>2 K <math>\Omega</math></td> <td>1 <math>\Omega</math></td> </tr> <tr> <td>20 K <math>\Omega</math></td> <td rowspan="3">± 0,5 % lect. + 1 díg</td> <td>10 <math>\Omega</math></td> </tr> <tr> <td>200 K <math>\Omega</math></td> <td>100 <math>\Omega</math></td> </tr> <tr> <td>2 M <math>\Omega</math></td> <td>1 K <math>\Omega</math></td> </tr> <tr> <td>20 M <math>\Omega</math></td> <td>± 1% lect. + 2 díg.</td> <td>10 K <math>\Omega</math></td> </tr> </tbody> </table> <p>Protección de sobrecarga: 500V cc/ca rms en todos los rangos excepto en 200 <math>\Omega</math> rms (máx. 200V cc/ca rms). Circuito abierto de tensión: menor que 100 mV.</p>		RANGO	PRECISION	RESOLUCION	200 $\Omega$	± 0,5 % lect. + 3 díg.	0,1 $\Omega$	2 K $\Omega$	1 $\Omega$	20 K $\Omega$	± 0,5 % lect. + 1 díg	10 $\Omega$	200 K $\Omega$	100 $\Omega$	2 M $\Omega$	1 K $\Omega$	20 M $\Omega$	± 1% lect. + 2 díg.	10 K $\Omega$	<b>DIODOS Y CONTINUIDAD AUDIBLE</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>CONDICION PRUEBA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>El display lee aprox. la caída de tensión de diodo.</td> <td>Corriente directa aprox. 1mA, tensión inversa aprox. 2,8 V.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>El zumbador se activa si la resistencia es menor a 30 <math>\Omega</math> rms aprox.</td> <td>Tensión en circuito abierto 2,8 V</td> </tr> </tbody> </table>	RANGO	DESCRIPCION	CONDICION PRUEBA		El display lee aprox. la caída de tensión de diodo.	Corriente directa aprox. 1mA, tensión inversa aprox. 2,8 V.		El zumbador se activa si la resistencia es menor a 30 $\Omega$ rms aprox.	Tensión en circuito abierto 2,8 V									
RANGO	PRECISION	RESOLUCION																																				
200 $\Omega$	± 0,5 % lect. + 3 díg.	0,1 $\Omega$																																				
2 K $\Omega$		1 $\Omega$																																				
20 K $\Omega$	± 0,5 % lect. + 1 díg	10 $\Omega$																																				
200 K $\Omega$		100 $\Omega$																																				
2 M $\Omega$		1 K $\Omega$																																				
20 M $\Omega$	± 1% lect. + 2 díg.	10 K $\Omega$																																				
RANGO	DESCRIPCION	CONDICION PRUEBA																																				
	El display lee aprox. la caída de tensión de diodo.	Corriente directa aprox. 1mA, tensión inversa aprox. 2,8 V.																																				
	El zumbador se activa si la resistencia es menor a 30 $\Omega$ rms aprox.	Tensión en circuito abierto 2,8 V																																				
		<b>PRUEBA DE TRANSISTORES hFE</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>RANGO</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>CONDICION PRUEBA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>hFE</td> <td>El display lee aprox. el parámetro hFE (0-1000) en todo tipo de transistores.</td> <td>Corriente de base aprox. 10 <math>\mu\text{A}</math> VCC = 2,8V aprox.</td> </tr> </tbody> </table>	RANGO	DESCRIPCION	CONDICION PRUEBA	hFE	El display lee aprox. el parámetro hFE (0-1000) en todo tipo de transistores.	Corriente de base aprox. 10 $\mu\text{A}$ VCC = 2,8V aprox.																														
RANGO	DESCRIPCION	CONDICION PRUEBA																																				
hFE	El display lee aprox. el parámetro hFE (0-1000) en todo tipo de transistores.	Corriente de base aprox. 10 $\mu\text{A}$ VCC = 2,8V aprox.																																				

Fig. III.2 – Características Multímetro Digital



Un ejemplo: Al medir una tensión en un circuito de corriente continua con un multímetro cuyas características aparecen en la figura inferior, podríamos observar que el error de precisión es el 0,5% de la medida en cualquier escala y el error de lectura es de un dígito, lo que equivale a 0,01V si estamos en la escala de 20V y por tanto en la pantalla aparecen dos decimales.

### Aparatos analógicos

El error debido a un aparato analógico es la suma del error de clase y el error de lectura. El error de clase viene indicado en las especificaciones del aparato, normalmente mediante la palabra CLASE o el vocablo inglés CLASS.

Error de clase: Es un porcentaje del fondo de escala. El fondo de escala es el máximo valor medible del aparato. Ejemplo:

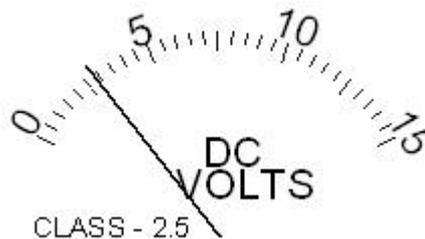


Fig. – III-3 – Aparato Analógico

Error de clase: 2,5

Medida: 3 V

Fondo de escala: 15 V

Error de clase:  $15 \cdot 2,5 / 100 = 0,375$  V

Observa que el error de clase es independiente del valor obtenido en la medida.

### Error de lectura

Es el error cometido en la lectura de las divisiones de la escala. Lo evalúa el operador. Esa cantidad varía según la persona que realice la medida y se expresa como la porción de la división mínima que el operador es capaz de diferenciar. Ejemplo:

Error de lectura: 1/2 división

Voltios/división: 0,5 V

Error de lectura:  $0,5 \cdot 1/2 = 0,25$  V

El error debido al aparato será la suma  $D = 0,375 + 0,25 = 0,6$  V donde se ha efectuado ya el redondeo correcto.

### Otros casos

En ocasiones se trabaja con aparatos de medida sencillos, como un reloj (digital o analógico) o una regla, y no se dispone de sus especificaciones técnicas. En ese caso se evaluará solamente el error de

lectura, tomando 1 dígito para los aparatos digitales y la porción de la división mínima que el operador es capaz de diferenciar para los analógicos.

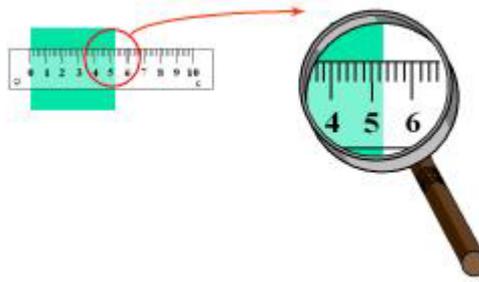


Fig. III.4 - Ejemplo

Ejemplo:

Valor observado = 5,2

Error de lectura = 0,2

Unidad = cm

Resultado  $L = 5,2 \pm 0,2$  cm

### Errores sistemáticos

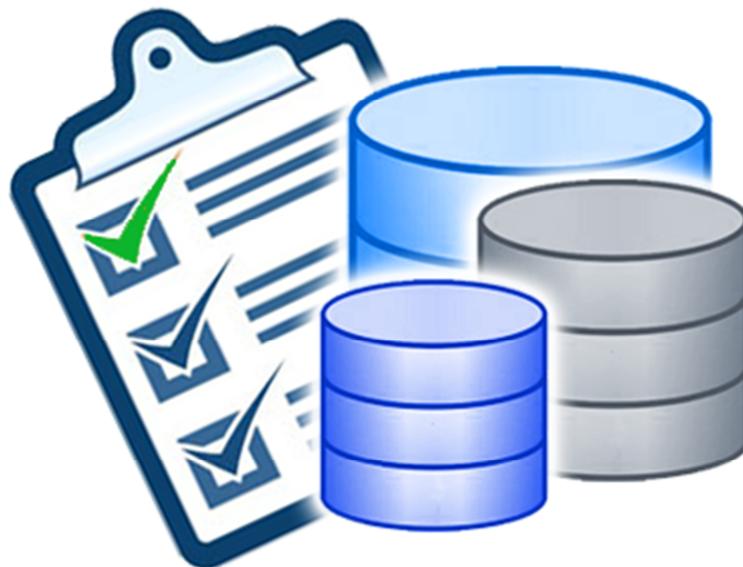
Los errores sistemáticos son debidos a defectos en los aparatos de medida o al método de trabajo. Normalmente actúan en el mismo sentido, no son aleatorios, siguiendo unas leyes físicas determinadas, de tal forma que en ocasiones se podrán calcular y compensar matemáticamente tras la medida. Un ejemplo podría ser el de una regla graduada pero dilatada por el calor, esa regla daría como resultado longitudes siempre menores que las reales. Otro ejemplo sería la medida de la corriente eléctrica que circula por un conductor mediante un amperímetro. Al introducir el amperímetro en el circuito éste se modifica, de manera que la corriente medida no es exactamente igual a la corriente que circulaba antes de colocar el amperímetro. En este ejemplo el propio aparato de medida modifica el resultado.

Los métodos para corregir estos errores sistemáticos son variados. En el caso de la regla dilatada habría que confeccionar una curva de calibrado, tal y como se describe en el próximo apartado. En el segundo caso bastaría con averiguar la resistencia del amperímetro y calcular con ella el error sistemático producido mediante el análisis del circuito.



# **ANEXO IV**

## **DATOS RECOPIRADOS DESDE LA ESTACION METEOROLOGICA**





Setting up BMP085

Reading Calibration Data

AC1: 10142; AC2: -1032; AC3: -14510; AC4: 34010; AC5: 24641; AC6: 22409; B1: 5498; B2: 5498; MB: -32768;  
MC: -11075; MD: 2432

Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.31 Altura: 397.93 Humedad: 64.80 %	Temp.DHT22: 18.30 C Tiempo: 9153 mills
Temp.BMP: 18.10 Presion: 966.23 Altura: 398.62 Humedad: 64.80 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 12767 mills
Temp.BMP: 18.10 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 64.80 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 16380 mills
Temp.BMP: 18.10 Presion: 966.17 Altura: 399.14 Humedad: 64.70 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 19994 mills
Temp.BMP: 18.10 Presion: 966.20 Altura: 398.88 Humedad: 64.70 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 23608 mills
Temp.BMP: 18.10 Presion: 966.14 Altura: 399.40 Humedad: 64.70 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 27220 mills
Temp.BMP: 18.10 Presion: 966.11 Altura: 399.66 Humedad: 64.70 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 30834 mills
Temp.BMP: 18.10 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 64.70 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 34448 mills
Temp.BMP: 18.10 Presion: 966.20 Altura: 398.88 Humedad: 64.70 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 38062 mills
Temp.BMP: 18.10 Presion: 966.23 Altura: 398.62 Humedad: 64.70 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 41674 mills
Temp.BMP: 18.10 Presion: 966.15 Altura: 399.32 Humedad: 64.60 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 45287 mills
Temp.BMP: 18.10 Presion: 966.18 Altura: 399.05 Humedad: 64.60 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 48901 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.21 Altura: 398.80 Humedad: 64.50 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 52514 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.21 Altura: 398.80 Humedad: 64.50 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 56128 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.16 Altura: 399.23 Humedad: 64.50 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 59741 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 64.60 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 63354 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 64.60 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 66968 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.24 Altura: 398.54 Humedad: 64.60 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 70582 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 64.60 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 74195 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.16 Altura: 399.23 Humedad: 64.50 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 77808 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 64.50 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 81422 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.11 Altura: 399.66 Humedad: 64.60 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 85036 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.13 Altura: 399.49 Humedad: 64.60 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 88649 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 64.60 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 92262 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.17 Altura: 399.14 Humedad: 64.60 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 95875 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.21 Altura: 398.80 Humedad: 64.70 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 99487 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.12 Altura: 399.57 Humedad: 64.50 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 103101 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 64.50 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 106716 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.18 Altura: 399.05 Humedad: 64.50 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 110329 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.18 Altura: 399.05 Humedad: 64.50 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 113944 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.13 Altura: 399.49 Humedad: 64.60 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 117559 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.18 Altura: 399.05 Humedad: 64.70 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 121172 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.12 Altura: 399.57 Humedad: 64.80 %	Temp.DHT22: 18.40 C Tiempo: 124787 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.18 Altura: 399.05 Humedad: 65.10 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 128402 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.25 Altura: 398.45 Humedad: 65.20 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 132017 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.14 Altura: 399.40 Humedad: 65.30 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 135630 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.06 Altura: 400.09 Humedad: 65.30 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 139246 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.12 Altura: 399.57 Humedad: 65.30 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 142861 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.24 Altura: 398.54 Humedad: 65.20 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 146475 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.14 Altura: 399.40 Humedad: 65.30 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 150089 mills

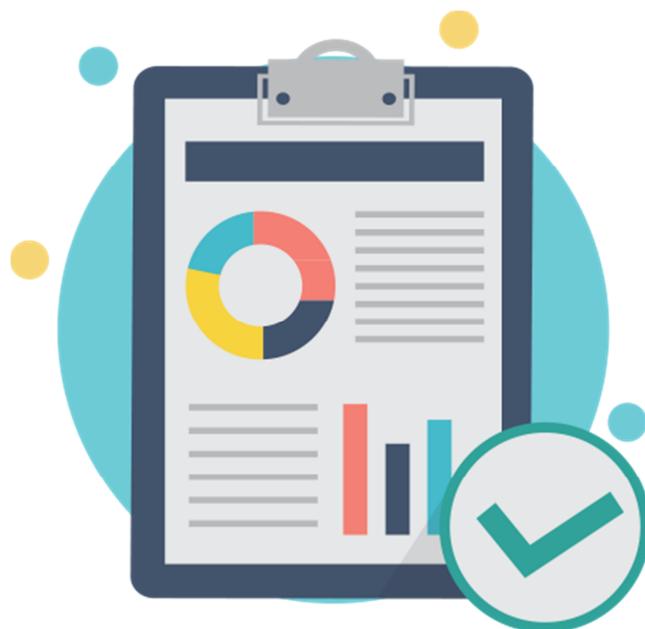


Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.16 Altura: 399.23 Humedad: 65.40 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 153704 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.17 Altura: 399.14 Humedad: 65.40 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 157318 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.17 Altura: 399.14 Humedad: 65.50 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 160932 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 65.50 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 164547 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.25 Altura: 398.45 Humedad: 65.50 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 168161 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.12 Altura: 399.57 Humedad: 65.40 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 171776 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.17 Altura: 399.14 Humedad: 65.50 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 175390 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.10 Altura: 399.75 Humedad: 65.40 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 179004 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.18 Altura: 399.05 Humedad: 65.40 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 182619 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.17 Altura: 399.14 Humedad: 65.40 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 186233 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.17 Altura: 399.14 Humedad: 65.50 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 189847 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 65.50 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 193462 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.16 Altura: 399.23 Humedad: 65.50 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 197076 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.15 Altura: 399.32 Humedad: 65.50 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 200690 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 65.50 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 204305 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.15 Altura: 399.32 Humedad: 65.30 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 207920 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.26 Altura: 398.37 Humedad: 65.20 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 211533 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.19 Altura: 398.97 Humedad: 65.10 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 215148 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.14 Altura: 399.40 Humedad: 65.10 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 218763 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.17 Altura: 399.14 Humedad: 65.10 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 222376 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.16 Altura: 399.23 Humedad: 65.10 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 225991 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.18 Altura: 399.05 Humedad: 64.90 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 229606 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.13 Altura: 399.49 Humedad: 64.90 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 233220 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.06 Altura: 400.09 Humedad: 64.80 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 236834 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.14 Altura: 399.40 Humedad: 64.80 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 240449 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.18 Altura: 399.05 Humedad: 64.80 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 244064 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.15 Altura: 399.32 Humedad: 64.80 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 247678 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.07 Altura: 400.01 Humedad: 64.80 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 251292 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.08 Altura: 399.92 Humedad: 64.80 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 254906 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.17 Altura: 399.14 Humedad: 64.90 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 258522 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.12 Altura: 399.57 Humedad: 64.90 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 262136 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.11 Altura: 399.66 Humedad: 64.90 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 265750 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.11 Altura: 399.66 Humedad: 64.90 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 269364 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.12 Altura: 399.57 Humedad: 64.90 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 272979 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.01 Altura: 400.52 Humedad: 64.90 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 276594 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.08 Altura: 399.92 Humedad: 65.10 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 280208 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.13 Altura: 399.49 Humedad: 65.30 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 283823 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.07 Altura: 400.01 Humedad: 65.40 %	Temp.DHT22: 18.50 C Tiempo: 287437 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.16 Altura: 399.23 Humedad: 65.50 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 291051 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.22 Altura: 398.71 Humedad: 65.60 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 294666 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.20 Altura: 398.88 Humedad: 65.70 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 298280 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.11 Altura: 399.66 Humedad: 65.70 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 301894 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 965.99 Altura: 400.70 Humedad: 65.60 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 305509 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.02 Altura: 400.44 Humedad: 65.30 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 309124 mills
Temp.BMP: 18.20 Presion: 966.08 Altura: 399.92 Humedad: 65.10 %	Temp.DHT22: 18.60 C Tiempo: 312737 mills



# **ANEXO V**

## **INFORME TÉCNICO DE LABORATORIO N° 6**





Informe técnico de laboratorio N° 6:

**Determinación de la zona de trabajo en la  
cámara de ensayos de un túnel de viento de  
cámara abierta**

Alumno: Stuchi, Fabricio  
Matricula: 33115057  
Materia: Aeronáutica General.  
Profesor: Ing. Ángel Galeasso.



### Abreviaturas

- $\mu$  : Viscosidad  
V: Velocidad  
 $\rho_{alc}$  : Densidad del Alcohol  
 $\Delta\rho_{alc}$  : Error en la toma de las lecturas en el densímetro.  
 $\rho$  : Densidad  
 $\rho_{aire}$ : Densidad del aire atmosférico o ambiente  
P: Presión  
T: Temperatura  
R: Constante de los gases  
 $\Delta T$  : Error cometido al medir la temperatura (factor humano y de apreciación)  
 $\Delta P$  : Error cometido al leer la variación de presión (factor humano y de apreciación)  
 $\Delta\rho_{aire}$  : Error por cálculo en la densidad del aire atmosférico  
 $\Delta T_m$  : Error en la lectura de la temperatura media (factor humano y de apreciación)  
 $T_m$  : Temperatura media  
 $\Delta V$  : Error en la velocidad  
 $\mu_0$  : Viscosidad referente a la temperatura  $T_0$  de referencia  
 $T_0$  : Temperatura de referencia  
 $\Delta\mu$  : Error por cálculo de la viscosidad  
 $\frac{R_e}{l}$  : Reynold / metro  
 $\Delta\frac{R_e}{l}$  : Error en el Reynold /metro  
 $\Delta P_{.Atm}$  : Error en la toma de las lecturas para la presión atmosférica  
P. rel: Presión relativa  
P. atm: Presión atmosférica  
 $\Delta h$  : Variación de la columna líquida de la sonda de presión total fija.  
 $\Delta h_{pts}$  : Variación de la columna líquida de la sonda móvil de presión total  
 $\Delta h_{ptt}$  : Variación de la columna líquida de la sonda de presión total fija.  
Pr: Presión de referencia  
Pts: Presión total sonda móvil  
Ptt: Presión total sonda fija  
Ptsc: Presión total sonda móvil corregida  
Prc: Presión de referencia Corregida  
Ptte: Presión total de la sonda fija corregida
- Factores de conversión
- $K^\circ = 273.15 + C^\circ$   
 $P_{(pascal)}: mm (hg) * 101325/760$   
 $P_{(pascal)}: H(\text{altura de la columna líquida en m}) * g (\text{gravedad}) * \rho (\text{densidad del líquido})$



**Practico de laboratorio N° 10**  
**Determinación de la zona de trabajo en la cámara de ensayos de un túnel de**  
**viento de cámara abierta**  
**Informe técnico N° 6**

**Resumen:**

En este práctico de laboratorio se realizó el relevamiento de presiones a lo largo de un eje longitudinal (cada cierta distancia que se especificara luego) y transversal al túnel del viento número 1. Con lo que luego se determinó la zona de trabajo de la misma dado que a mayor distancia las velocidades de la corriente fluida disminuyen.

**Objetivo:**

Determinar la zona de trabajo en la cámara de ensayos de un túnel subsónico a cámara abierta.

Fundamento teórico:

La zona de trabajo en la cámara de ensayos de un túnel de viento es aquella donde la distribución de la velocidad, según planos perpendiculares al flujo, resultan uniformes y de valor similar a la del flujo en el centro de la cámara. Adimensionalizando el campo de velocidades en cada plano con respecto de la velocidad del túnel,  $V_0$ , se unen los primeros puntos de cada plano que lleguen a la relación  $V/V_0=0.98$ . Uniendo los puntos anteriormente determinados para varios planos se delimita el área de trabajo de la cámara del túnel. Usualmente se determina la distribución de velocidades en tres planos: uno a la salida del túnel, otro a 40 cm. y el último a 80 cm. de la boca del túnel.<sup>1</sup>

Como el túnel es de cámara de trabajo abierta a la atmósfera, la presión estática en la cámara de ensayos es igual a la presión atmosférica.

**Descripción de la instalación:**

En esta oportunidad se hizo uso del barómetro<sup>2</sup> para realizar las mediciones correspondientes a la presión atmosférica para luego poder calcular la densidad del aire, un termómetro, un densímetro<sup>3</sup> para determinar la densidad del alcohol dentro del multimanómetro, el mutimanómetro, el mismo que fue utilizado para los ensayos realizados con anterioridad, también se utilizó un nivel electrónico para poder controlar la inclinación del multimanómetro. Por supuesto se empleó un túnel de viento, el número 1.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Se debe aclarar para evitar confusiones que esto es un aspecto teórico; en la práctica realizada se tomaron medidas en 7 planos distintos (0 cm, 30 cm, 60 cm, 90 cm, 120 cm, 150 cm, 200 cm).

<sup>2</sup> Se muestra un diagrama de un barómetro como así también una breve explicación del modo de uso en el anexo.

<sup>3</sup> Se muestra un diagrama del densímetro como así una explicación simple de su modo de uso en el anexo.

<sup>4</sup> Se muestra un diagrama del túnel de viento empleado y una descripción del mismo en el Anexo.



Se utilizó además dos sondas de presión total<sup>5</sup>, una destinada a relevar la presión total justo antes de que el flujo de aire salga de la boca del túnel y la otra montada sobre un sistema de corredera para poder desplazarla con facilidad a lo largo de lo que sería nuestro eje transversal.<sup>6</sup> Además este mecanismo se encontraba montado sobre un tren que se apoyaba sobre el riel fijado al suelo del laboratorio, se considera que el riel está alineado con el eje longitudinal del túnel de viento.

### **Metodología**

Los pasos que se siguieron para la realización del laboratorio fueron los siguientes:

- 1- Se tomaron los datos correspondientes a la presión y temperatura ambiente inicial usando el barómetro y el termómetro.
- 2- Se efectúan los controles pertinentes al multimanómetro: De que no posea burbujas de aire internas que puedan afectar las mediciones, como así también de que ninguna de las mangueras esté flexionada de manera que impida el correcto paso del fluido.
- 3- Se colocó la sonda móvil en el centro de la boca del túnel a la distancia  $X = 0$  se la calibró con respecto a la sonda fija.
- 4- Se tomaron las medidas correspondientes al desplazamiento transversal que sufriría a posteriori la sonda de presión total ubicada sobre el mecanismo, es decir se relevaron las medidas que arrojaba la regla metálica colocada en la parte inferior del soporte, determinando así donde terminaba la boca del túnel y delimitando así las zonas de la medición. Dividiendo el plano de trabajo en tres zonas, denominadas zona derecha, zona centro y zona izquierda (se encuentran aclaradas en la tabla). Resumiendo se dividió la zona donde desliza la sonda en tres partes:
  - Zona derecha : entre 12,5 y 22,5
  - Zona centro : entre 24,5 y 40,5
  - Zona izquierda : entre 42,5 y 52,5Se tomaron presiones moviendo en zona derecha e izquierda de a 1cm y de a 2cm en la zona centro.
- 5- Se realizan las conexiones de los tubos correspondientes a los sensores de presión total de control (ubicado un poco antes de la salida del flujo de aire por la boca del túnel de viento) y el de la toma de presión total montada sobre el sistema de desplazamiento longitudinal y transversal previamente explicado, con los acoples del multimanómetro.
- 6- Se puso en marcha el motor a una frecuencia de 50 Hz.
- 7- Se realizaron las mediciones en un comienzo a una distancia cero medida desde la boca del túnel de manera longitudinal a este, y de manera transversal las mediciones fueron tomadas en la zona central cada 2 cm. de separación una de la otra, y a cada lado cada 1 cm. durante 10 cm.
- 8- Esta operación se repitió para las distancias de 30 cm., 60 cm., 90 cm., 120 cm., 150 cm., 200 cm., medidos de manera longitudinal desde la salida de la boca.

<sup>5</sup> Los esquemas de las sondas de presión total se encuentran adosados en el anexo.

<sup>6</sup> En el anexo se adosa un esquema de la instalación.



- 9- Se apaga el motor y se relevan la presión y temperatura ambientes finales, como así también la densidad del líquido manométrito utilizado (alcohol).
12. Con los valores medidos se calculo la distribución de velocidades de cada plano u se adimensionalizo respecto a la velocidad del túnel  $V_0$ .
13. Se grafico las distribuciones de cada plano.
14. determinamos el número de Reynolds por metro.
15. Se extrajeron conclusiones.

## Desarrollo

Los cálculos aquí mostrados fueron realizados en el mismo orden con que aquí están escritos.

- Calculo de la densidad del aire atmosférico

$$\rho_{aire} \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{P(Pa)}{T(K) \cdot R \left( \frac{j}{kg \cdot K} \right)} = 1.116 \frac{kg}{m^3} \quad ^7 \text{ (el valor aquí indicado es el valor}$$

medio)

$$\Delta \rho_{aire} = \rho_{aire} \cdot \left( \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta P}{P} \right) = 1.116 * \left( \frac{1}{301.650} + \frac{0.05}{724.850} \right) = 0.003 \frac{kg}{m^3} \quad ^8$$

- Cálculo de la viscosidad del aire:

$$\mu_0 = 1.789 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$T_0 = 288.15K$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^{.75} = 0.0000171 \frac{kg}{m \cdot s} \quad ^9 \text{ (El valor aquí indicado corresponde al del}$$

valor medio de la viscosidad (ver tablas)).

$$\Delta \mu = 0.75 \cdot \frac{\Delta T}{T} \cdot \mu = 0.75 * \frac{1}{724.850} * 0.00001709 = \pm 1.768 * 10^{-8} \frac{kg}{m \cdot s}$$

Necesitamos calcular la siguiente relación:

<sup>7</sup> El cálculo de la densidad se efectuó tanto para los datos relevados en el inicio del ensayo como para los relevados al final.

<sup>8</sup> El delta de la constante de gases ( $\Delta R / R$ ) se desprecia.

<sup>9</sup> El cálculo de la viscosidad se efectuó tanto para los datos relevados en el inicio del ensayo como para los relevados al final.



$$\frac{V}{V_{\infty}} = \frac{\sqrt{\frac{2 * \rho_{alc} * g * \Delta h_{pts}}{\rho_{aire}}}}{\sqrt{\frac{2 * \rho_{alc} * g * \Delta h_{pttc}}{\rho_{aire}}}} = \sqrt{\frac{\Delta h_{ptsc}}{\Delta h_{pttc}}}$$

El error de  $V/V_{\infty}$  será el siguiente:

$$\Delta \frac{V}{V_{\infty}} = \frac{V}{V_{\infty}} * \left( \frac{\Delta(\Delta h_{ptsc})}{\Delta h_{ptsc}} + \frac{\Delta(\Delta h_{pttc})}{\Delta h_{pttc}} \right) * 1/2$$

- Velocidad y Número de Reynolds

$$V = \sqrt{\frac{2 * \rho_{alc} * g * \Delta h}{\rho_{aire}}} = \sqrt{\frac{2 * 825 * 9.8066 * 39.737}{1000 * 1.116}} = 24 \text{ m/s}$$

$$\Delta V = \frac{1}{2} V \left( \frac{\Delta(\Delta h)}{\Delta h} + \frac{\Delta \rho_{alc}}{\rho_{alc}} + \frac{\Delta \rho_{aire}}{\rho_{aire}} \right) = \frac{1}{2} * 24 * \left( \frac{4 * \text{sen}(38.1)}{39.737} + \frac{5}{825} + \frac{0.00377}{1.116} \right) = 0.859 \text{ m/s}$$

Donde el  $\Delta \rho_{alc}$  es igual a  $5 \text{ Kg/m}^3$

Para el cálculo del Reynold por metro se utilizo la siguiente expresión:

$$\frac{R_e}{l} = \frac{\rho_{aire} \cdot V}{\mu} = \frac{1.116 * 24}{0.0000171} = 1567428.203$$

Y para el cálculo del error de la misma se utilizo la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta R_e}{l} = \frac{R_e}{l} \cdot \left( \frac{\Delta \rho_{aire}}{\rho_{aire}} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta \mu}{\mu} \right) = 1567428.20 * \left( \frac{0.00377}{1.116} + \frac{0.8587}{24.003} + \frac{1.76829 * 10^{-8}}{0.00001709} \right) = 62991.058$$

En este laboratorio trabajamos con dos sondas de presión total, una ubicada en la salida del túnel de viento (fija) y la otra en el sistema montado sobre el riel (móvil).

Si en un comienzo tenemos ambas sondas relativamente cerca una de la otra y realizamos una serie de mediciones (una por cada sonda), corrigiendo estas presiones y realizando el promedio de las presiones Pttc. (presión total de la sonda fija) y Ptsc. (presión total de la sonda móvil sobre el riel), si el promedio de cada una coincide en valor numérico no hay problema el ensayo y corrección de presiones se realizara de manera habitual de lo contrario se deberá de realizar la siguiente corrección:

$$es = Ptsc - Pttc$$

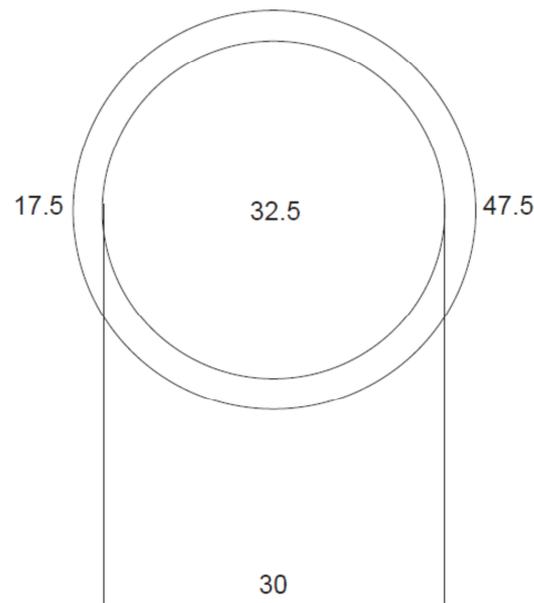
<sup>10</sup> El error a considerar para la presión estática corregida de la sonda y para la presión total corregida de la sonda será de 4 mm. (dado que resulta de una corrección)



Luego:

$$\begin{aligned}Prc &= Pr - e_o \\ Pttc &= (Ptt - e_o - Prc) * \text{Sen } \alpha \\ Pts_c &= (Pts - e_o - Prc - e_s) * \text{Sen } \alpha\end{aligned}$$

Además de todo esto se realizó una corrección referente a las medidas que se tomaron durante el barrido de las presiones de manera transversal, determinando como cero a la posición 32.5 cm. dado que resulta ser el centro de la boca de salida del túnel de viento.



Por lo que para poder obtener del  $Y_l$  (Y leído) el  $Y_c$  (Y corregido) tendremos que hacer la siguiente operación:

$$Y_c = Y_l - 32.5$$



Trabajo Practico N° 10  
Informe tecnico N° 6

inicio 17:00 hs				
	Presión (mm hg)	Presión (pa)	Temperatura (C°)	temperatura (K°)
	724,80	96632,053	29	302,15
	724,60	96605,388	29	302,15
	724,90	96645,385	29	302,15
valores medios	724,767	96627,609	29	302,15

Final 19:00 Hs				
	Presión (mm hg)	Presión (pa)	Temperatura (C°)	temperatura (K°)
	724,80	96632,053	28	301,15
	725,00	96658,717	28	301,15
	725,00	96658,717	28	301,15
valores medios	724,933	96649,829	28	301,15

Valores med finales	724,850	96638,719	28,5	301,650
---------------------	---------	-----------	------	---------

Densidad inicial	1,114	kg/m <sup>3</sup>		
Densidad final	1,118	kg/m <sup>3</sup>	Densidad media	1,116 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad inicial	1,70649E-05	Kg/mseg	Viscosidad media	0,00001709 Kg/mseg
Viscosidad final	1,71216E-05	Kg/mseg		

Densidad del alcohol	825	kg/m <sup>3</sup>
angulo de inclinacion del multimanometro	38,1	grados

Datos de los errores a cero						
	A	B	C	D=A-eo	E=(B-eo-D)*Sen 38,1	F=(C-eo-D)*Sen 38,1
	Pr	Ptt	Pts	Prc	Pttc	Ptsc
e0	-19	-19	-19			
	-20	45	45	-1,000	40,107	40,107
	-19	46	46	0,000	40,107	40,107
	-19	45	45	0,000	39,490	39,490
	-19	45	45	0,000	39,490	39,490
	-19	45	45	0,000	39,490	39,490
					39,737	39,737



Posición (en x=0)	Zona derecha										Zona centro										Zona izquierda											
	Y (Cm)	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	24.5	25.5	26.5	28.5	30.5	32.5	34.5	36.5	38.5	40.5	42.5	43.5	44.5	45.5	46.5	47.5	48.5	49.5	50.5	51.5
Pr	-20.00	-19.00	-18.00	-17.00	-16.00	-15.00	-14.00	-13.00	-12.00	-11.00	-10.00	-8.00	-6.00	-4.00	-2.00	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	20.00
Ptt	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Pts	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
Ptc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
5=(2+e0)/ten 38.1)	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	39.460	
6=(3+e0)/ten 38.1)	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	-0.617	
W'voo	0.125	0.125	0.125	0.125	0.124	0.124	0.124	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	
errores V/Voo	0.608	0.598	0.588	0.578	0.568	0.558	0.548	0.538	0.528	0.518	0.508	0.498	0.488	0.478	0.468	0.458	0.448	0.438	0.428	0.418	0.408	0.398	0.388	0.378	0.368	0.358	0.348	0.338	0.328	0.318	0.308	

Posición (en X=30)	Zona derecha										Zona centro										Zona izquierda											
	Y (Cm)	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	24.5	25.5	26.5	28.5	30.5	32.5	34.5	36.5	38.5	40.5	42.5	43.5	44.5	45.5	46.5	47.5	48.5	49.5	50.5	51.5
Pr	-20.00	-19.00	-18.00	-17.00	-16.00	-15.00	-14.00	-13.00	-12.00	-11.00	-10.00	-8.00	-6.00	-4.00	-2.00	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	20.00
Ptt	46	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Pts	-19	-19	-18	-15	-8	2	16	20	41	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Ptc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
5=(2+e0)/ten 38.1)	40.107	39.490	39.460	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	
6=(3+e0)/ten 38.1)	0.000	0.000	0.617	2.488	5.787	12.988	21.596	24.084	37.022	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	
W'voo	0.000	0.000	0.125	0.250	0.415	0.573	0.740	0.781	0.968	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
errores V/Voo	#DIV/0!	0.588	0.588	0.588	0.578	0.568	0.558	0.548	0.538	0.528	0.518	0.508	0.498	0.488	0.478	0.468	0.458	0.448	0.438	0.428	0.418	0.408	0.398	0.388	0.378	0.368	0.358	0.348	0.338	0.328	0.318	

Posición (X=60)	Zona derecha										Zona centro										Zona izquierda											
	Y (Cm)	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	24.5	25.5	26.5	28.5	30.5	32.5	34.5	36.5	38.5	40.5	42.5	43.5	44.5	45.5	46.5	47.5	48.5	49.5	50.5	51.5
Pr	-20.00	-19.00	-18.00	-17.00	-16.00	-15.00	-14.00	-13.00	-12.00	-11.00	-10.00	-8.00	-6.00	-4.00	-2.00	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	20.00
Ptt	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Pts	-19	-16	-15	-10	-6	-10	10	15	25	22	27	43	44	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Ptc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
5=(2+e0)/ten 38.1)	39.480	39.490	39.460	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	39.450	
6=(3+e0)/ten 38.1)	0.000	1.851	2.488	5.553	9.021	5.553	17.894	20.979	27.150	25.298	28.394	38.256	38.873	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	
W'voo	0.000	0.217	0.250	0.375	0.451	0.375	0.873	0.729	0.929	0.900	0.948	0.984	0.982	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
errores V/Voo	#DIV/0!	0.302	0.286	0.190	0.167	0.190	0.135	0.131	0.127	0.128	0.127	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	



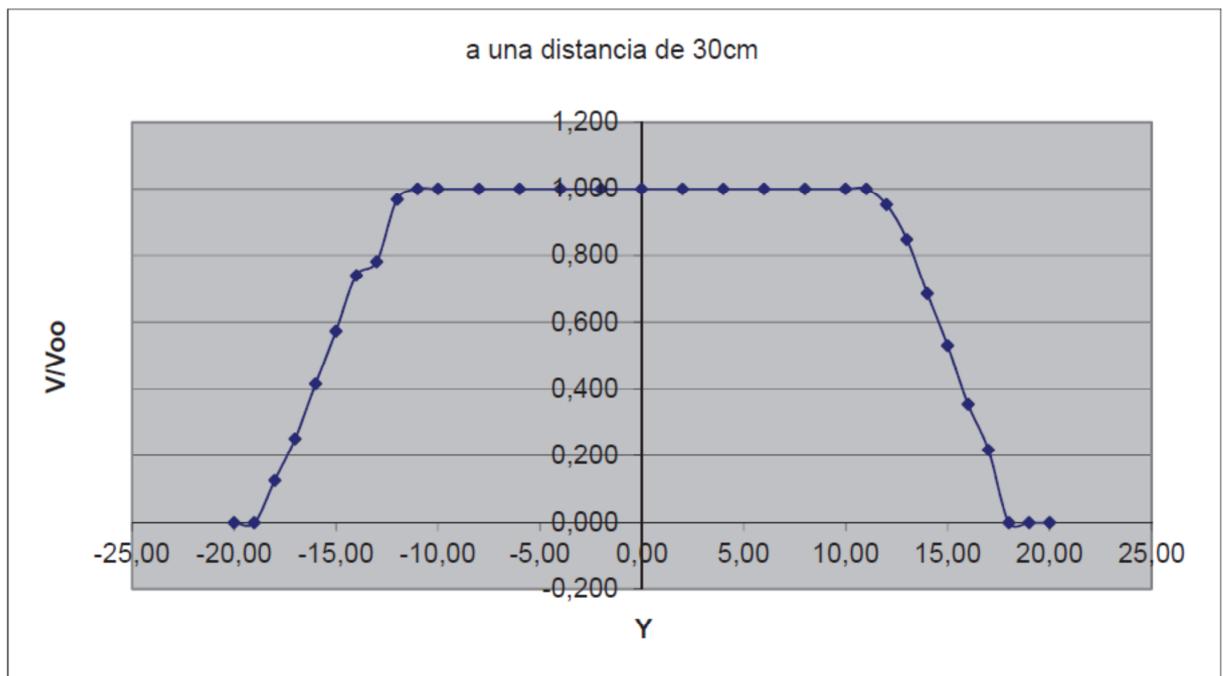
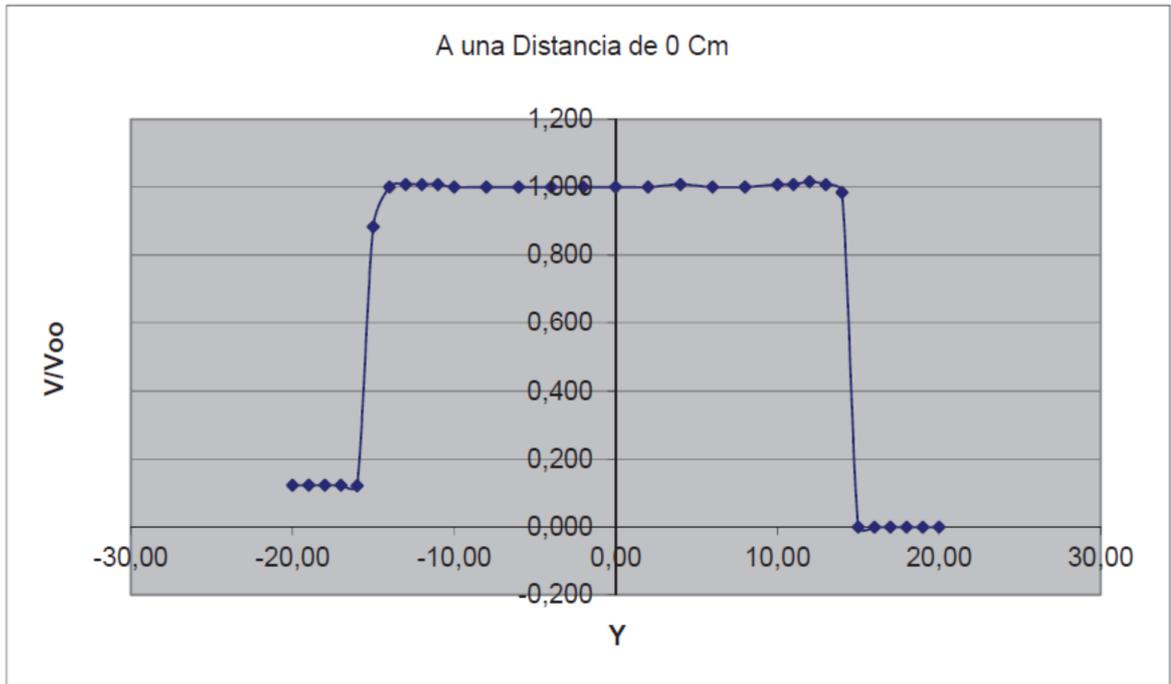
Posición (en X=90)	Zona derecha										Zona centro										Zona izquierda										
	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	24.5	26.5	28.5	30.5	32.5	34.5	36.5	38.5	40.5	42.5	43.5	44.5	45.5	46.5	47.5	48.5	50.5	51.5	52.5	
Y (cm)	-20.00	-19.00	-18.00	-17.00	-16.00	-15.00	-14.00	-13.00	-12.00	-11.00	-10.00	-8.00	-6.00	-4.00	-2.00	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Pr	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	
Ptt	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
Pts	-15	-15	-12	-9	-5	0	8	11	17	22	28	37	42	44	45	46	46	45	42	36	28	22	16	10	3	-1	-5	-9	-12	-15	
Prc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ptc	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	
Pisc	2.468	2.468	4.319	6.170	8.039	11.724	16.660	18.511	22.213	25.298	29.001	34.554	37.639	38.873	39.460	40.107	40.107	39.460	37.639	33.527	28.001	25.298	21.596	17.894	13.575	11.107	8.639	6.170	4.319	2.468	1.234
V/Voo	0.250	0.250	0.331	0.395	0.468	0.546	0.650	0.685	0.750	0.800	0.857	0.935	0.976	0.992	1.000	1.008	1.008	1.000	0.976	0.927	0.857	0.800	0.740	0.673	0.598	0.530	0.468	0.395	0.331	0.250	0.177
error de V/Voo	0.266	0.210	0.183	0.149	0.137	0.134	0.130	0.128	0.126	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.126	0.128	0.131	0.135	0.143	0.151	0.163	0.183	0.210	0.266	0.365	

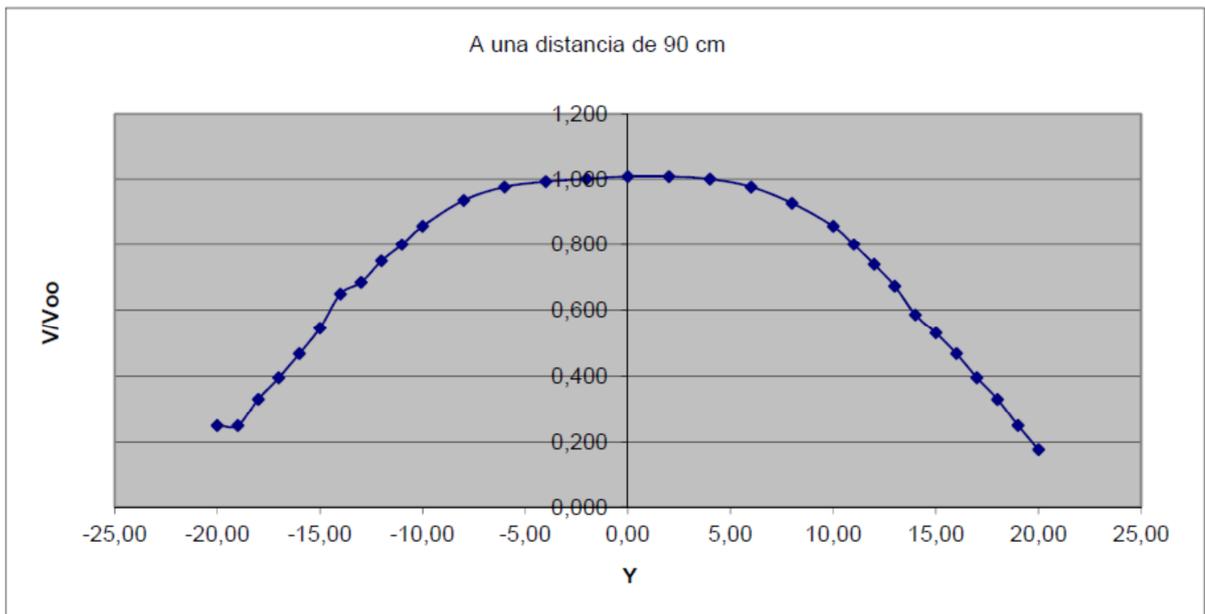
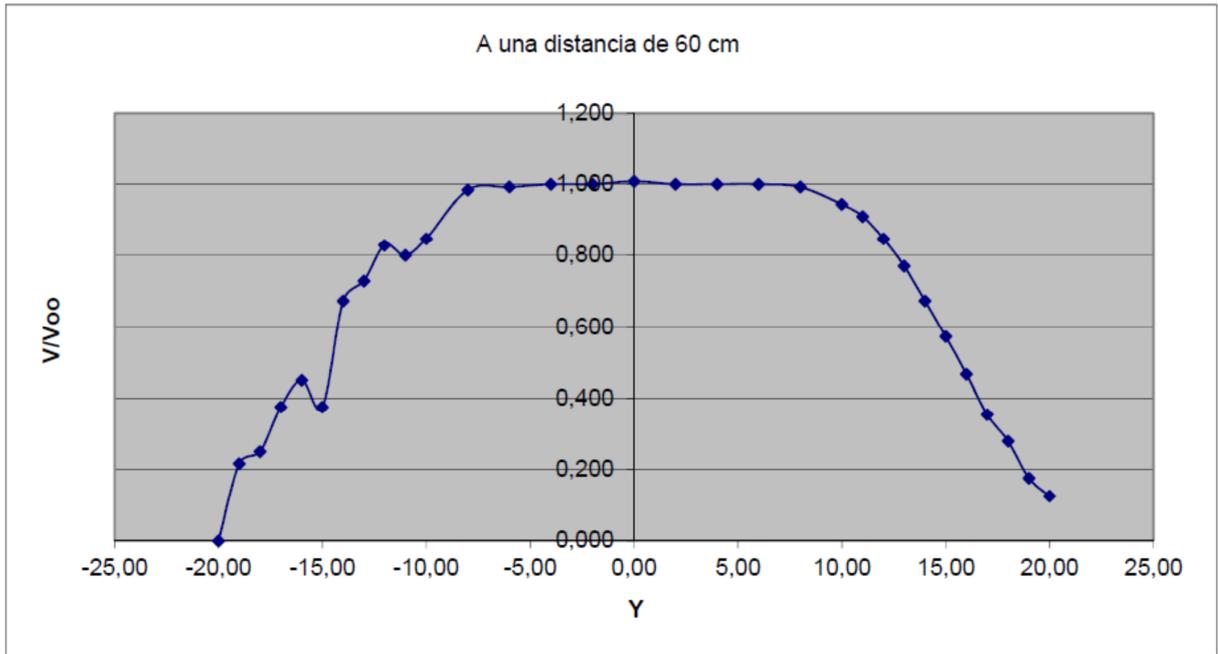
Posición (en X=120)	Zona derecha										Zona centro										Zona izquierda										
	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	24.5	26.5	28.5	30.5	32.5	34.5	36.5	38.5	40.5	42.5	43.5	44.5	45.5	46.5	47.5	48.5	50.5	51.5	52.5	
Y (cm)	-20.00	-19.00	-18.00	-17.00	-16.00	-15.00	-14.00	-13.00	-12.00	-11.00	-10.00	-8.00	-6.00	-4.00	-2.00	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Pr	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19
Ptt	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Pts	-12	-11	-10	-8	-5	-2	2	7	11	15	20	27	35	40	43	45	44	36	35	26	18	15	10	7	0	-3	-6	-8	-10	-13	-15
Prc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ptc	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490
Pisc	4.319	4.936	5.553	6.177	6.839	10.460	12.589	16.043	18.511	20.979	24.064	28.384	33.937	36.405	38.256	39.460	38.873	35.789	33.320	27.767	22.830	20.979	17.894	16.043	11.724	9.873	8.021	6.767	5.553	3.702	2.468
V/Voo	0.331	0.354	0.375	0.415	0.468	0.515	0.573	0.637	0.685	0.729	0.781	0.848	0.927	0.960	0.984	1.000	0.992	0.952	0.919	0.839	0.760	0.729	0.673	0.637	0.545	0.500	0.451	0.415	0.375	0.306	0.250
error de V/Voo	0.210	0.199	0.190	0.177	0.163	0.153	0.146	0.138	0.134	0.131	0.129	0.127	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.127	0.130	0.131	0.135	0.138	0.149	0.156	0.167	0.177	0.190	0.223	0.266

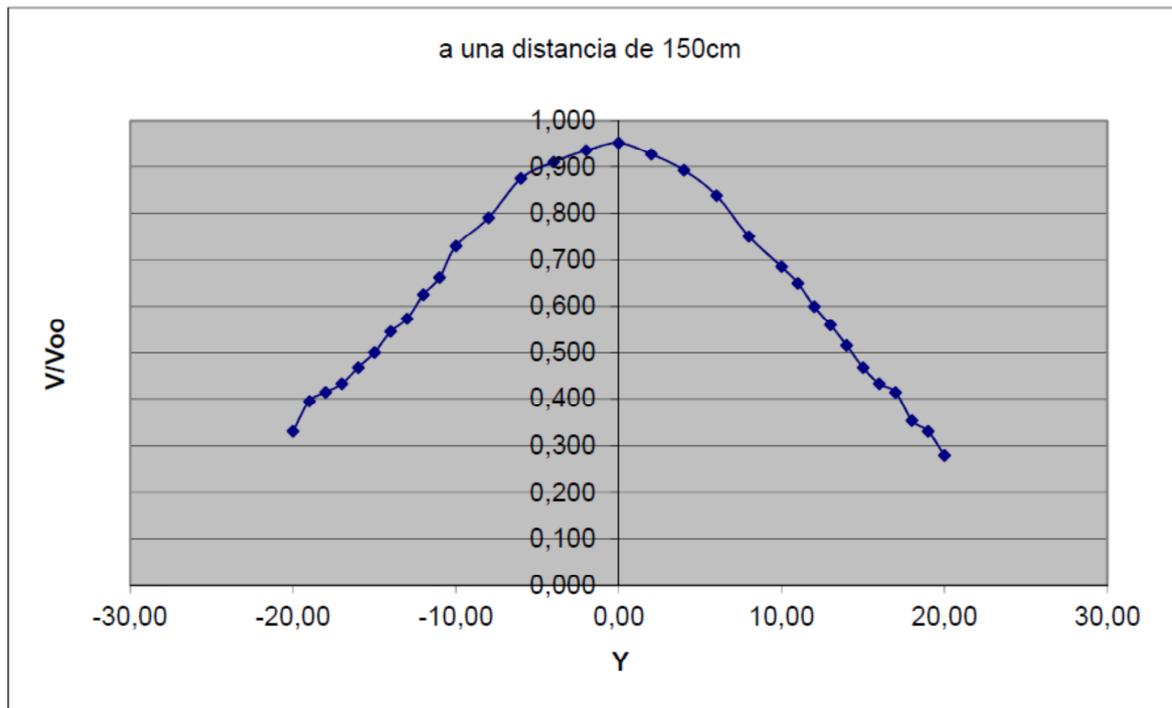
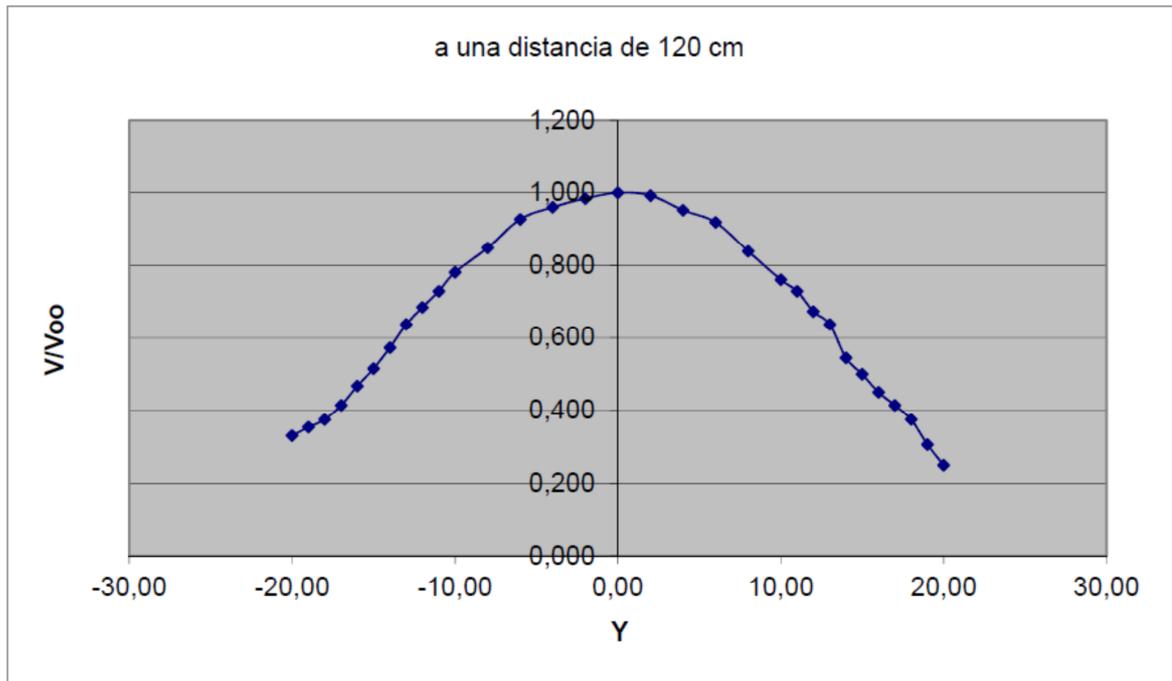
Posición (en X=150)	Zona derecha										Zona centro										Zona izquierda										
	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	24.5	26.5	28.5	30.5	32.5	34.5	36.5	38.5	40.5	42.5	43.5	44.5	45.5	46.5	47.5	48.5	50.5	51.5	52.5	
Y (cm)	-20.00	-19.00	-18.00	-17.00	-16.00	-15.00	-14.00	-13.00	-12.00	-11.00	-10.00	-8.00	-6.00	-4.00	-2.00	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Pr	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19
Ptt	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Pts	-12	-9	-8	-7	-5	-3	0	2	6	9	15	21	30	34	37	39	36	32	26	17	11	8	4	1	-2	-5	-7	-8	-11	-12	-14
Prc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ptc	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490	39.490
Pisc	4.319	6.170	7.404	8.639	9.873	11.724	12.958	15.426	17.277	20.979	24.681	30.235	32.703	34.554	35.789	33.837	31.469	27.767	22.213	18.511	16.660	14.192	12.341	10.490	8.639	7.404	6.767	4.936	4.319	3.085	1.851
V/Voo	0.331	0.385	0.415	0.433	0.468	0.500	0.546	0.573	0.625	0.661	0.729	0.791	0.875	0.910	0.935	0.952	0.927	0.883	0.839	0.750	0.685	0.650	0.599	0.559	0.515	0.488	0.433	0.415	0.354	0.280	0.210
error de V/Voo	0.210	0.183	0.177	0.171	0.163	0.156	0.149	0.145	0.139	0.136	0.131	0.128	0.126	0.126	0.125	0.125	0.125	0.126	0.127	0.130	0.134	0.137	0.142	0.147	0.153	0.163	0.171	0.177	0.199	0.210	0.241

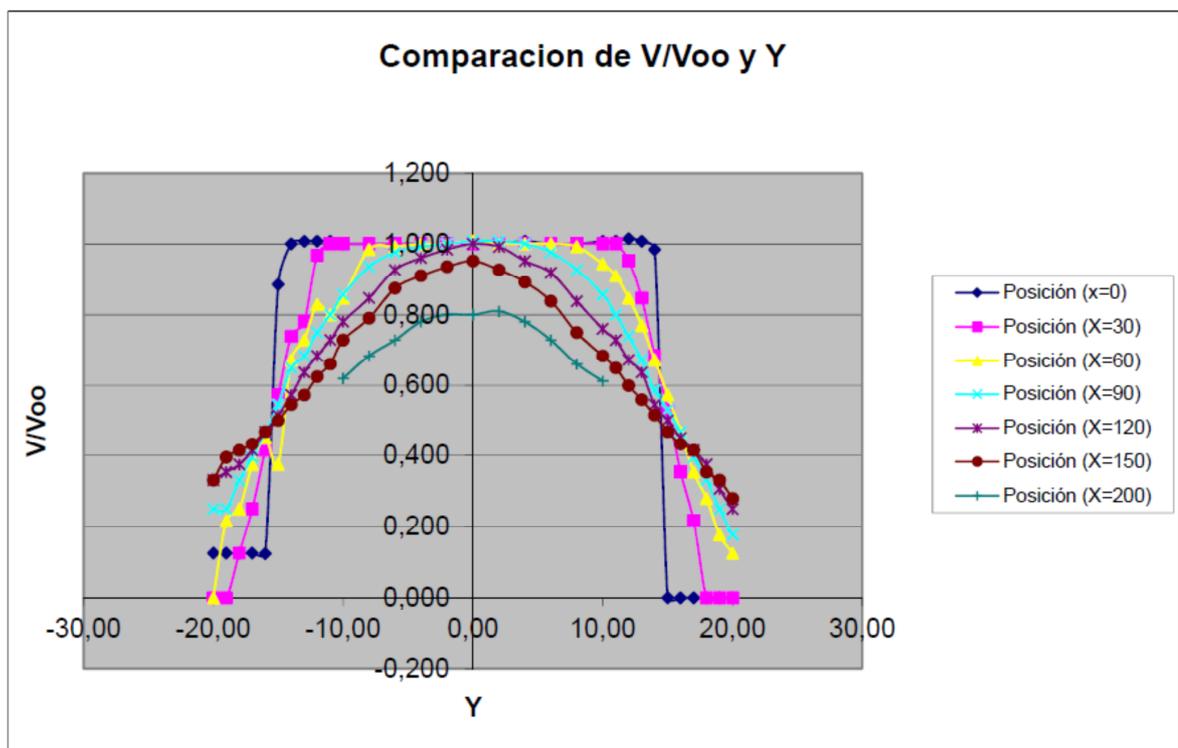
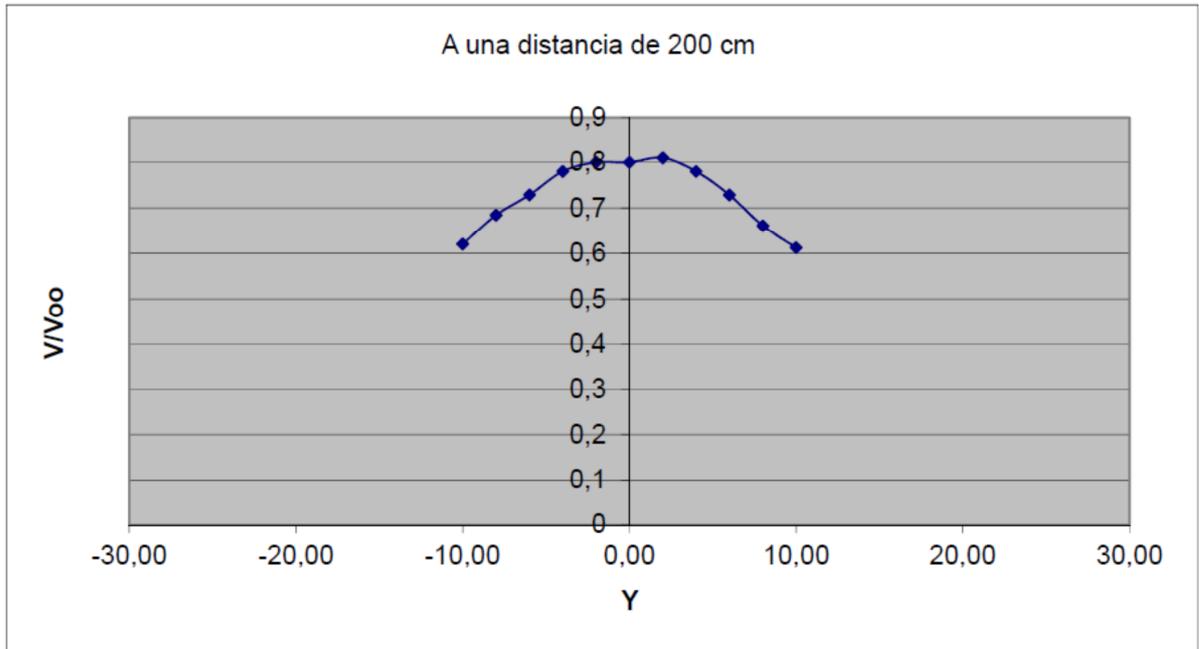


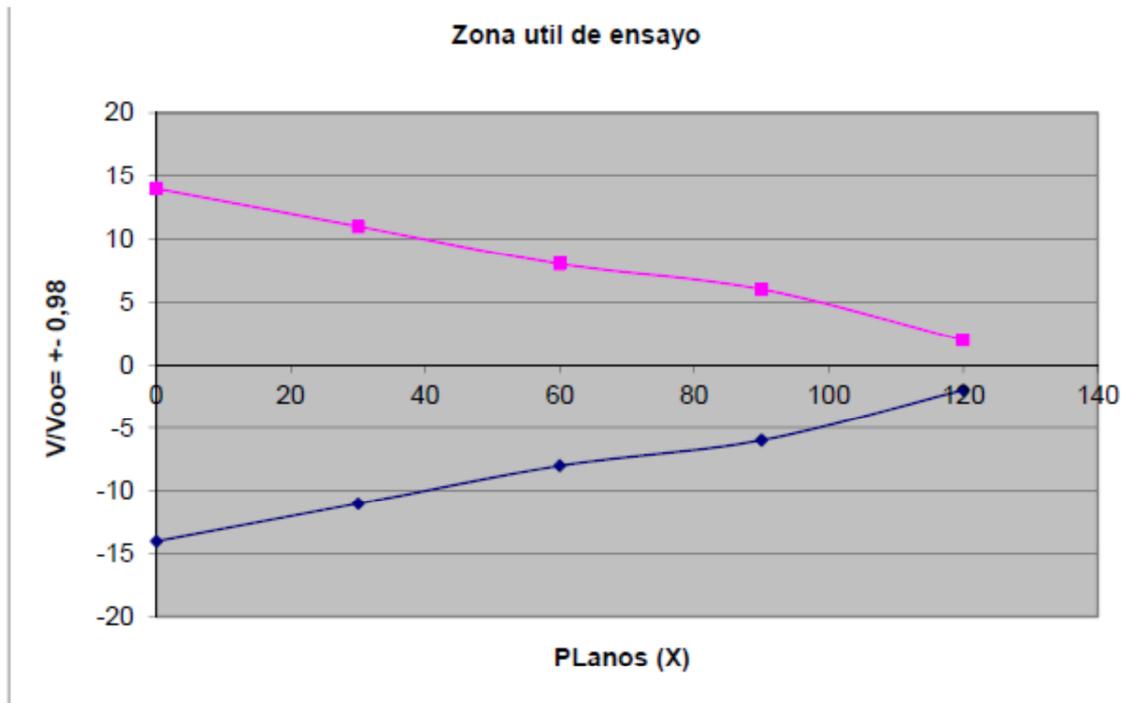
		Zona centro													
Posicion (en X=200)	Y (Cm)	22,5	24,5	26,5	28,5	30,5	32,5	34,5	36,5	38,5	40,5	42,5			
1,00	Pr	-10,00	-8,00	-6,00	-4,00	-2,00	0,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00			
2,00	Ptt	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19	-19			
3,00	Pls	46	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45			
4=1+eo	Prc	6	11	15	20	22	22	23	20	15	9	5			
5=(2,4+eo) <sup>Y</sup> (sen 38,1)	Pltc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
6=(3,4+eo) <sup>Y</sup> (seno 38,1)	Plsc	40,107	39,490	38,490	39,490	39,490	39,490	38,490	38,490	39,490	39,490	38,490			
raiz(5/6)	V/Voo	15,426	18,511	20,979	24,064	25,298	25,298	25,916	24,064	20,979	17,277	14,809			
error de V/Voo		0,620	0,685	0,729	0,781	0,800	0,800	0,810	0,781	0,729	0,661	0,612			
		0,137	0,134	0,131	0,129	0,128	0,128	0,128	0,129	0,131	0,136	0,140			













### Conclusión

Según los cálculos realizados podemos arribar a las siguientes conclusiones:

Para una velocidad de 24.003 m/s medida inmediatamente después de la salida del túnel con un número de Reynold por metro de 1567428 aproximadamente. Tendremos las siguientes áreas de trabajo o de ensayo, según los siguientes planos ubicados a una distancia X de:

X = 0 cm.

- Parte Izquierda: -14.00 cm.
- Parte derecha: 14.00 cm.
- Centro: 0.00 cm.

X=30 cm.

- Parte Izquierda: -11
- Parte derecha: 11
- Centro: 0

X=60 cm.

- Parte Izquierda: -8
- Parte derecha: 8
- Centro: 0

X= 90 cm.

- Parte Izquierda: -6
- Parte derecha: 6
- Centro: 0

X=120 cm.

- Parte Izquierda: -2
- Parte derecha: 2
- Centro: 0

Se debe tener presente que el cono se cierra mas allá de los 120 cm. pero antes de los 150 cm., solo sabremos de manera correcta el comportamiento del fluido hasta los 120 cm.

El eje de la cámara de ensayo se encuentra sobre el eje longitudinal del túnel ( $Z = 0$ ).

Se pueden observar sobre la tabla valores mayores a uno en  $V/V_{00}$ , esto se debe a errores de medición.

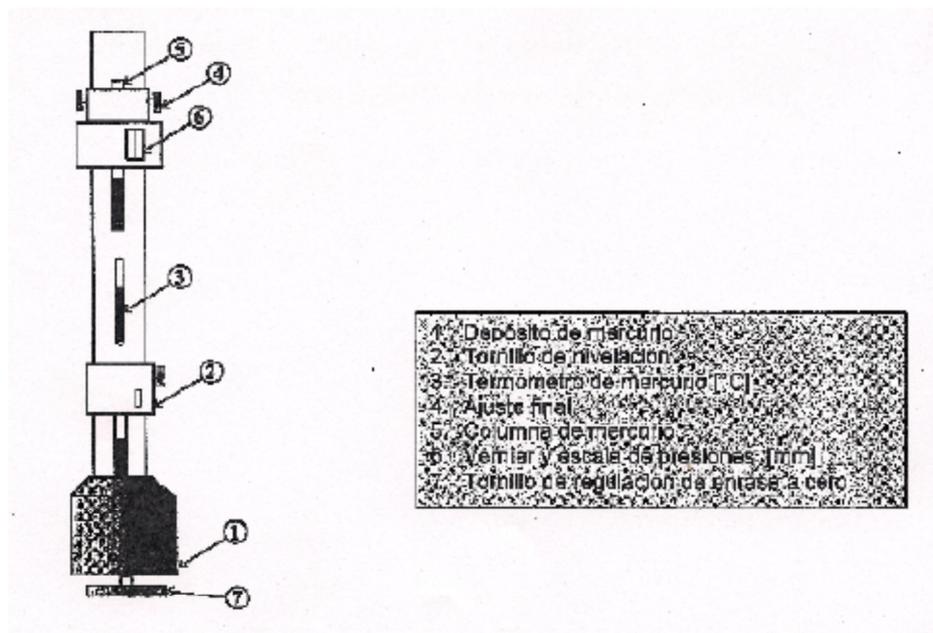


# ANEXO

### Anexo 1:

La manera de proceder a la hora de determinar la presión atmosférica empleando un barómetro será la siguiente:

Lo primero que se debe de hacer es graduar a cero el nivel del menisco en la columna inferior acercando el tornillo de nivelación, colocándolo en cero, es decir, el cero de la regla móvil con el de la regla fija inferior y luego se debe de colocar el menisco inferior justo a nivel con la parte inferior de este tornillo de nivelación, para esto se utiliza el tornillo de regulación que consta en su interior de una membrana que logra que el nivel del liquido suba o baje según el sentido en que se gire el tornillo. Una vez que hemos logrado esto seguiremos por enrasar el menisco en la parte superior con la parte inferior de la escala móvil superior; concluido esto debemos de observar cual es la medición que arroja el instrumento y estos se logra de manera similar a como medimos con un calibre, se mira cual es el numero de línea de la escala fija que coincide perfectamente (según nuestra visión) con el cero de la escala móvil.



## Anexo 2

La forma en que se debe de operar con un densímetro es relativamente fácil.

Lo primero que se debe de realizar es colocar el fluido que se desea medir en un recipiente cualquiera, luego de esto se debe de sumergir el densímetro dentro del recipiente con el liquido, de manera suave, y se deberá de esperar a que el instrumento deje de oscilar de arriba hacia abajo. Una vez que el mismo se encuentra en equilibrio en el fluido a medir se realiza la medición sobre la escala graduada que existe sobre el instrumento.

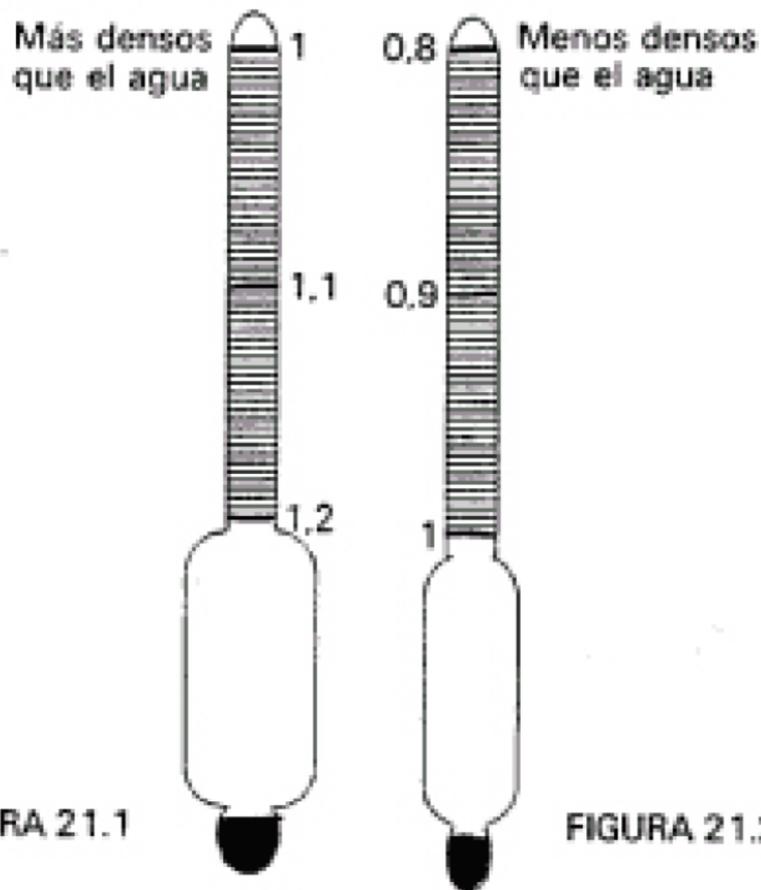
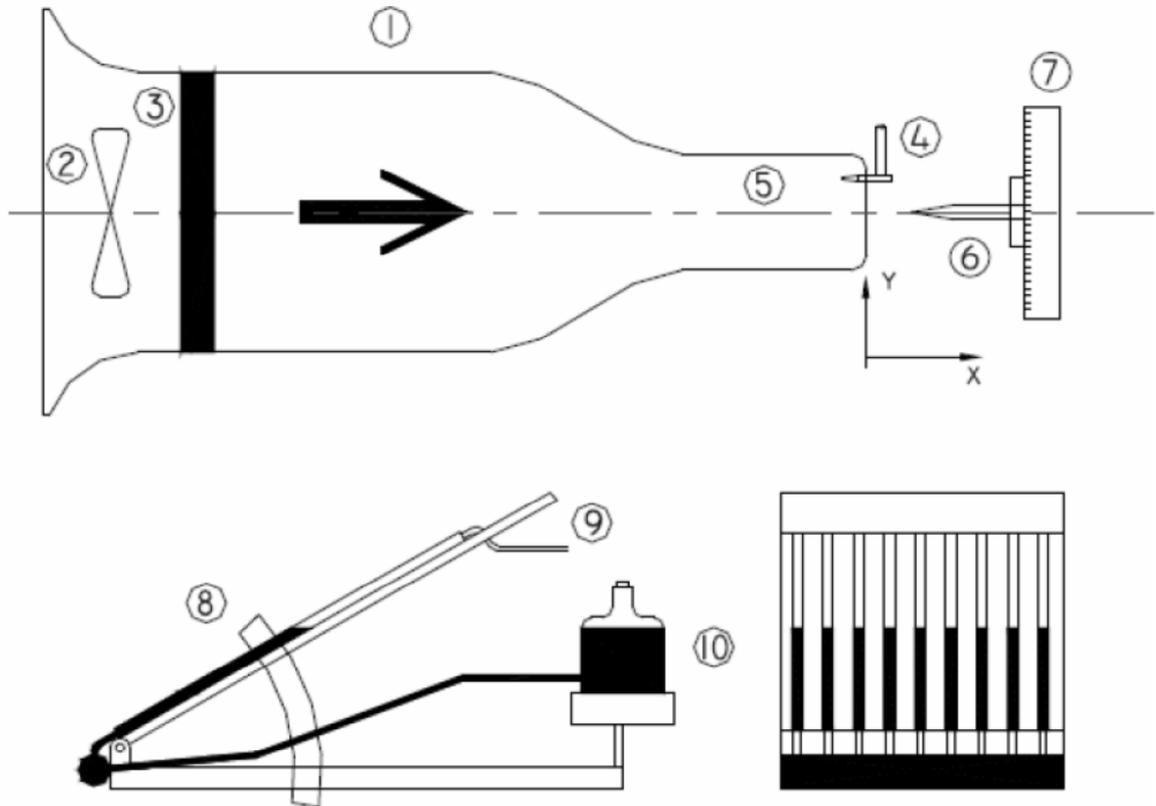


FIGURA 21.1

FIGURA 21.2

Los densímetros no son muy precisos.

### Anexo 3



1. TUNEL DE VIENTO
2. PELETA IMPULSORA DE AIRE
3. RECTIFICADOR DE PULSO
4. TOMA DE PRESION TOTAL DE REFERENCIA
5. DIVERGENTE

6. SONTA DE PRESION TOTAL
7. GUIA REGLADA PARA UBICACION DE LA SANDA
8. GONIOMETRO DE INCLINACION DEL MULTIMANOMETRO
9. CONECCION DEL MULTIMANOMETRO A LA SONTA
10. DEPOSITO DE ALCOHOL



### **Bibliografía**

- SIRENA, José A: *Aeronáutica general*, Editorial Universitas.
- GARCÍA, Jorge - GALEASSO, Ángel: *Guía de trabajos prácticos de Aeronáutica General*, Editorial Universitas.