

# **PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**Titulación: Ingeniería Técnica de Telecomunicación  
especialidad Sistemas Electrónicos**

**AUTORA: NAOUAL YEMLAHI**

**DIRECTOR: FRANCESC XAVIER ROSET JUAN**

**FECHA: Junio 2009**

## **Resumen:**

En el presente trabajo se ha diseñado e implementado una estación meteorológica que mide temperatura, humedad relativa y nivel de lluvia acumulada.

El sistema se basa en hacer las medidas de temperatura y humedad relativa, y nivel de lluvia. El sistema utiliza un sensor resistivo para medir la temperatura, dos sensores capacitivos para medir la humedad relativa y un sensor para medir la lluvia. Pero antes se ha realizado una búsqueda de sensores que existen en el mercado actual, con el objetivo de elegir correctamente los sensores, que mejor se adapten a nuestros requisitos.

Una vez seleccionados los sensores, se describen las configuraciones para el sensor de temperatura, humedad y nivel de lluvia. De igual modo se detallan los sistemas de temperatura, humedad y nivel de agua respectivamente. En todos los casos se ha hecho los cálculos necesarios a partir de las especificaciones de cada sensor y se ha justificado la elección de todos los componentes que forman cada sistema.

Después de diseñar, implementar y verificar la estación meteorológica se ha utilizado un sistema para poder almacenar y visualizar datos medidos en PC utilizando el programa LabVIEW en su versión 8.5 mediante el bus GPIB (General Purpose Interface Bus) para luego guárdalos en un fichero Microsoft Excel y visualizarlos mediante gráficos en tiempo real.

Finalmente se hace una estimación de costes de cada uno de los componentes de todo el sistema de medida.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCION Y OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
1 – Introducción.....	6
2 – Objetivos.....	7
<b>CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN A LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS</b>	
2.1 - La atmosfera.....	8
2.1.1 Definición.....	8
2.2.2 Composición y diferentes capas de la atmósfera.....	8
2.2 - Estaciones meteorológicas.....	10
<b>CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS</b>	
3.1- Introducción.....	11
3.2- Sensores.....	11
3.2.1- Tipos de sensores.....	11
3.2.2- Sensores de temperatura.....	11
3.2.2.1- Tipos de sensores de temperatura.....	12
3.2.3- Sensores de humedad relativa.....	14
3.2.3.1- Tipos de sensores de la humedad.....	14
3.2.4- Sensores de nivel de lluvia.....	15
3.3- Elección sensor de temperatura.....	17
3.3.1 – Termistores tipo PTC.....	17
3.3.2 – Termistores tipo NTC.....	18
3.4 -Elección de sensor de humedad.....	20
3.4.1 -Sensor de humedad HIH3610.....	21
3.4.2 – Sensor de humedad acondicionado HU10.....	22
3.5- Elección de sensor de nivel de lluvia.....	24
<b>CAPÍTULO 4: Diseño de las cadenas de las medidas de la estación meteorológica</b>	
4.1- Introducción.....	26
4.2- Cadena de medida de la temperatura.....	26
4.3- Cadena de medida de humedad.....	32
4.3.1 Sensor de humedad HIH3610.....	32
4.3.2 Sensor de humedad HU10.....	34
4.4 - Cadena de medida del nivel de agua.....	37
4.5 Implementación del amplificador de instrumentación.....	42

## **CAPÍTULO 5: Diseño y desarrollo del software**

5.1- Introducción.....	45
5.2-Entorno de programación .....	45
5.3.Protocolo de comunicación.....	46
5.3.1 Bus de instrumentación GPIB.....	46
5.4 -Equipos de medida.....	48
5.4.1 Configuración del multímetro 34401E.....	49
5.4.2 Configuración de la fuente de alimentación E3631A.....	50
5.5 Descripción del sistema.....	53
5.6 VI Principal.....	54
5.6.1 –Configuración de la temperatura.....	56
5.6.1.1-Panel frontal que visualiza la temperatura.....	56
5.6.2.2-Diagram de bloques.....	57
5.6.2 -Configuración de la humedad del sensor HIH3610.....	60
5.6.2.1 –Panel frontal que visualiza la humedad.....	60
5.6.2.2- Diagram de bloques.....	61
5.6.3 Configuración de la humedad el sensor HU10.....	62
5.6.3.1 Panel frontal que visualiza la humedad.....	62
5.6.3.2 –Diagrama de bloques.....	63
5.6.4–Configuración del nivel de agua.....	64
5.6.4.1 –Panel frontal que visualiza el nivel de agua.....	64
5.6.4.2 -Diagrama de bloques.....	64

## **CAPITULO 6 . INSERTAR DATOS EN UNA TABLA EXCEL DESDE LabVIEW**

6.1 Introducción.....	67
6.2 Insertar datos en una tabla Excel desde LabVIEW.....	67
6.2.1 Abrir Microsoft Excel.....	67
6.2.2 Abrir un libro de trabajo.....	67
6.2.3Abrir la hoja de cálculo.....	68
6.2.4 Agregar datos a la hoja de forma ordenada y agregar encabezados.....	69
6.3 Resultados experimentales .....	72

## **CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES**

7.1 –Conclusiones.....	74
7.2 -Coste económico del sistema.....	75
7.3 –Bibliografía. ....	77
7.4 –Anexos.....	78

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todos los que me han ayudado en la realización de este proyecto: mi familia, mis amigos quienes han sido un pilar importante en el camino hacia mi formación Por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de la Carrera. Porque sin ellos no hubiese podido llegar adonde he llegado.

También quiero agradecer a mi tutor de proyecto por su colaboración y sus Consejos y por su tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

# **CAPÍTULO 1.**

## **1 INTRODUCCIÓN**

El clima juega un papel relevante en muchos aspectos de nuestra vida. Uno de ellos es el confort, en el cual influyen parámetros tales como la temperatura del aire, la humedad, la presión atmosférica y la radiación, la lluvia, entre otros.

El protocolo de Kioto que deben cumplir todos los países fija unos niveles de emisión de CO<sub>2</sub> permitidos máximos y próximamente se debe revisar en la reunión internacional de Copenhague este diciembre. El incremento de las temperaturas a nivel global es fruto del cambio climático que está provocando el deshielo de los casquetes polares, los glaciares de las montañas y por la consecuente subida del nivel de los océanos. Los científicos de todo el mundo están alertando a los organismos internacionales para frenar este cambio climático en lo posible, de forma que se emitan menores cantidades de CO<sub>2</sub> y de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Las medidas de las temperaturas, la humedad y las precipitaciones en todas las regiones del mundo son un indicador del incremento de la temperatura a escala planetaria junto con otras medidas del aire, del hielo, del agua y de La Tierra.

El diseño de estaciones meteorológicas que pueden subministrar datos precisos de parámetros que afectan al planeta se ha convertido en una herramienta para estudiar la evolución del calentamiento global en la Tierra.

Los avances tecnológicos han permitido fabricar sensores electrónicos de dimensiones reducidas, bajo coste y alta fiabilidad capaces de medir estos parámetros medioambientales de forma precisa. La combinación de tres de estos sensores resume la propuesta de este trabajo de medida de parámetros atmosféricos.

El objetivo de este trabajo es diseñar e implementar una estación meteorológica capaz de hacer la medida de las magnitudes: temperatura, nivel de lluvia acumulada y humedad relativa.

Para ejemplificar este nuevo sistema exponemos un instrumento de bajo coste, diseño sencillo, puesto que la finalidad no es encontrar un sistema de medida óptimo, sino proponer un nuevo método de medida y demostrar su efectividad. En primer lugar, se describe brevemente el método convencional de medida, basado en el acondicionamiento de los sensores mediante amplificadores operacionales.

Se continúa con el montaje de circuitos de prueba para cada una de las tres magnitudes, las modificaciones realizadas a fin de optimizar el funcionamiento y los costes y se presentan los resultados finales junto a las características de la estación meteorológica.

## 2-OBJETIVOS

Los objetivos que pretendemos conseguir en la realización del presente proyecto de fin de carrera son:

1. Conseguir medidas de parámetros meteorológicos como la humedad, la temperatura y nivel de lluvia a partir de sensores y acondicionadores de las variables ambientales.
2. Diseñar e implementar las cadenas de medidas de parámetros ambientales en placas prototipos y placas de circuito impreso.
3. Creación de un sub-sistema de medición en tiempo real de los parámetros como humedad, nivel de agua y temperatura.
4. Creación de un sistema de almacenamiento de datos mediante GPIB y la utilización del programa LabVIEW.
5. Guardar los datos en un fichero de texto o en Microsoft Excel y archivarlos con hora y fecha actual.
6. Visualizar el muestreo de datos mediante gráficos en tiempo real.
7. Analizar las características de la estación meteorológica y evaluar las medidas obtenidas.

## **CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN A LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS**

### **2.1-La atmosfera**

#### **2.1.1 Definición:**

La atmósfera es la envoltura gaseosa que rodea a La Tierra. Comenzó a formarse hace unos 4600 millones de años con el nacimiento de La Tierra. La mayor parte de la atmósfera primitiva se perdería en el espacio, pero nuevos gases y vapor de agua se fueron liberando de las rocas que forman nuestro planeta.

La atmósfera de las primeras épocas de la historia de La Tierra estaría formada por vapor de agua, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y nitrógeno, junto a muy pequeñas cantidades de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y monóxido de carbono pero con ausencia de oxígeno. Era una atmósfera ligeramente reductora hasta que la actividad fotosintética de los seres vivos introdujo oxígeno y ozono (a partir de hace unos 2500 o 2000 millones de años) y hace unos 1000 millones de años la atmósfera llegó a tener una composición similar a la actual.

También ahora los seres vivos siguen desempeñando un papel fundamental en el funcionamiento de la atmósfera. Las plantas y otros organismos fotosintéticos toman  $\text{CO}_2$  del aire y devuelven  $\text{O}_2$ , mientras que la respiración de los animales y la quema de bosques o combustibles realiza el efecto contrario: retira  $\text{O}_2$  y devuelve  $\text{CO}_2$  a la atmósfera y a los océanos.

El problema actual del cambio climático supone una variación drástica de los niveles de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera y un incremento de los gases de efecto invernadero que provoca un calentamiento a nivel global donde en los últimos años ha tenido un crecimiento exponencial debido principalmente a la quema de combustibles fósiles y a la actividad industrial humana. La medida de las temperaturas, humedad y la variación de las lluvias a nivel regional aporta datos de vital importancia en la evidencia que la actividad humana está cambiando el clima planetario.

#### **2.2.2 Composición y diferentes capas de la atmósfera**

La atmósfera constituye el principal mecanismo de defensa de las distintas formas de vida y contiene una variada mezcla de gases que forman el aire que respiramos. Este aire contiene sobretodo nitrógeno (78%) y oxígeno (21%), además de otros gases en concentraciones mucho menores, pero también de gran importancia (dióxido de carbono, agua, hidrógeno, ozono, etc.). Se divide en diferentes capas.



## Composición.

En la tabla 1 se resume los gases fundamentales que forman la atmósfera:

	% (en volumen)
Nitrógeno	78.084
Oxígeno	20.946
Argón	0.934
CO <sub>2</sub>	0.033

**Tabla 1:** Distribución de los gases que forman la atmosfera

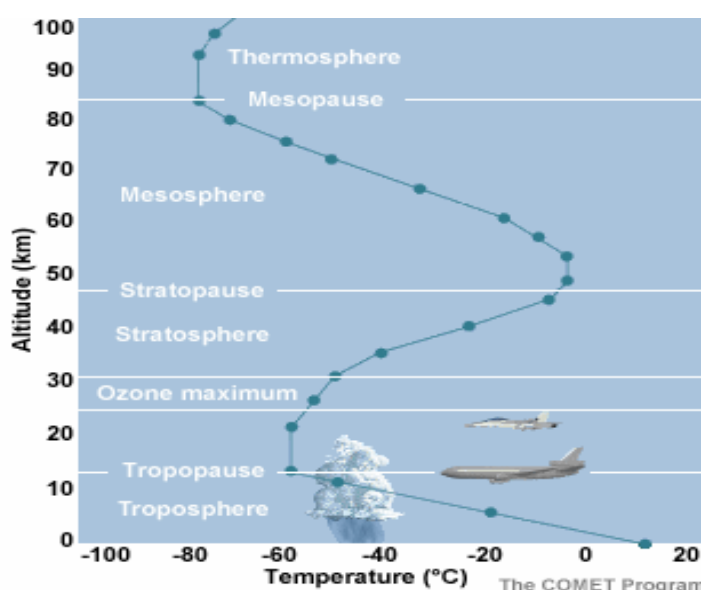
Otros gases de interés presentes en la atmósfera son el vapor de agua, el ozono y diferentes óxidos de nitrógeno, azufre, etc.

También hay **partículas** de polvo en suspensión como, por ejemplo, partículas inorgánicas, pequeños organismos o restos de ellos, NaCl del mar, etc. Muchas veces estas partículas pueden servir de núcleos de condensación en la formación de nieblas (*smogoneblumo*) muy contaminantes (Tabla 2).

Materiales sólidos en suspensión en la atmósfera (Partículas/cm <sup>3</sup> )	
Alta mar	1000
Alta montaña (más de 2000 m)	1000
Colinas (hasta 1000 m)	6000
Campos cultivados	10 000
Ciudad pequeña	35 000
Gran ciudad	150 000

**Tabla 2:** Partículas sólidas en suspensión

La atmosfera se divide en diferentes capas, atendiendo fundamentalmente a la evolución del perfil de temperatura con la altura (figura 1.1):



**Figura 1.1:** Las diferentes capas en las que se divide la atmósfera, su perfil de temperatura con la altura y los respectivos espesores expresados en Km

- **Troposfera:** Es la capa de la atmósfera más próxima a la superficie terrestre. Llega hasta los 11 km de altura por término medio. En los polos no alcanza los 8 km mientras que en las zonas ecuatoriales puede llegar a los 16 Km. En esta capa la temperatura desciende con la altitud hasta los  $-56^{\circ}\text{C}$ . El límite entre esta capa y la siguiente recibe el nombre de Tropopausa.
- **Estratosfera:** Es la segunda capa más próxima a la superficie terrestre. Se encuentra sobre la Troposfera y llega hasta una altura de unos 50 km. Su límite superior recibe el nombre de Estratopausa. La temperatura en esta capa de la atmósfera aumenta progresivamente con la altura hasta pocos grados bajo cero. Esta segunda capa es la que contiene la bien conocida capa de ozono estratosférico (a los 22 km se encuentra la concentración máxima de este gas) que retiene las radiaciones ultravioletas del espacio exterior, permitiendo el desarrollo de la vida terrestre. El actual agujero de ozono representa un adelgazamiento grave de esta capa que causa graves consecuencias en el planeta por aumento de radiación ultravioleta provocando entre otros efectos cáncer de piel y ceguera.
- **Mesosfera:** Es la capa siguiente, que llega hasta los 80 km de altura y en ella la temperatura vuelve a descender hasta el orden de los  $-100^{\circ}\text{C}$ .
- **Termosfera o Ionosfera:** Es la capa que va de los 80 a los 500 km de altura. La temperatura vuelve a aumentar de nuevo hasta superar los  $1000^{\circ}\text{C}$ .
- **Exosfera:** Se encuentra a partir de los 1.000 km. Es la región que exploran los satélites artificiales y no tiene excesiva influencia sobre los fenómenos meteorológicos.

## 2.2 Estación meteorológica.

Una estación meteorológica es un equipo dedicado a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Las bases de datos generados por estos equipos se utilizan para hacer estudios climáticos así como para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos.

En todos los observatorios astronómicos se requieren de estaciones meteorológicas funcionando de la manera más automática y continua posible. Aparte de los parámetros meteorológicos es de particular importancia la determinación de la diferencia de temperatura entre el espejo primario y el ambiente así como entre el exterior e interior del edificio los cuales afectan de manera directa la calidad de las imágenes obtenidas con los telescopios y por lo tanto la eficiencia de los mismos .

Ya que los altos niveles de humedad ponen en riesgo los equipos ópticos y electrónicos, es conveniente llevar un monitoreo continuo para también poder generar señales de alarma y así evitar posibles deterioros en la superficie de los espejos y daños a los equipos electrónicos

Algunos ejemplos de los parámetros físicos que se pueden medir en un sitio son: temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, precipitación pluvial, velocidad del viento e insolación. Las estaciones terrestres comunes son capaces de medir todos ellos.

## **CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS**

### **3.1 Introducción**

En este capítulo y antes de empezar el diseño se ha realizado una búsqueda de sensores que existen en el mercado actual, con el objetivo de elegir correctamente los sensores, que mejor se adapten a nuestros requisitos.

En primer lugar, se describen: sensores de temperatura, sensores de humedad y sensores de nivel de agua. En los siguientes apartados se presenta la normativa que les afecta, así como los tipos de sensores que existen en el mercado.

### **3.2 -Sensores**

En este apartado se exponen diferentes tipos de transductores que se utilizan en los instrumentos de medida y se hace especial mención en los tipos de dispositivos que son objeto de este proyecto de monitorización de variables meteorológicas actuales.

#### **3.2.1 Tipos de sensores**

Un sensor es un dispositivo que detecta o mide manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, químicos o biológicos como por ejemplo la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc. Un sensor es dispositivo que transforma la magnitud que se quiere medir, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un ordenador y un display) de modo que los valores medidos puedan ser leídos por un humano y/o almacenados en formato digital.

La medición de temperatura y humedad es un aspecto muy utilizado en la industria en general así como en la vida diaria de las personas, las aplicaciones electrónicas no se quedan atrás en la medición de esta variable, debido a que la implementación de sistemas electrónicos hace los procesos más eficientes y baratos.

El gran auge de la electrónica en la industria ha llevado al desarrollo de una gran cantidad de dispositivos como los sensores de temperatura y humedad los cuales se pueden encontrar desde los más básicos hasta los más complejos y costosos.

Debido a los requisitos de este proyecto de ahora en adelante nos centraremos en tres tipos de sensores: transductores de temperatura, sensores de humedad relativa y sensores de nivel de agua.

#### **3.2.2 Sensores de temperatura**

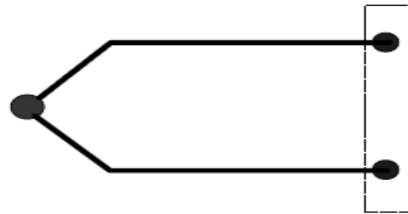
La temperatura es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor. Por tanto, el sensor de temperatura es un elemento que posibilitará medir la cantidad de calor que hay en un ambiente determinado.

### 3.2.2 .1 Tipos de Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura de contacto son el termopar, el RTD (*Resistance Temperature Detector*), el termistor y los basados en una unión semiconductor (sensores IC). A continuación se citan las principales características de cada tipo.

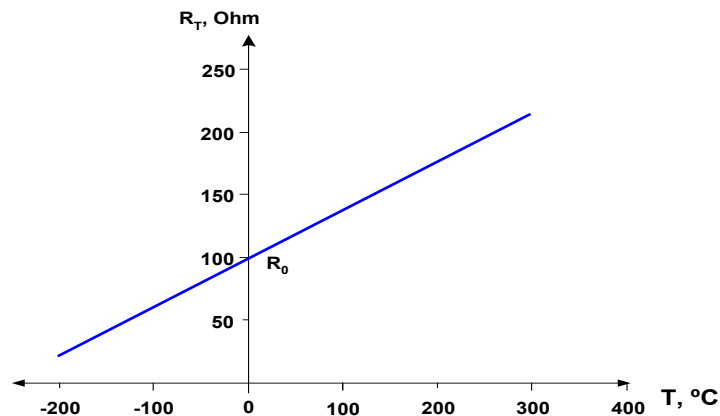
- **Termopares:** Los termopares basan su funcionamiento en la unión de dos metales distintos que producen un voltaje, como muestra la figura (Fig. 1.2), en función de la diferencia de temperatura que existe entre uno de los dos extremos denominado “punto frío” y el otro denominado “y/o almacenados en formato digital”.

”. Como ventaja principal los termopares ofrecen un amplio rango de temperaturas. Los inconvenientes principales son que presentan una baja exactitud (peor a  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) y además requieren un acondicionamiento relativamente complejo por no ser lineales.



**Figura. 1.2:** Termopar. Diferencia de potencial entre punto frío y punto caliente.

- **RTD:** Los RTD son metales que con el aumento de la temperatura aumentan su resistencia. La principal característica de los RTD es que son elementos muy lineales (en el caso del platino) en un gran rango de temperaturas y su variación suele expresarse como indica la figura (Fig. 1.3). La máxima calidad de los RTD la dan los detectores de platino ya que permiten realizar medidas más exactas y estables hasta una temperatura de aproximadamente  $500^{\circ}\text{C}$ . Los RTD más económicos utilizan el níquel o aleaciones de níquel pero éstos no son tan estables ni lineales como los que emplean platino.

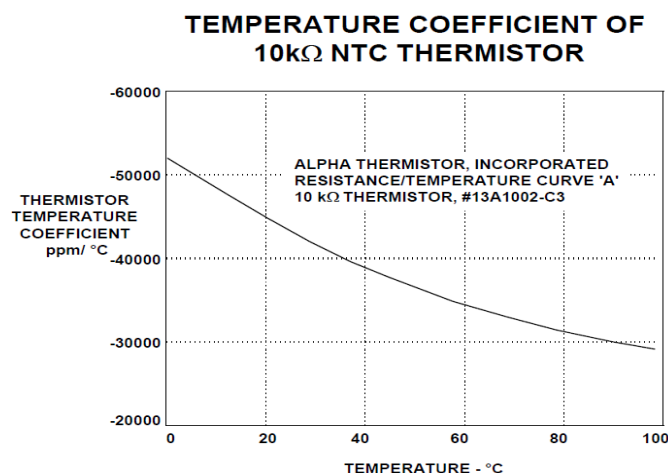


**Figura 1.3:** Respuesta de la resistencia de la RTD PT100 con la temperatura

Características de los sensores RTD son:

- Elevada linealidad, especialmente en el caso del platino.
- Elevada precisión, siempre en función del circuito de acondicionamiento.
- Buena estabilidad a largo plazo (0,02% después de 1000h), fidelidad y repetitividad.
- Son dispositivos pasivos, es decir, necesitan alimentación de tensión o corriente.
- Tiempos de respuesta pequeños, del orden de décimas de segundo.
- Tienen un elevado margen de temperaturas de medida, que va desde -260°C hasta los 1100°C para el platino o 3300°C para el tungsteno.
- Dispositivos muy adecuados para márgenes de temperatura muy bajos (margen criogénico).
- Coste elevado
- Poca robustez del elemento sensor que necesita ser encapsulado o protegido.
- Sensibles al autocalentamiento (efecto de medir temperatura en una resistencia que le pasa una corriente y se calienta).
- Sensibilidad menor que en el caso de los termistores ( $3.98 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$  Platino;  $4,7 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$  Tungsteno).
- Gran variedad de configuraciones y aplicaciones.

- **Termistores:** Los termistores son semiconductores electrónicos que son sensibles a la temperatura. Existen dos tipos de termistores, los NTC (*Negative Temperature Coefficient*) y los PTC (*Positive Temperature Coefficient*). Ambos tipos presentan una respuesta no lineal y decreciente con el aumento de la temperatura en caso de los NTC y creciente en el caso de los PTC. Las principales ventajas son que presentan una mayor sensibilidad e inferior tiempo de respuesta, así como un precio más económico que los RTD. Su principal inconveniente es su no linealidad como muestra la figura (Fig. 1.4).



**Figura 1.4:** Curva de la respuesta de termistor NTC

Características de los termistores:

- No son lineales.
- Elevada sensibilidad gracias a la gran variación de la resistencia con la temperatura.
- Su valor varía en función del margen de la T de uso.
- Gran precisión fruto de la sensibilidad.
- Elevada velocidad de respuesta.
- Son dispositivos pasivos.
- Margen de temperaturas de medida desde 0°K (-273°C) hasta 300°C, pero siempre en aplicaciones donde el margen de medida sea de unos 200°C.
- Elementos adecuados para temperaturas muy bajas (margen criogénico).
- Dispositivos de dimensiones muy reducidas.
- Elementos de precio mucho más reducido que en el caso de las RTD.
- Mayor susceptibilidad al autocalentamiento que las RTD con lo que se limita la corriente de alimentación.
- Poca robustez del elemento.
- **Sensores de temperatura basados en una unión P-N semicon-ductora:**  
Son circuitos integrados de silicio basados en las propiedades térmicas de las uniones semiconductoras (PN). Estos sensores tienen un margen de trabajo de 50 °C a 150 °C. Generalmente no requieren etapas de linealización, amplificación ni compensaciones externas. Los principales inconvenientes son la baja exactitud que ofrecen y que son elementos activos, por tanto consumen corriente.

### 3.2.3 Sensores de humedad relativa

La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua contenido en el aire y la máxima cantidad que puede contener. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la capacidad del aire para absorber vapor de agua, por lo que esta capacidad depende directamente de la temperatura del aire. La humedad relativa se expresa en porcentaje, así, cuando la humedad relativa llega al 100% significa que el aire está saturado de agua.

#### 3.2.3.1 Tipos de sensores de humedad

Existen tres tipos de tecnologías a la hora de medir la humedad relativa: sensores de humedad capacitivos, sensores de humedad resistivos y sensores por conductividad. A continuación se citan las principales características de cada tipo:

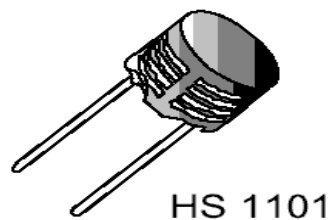
- **Sensores de humedad capacitivos:** Son quizás los más difundidos en la industria y meteorología pues son de fácil producción, bajos costes, y alta fidelidad. Los sensores de humedad capacitivos están formados por un sustrato en el cual una fina capa de polímero u óxido de metal se deposita entre dos electrodos conductores. La superficie sensible es cubierta con un electrodo poroso metálico para protegerlo de la contaminación que existe en el ambiente que se encuentra. El sustrato puede ser de cristal, cerámico o de silicio. El cambio de la constante dieléctrica del sensor de humedad capacitivo

es directamente proporcional a la humedad relativa del ambiente en que se encuentra. Las principales ventajas de los sensores de humedad capacitivos son su aproximación casi lineal en un margen de humedades, su amplio espectro de medida y su estabilidad a largo plazo. (figura 1.5).



**Figura 1.5:** Sensor capacitivo de humedad 2322 691 90001 (Vishay )

- **Sensores de humedad resistivos:** Miden el cambio en la impedancia eléctrica de un medio higroscópico como puede ser un polímero conductor, una sal o un sustrato tratado. Los sensores resistivos tienen una respuesta no lineal frente a cambios de humedad relativa y por tanto deben ser tratados por circuitos para ser linealizados. Tienen mayor exactitud a altas humedades relativas pero menor exactitud a bajas respecto a los sensores de humedad capacitivos. Son elementos de bajo coste y tamaño y tienen una buena estabilidad a largo plazo. (figura 1.6)



**Figura 1.6:** sensor de humedad resistivo

- **Sensores de humedad por conductividad:** Estos sensores basan su funcionamiento en medir la humedad absoluta cuantificando la diferencia entre la conductividad en un material seco y un material que contiene vapor de agua del aire. Estos sensores tienen una mayor resolución que los capacitivos y resistivos a temperaturas por encima de los 90 °C.

#### 3.2.4 Sensores de nivel de lluvia

El nivel del contenido de un recipiente es una variable que tiene gran interés industrial y que, por ello, suele ser muy habitual en las plantas y procesos de fabricación y de almacenaje. El sentido de la medida del nivel de material en un recipiente tiene interés por cuanto proporciona una información sobre la cantidad de material que hay en el interior del recipiente. Lógicamente, si lo que interesa es conocer el volumen de material en un recipiente o su masa (o su peso) el nivel de material no es directamente la variable de salida y, para conseguir el volumen o la masa se deberá afectar por los

parámetros geométricos del recipiente y por las características de densidad del material.

Las medidas de nivel pueden corresponder a líquidos o a gránulos sólidos tales como áridos, materiales pulverizados, grano, etc. La diferencia más importante entre ambas situaciones está en que la superficie libre del material puede tener formas diferentes.

#### 3.2.4.1 Tipos de sensores de nivel de lluvia

A la hora de hacer un diseño en que se precise un sensor de nivel hay que tener en cuenta todas estas circunstancias, así como temperaturas de trabajo, presencia de agitadores o de otra maquinaria en el interior del tanque, los procesos de mantenimiento, incluso, las preferencias tradicionales de algunos tipos de industrial.

Son muchos los artilugios que se pueden pensar para hacer la medida de nivel y algunos de ellos posiblemente ya estén implementados, pero aquí vamos a centrarnos en algunos sistemas muy utilizados.

- a) **Interruptores de nivel** que se activan cuando el nivel llega a ellos. Pueden estar formados por diversos tipos de sensores que van desde el empleo de flotadores hasta el uso de sensores ópticos pasando por los que miden conductividad o permitividad. Todos ellos proporcionan una salida digital o un contacto libre de tensión que informa que el nivel les ha alcanzado.
- b) **Medidores de nivel** basados en cualquiera de los sensores ya estudiados y que informan sobre el nivel de material en un depósito y que se pueden construir con tecnologías muy diversas tales como los basados en la medida de la presión hidrostática, los basados en el empleo de técnicas pulso-eco de ultrasonido, los basados en láser, los capacitivos, etc. La salida de estos sensores se trata y se genera una salida de tensión o de corriente que informa al sistema del nivel real de material depósito.

En la tabla 2, se enumeran los diversos interruptores de nivel y se proporciona algunas limitaciones y/o recomendaciones de uso.

Tipos	Limitaciones y posibilidades
Flotador	-Salida por contacto libre de tensión -Vida útil limitada por desgaste -Se mancha y puede bloquearse
Óptico	-sólo para líquidos limpios -permite usar fibra óptica - Larga duración
Térmico	-Depende de las propiedades fluido -Si se marcha, modifica la medida -Larga duración -Detecta espuma en superficie

**Tabla 2:** Interruptores de nivel.



### 3.3 Elección sensor de temperatura

La temperatura es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor. En nuestro caso, ese sistema será el lugar donde coloquemos la estación meteorológica.

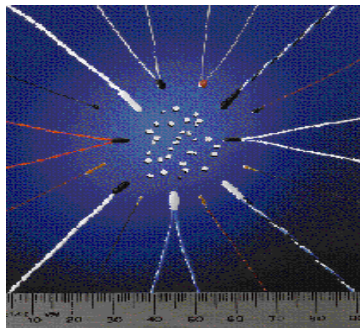
En el Sistema Internacional de Unidades, la unidad de temperatura es el Kelvin. Sin embargo, está muy generalizado el uso de otras escalas de temperatura, concretamente la escala Celsius (o centígrada), y, en los países anglosajones, la escala Fahrenheit.

$$(^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15 = ^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$$

El sensor de temperatura escogido es del tipo resistivo ya que como se ha comentado anteriormente los termopares presentan un acondicionamiento complejo. Por lo tanto se ha decidido hacer un estudio de los dos tipos de termistores PTC y NTC para al final decidir cuál es más adecuado para la aplicación.

#### **Tipos de termistores**

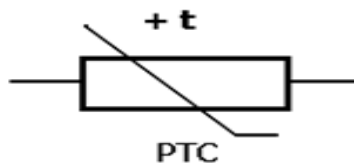
En el termistor, la resistencia varía en un valor conocido, ya que el coeficiente de temperatura es cuidadosamente controlado durante el proceso de fabricación. Podemos clasificar los termistores en dos grandes grupos según el signo de su coeficiente de temperatura



**Figura 1.6:** Los Termistores

#### 3.3.1 Termistores tipo PTC

- PTC ( positive temperature coefficient ) : Termistores con coeficiente de temperatura positivo. Son resistencias constituidas por elementos semiconductores de titanato de bario, se caracterizan por modificar su estructura cristalina a una cierta temperatura (en torno a los 100 °C), correspondiéndole un cambio brusco en su resistencia, pasando de valores de centenares de ohmios a decenas de megaohmios ).El símbolo eléctrico del termistor PTC se indica en la figura 1.7.



**Figura 1.7** Símbolo eléctrico de una PTC.

Los termistores PTC se utilizan en una gran variedad de aplicaciones: limitación de corriente, sensor de temperatura, desmagnetización y para la protección contra el recalentamiento de equipos tales como motores eléctricos. También se utilizan en indicadores de nivel, para provocar retardos en circuitos, como termostatos, y como resistores de compensación.

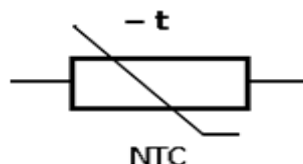
El termistor PTC pierde sus propiedades y puede comportarse eventualmente de una forma similar al termistor NTC si la temperatura llega a ser demasiado alta.

Las aplicaciones de un termistor PTC están, por lo tanto, restringidas a un determinado margen de temperaturas.

Hasta un determinado valor de voltaje, la característica I/V sigue la ley de Ohm, pero la resistencia aumenta cuando la corriente que pasa por el termistor PTC provoca un calentamiento y se alcanza la temperatura de conmutación. La característica I/V depende de la temperatura ambiente y del coeficiente de transferencia de calor con respecto a dicha temperatura ambiente.

### 3.3.2 Termistores tipo NTC

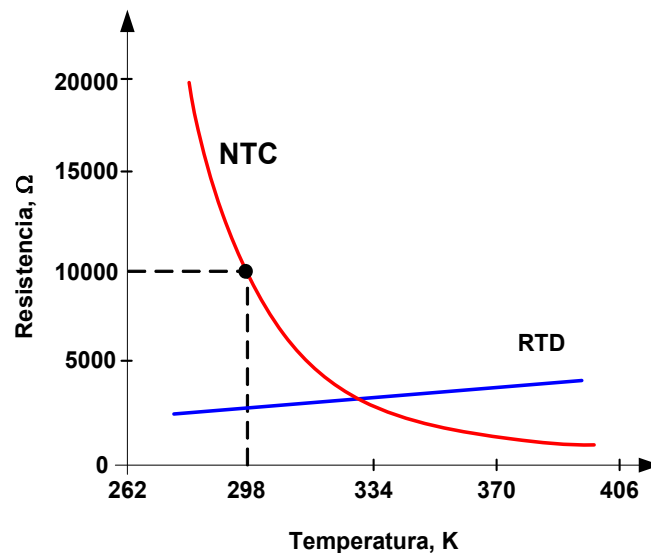
- NTC (negative temperature coefficient): Termistores con coeficiente de temperatura negativo altamente sensibles a cambios de temperatura (con valores entre  $-2\%/K$  y  $-6\%/K$ ). Dentro de este grupo se encuentra la mayoría de termistores. Están fabricados con mezclas policristalinas de óxido de manganeso y níquel. Los cambios en la resistencia de los NTC, pueden ser debidos bien externamente a cambios en la temperatura ambiente o bien internamente como consecuencia de un autocalentamiento producido por el flujo de corriente en el dispositivo. El símbolo eléctrico del termistor NTC se indica en la figura 1.8.



**Figura 1.8:** Símbolo eléctrico de una NTC su grafica

El signo menos indica que la sensibilidad es negativa, la línea que corta al dispositivo alude a que la resistencia cambia con la temperatura.

En la figura 1.8 .1 se presenta la curva de la respuesta de termistor NTC comparando con la RTD.



**Figura 1.8.1:** Curva de la respuesta de termistor NTC

Los termistores NTC, son, de largo, más utilizados que los PTC.



**Figura 1.9:** sensor NTC elegido

Características generales:

- **Construcción:** mezcla de óxidos metálicos y de semiconductores.
- **Margen de funcionamiento:** -100°C a + 450°C.
- **Coefficiente de temperatura:** negativo y depende de la temperatura.
- **Tolerancia:** de 0,2% a 10% **Coste:** bajo.
- **Dimensiones:** pequeñas y diversas

El fabricante suministra una serie de valores extremos que tendremos en cuenta a la hora de trabajar con ellas (temperatura máxima, valor de la resistencia a 25°C, etc.).

El sensor escogido tiene una resistencia de 10KΩ a 25 °C. La relación entre la resistencia y la temperatura es exponencial y viene dada por la siguiente expresión:

$$R(T)=R_0e^B\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_0}\right) \quad (1.1)$$

Donde :

$R_0$ : Resistencia a  $T=T_0$  ( $R_0=R(T_0)$ )

$T_0$ : Temperatura en K

B: Temperatura característica del material 3000 K a 5000 K

- Determinación de  $\alpha$  y B

$$R(T)=R(T_1) \cdot \alpha e^{B/T_1} \quad (1.2)$$

$$R(T)=R(T_2) \cdot \alpha e^{B/T_2} \quad (1.3)$$

Donde:

$$B = \frac{\ln R_1/R_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (1.4) \quad y \quad \alpha = \frac{R_1}{e^{B/T_1}} \quad (1.5)$$

**Sensibilidad a los cambios de temperatura.** Los termistores NTC tienen una gran sensibilidad a los cambios de temperatura disminuyendo su resistencia del orden del 3% al 6% por cada grado centígrado. Esta respuesta les da cierta ventaja con respecto a otros sensores de temperatura como los termopares o los RTD, si bien estos pueden operar a temperaturas que no están al alcance de los termistores.

De la ecuación (1.1) se puede obtener la sensibilidad térmica (o coeficiente de temperatura) expresado en la ecuación (1.6) que vemos que no es lineal en absoluto pues ésta depende de la temperatura considerada al cuadrado

$$\alpha_R(T_i) = - \frac{B}{T_i^2}$$

 (1.6)

### 3.4 Elección de sensor de humedad

El sensor de humedad elegido es del tipo capacitivo. Las principales razones que nos llevan a elegir este tipo son su alta linealidad, su amplio margen de detección y su buena estabilidad a largo plazo.

Para la elección del sensor de humedad relativa se ha hecho una búsqueda de este tipo de sensores de humedad. A continuación se expone una comparativa de tres sensores de humedad, un sensor del fabricante Humirel del fabricante Crown Industrial Estate y otro de fabricante Honeywell expuesto en la tabla (3).

	HS1101(Humirel)	HIH3610(Honeywell)	HU10(Crown Industrial Estate)
Rango de medida(RH)	1 a 99%RH	0 a 100%RH	10 a 100%RH
Alimentación	5 Vdc	5 Vdc	5± 2 Vdc
Sensibilidad	34Pf %RH	31mv %RH	22mv%RH
salida		0.8 a 3.9Vdc	1 a 3 Vdc

**Tabla 3:** Especificaciones de los tres sensores de humedad

El sensor HS1101 del fabricante Humirel fue descartado ya que tiene una capacidad de 180pF a 55% de humedad relativa y su expresión que relaciona la capacidad con la humedad relativa es la siguiente:  $C(pF)=C@55\%.(3,903.10^{-8}RH^3-8,294.10^{-6}RH^2+2.188.10^{-3}RH + 0,898)$  de segundo grado y la unidad de su sensibilidad está en función de la capacidad.

Finalmente nos decidimos por el HIH3610 y HU10 ya que sus características son casi similares y la curva de respuesta de estos dos sensores son muy similares.

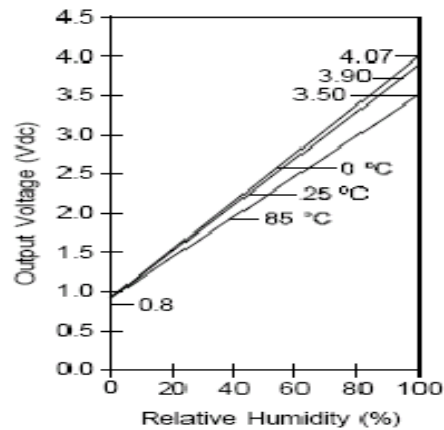
#### 3.4.1 HIH 3610

Para medir la humedad relativa se ha seleccionado el sensor HIH-3610, que pertenece a una serie de sensores de circuito integrado.



**Figura 1.10:** sensor de humedad HIH3610

El HIH-3610 es utilizado comúnmente para la medición de humedad relativa en el aire, utilizado en estaciones meteorológicas. Requiere de una fuente de 5 Vcd y tiene un rango de operación de 0 a 100% de humedad, produciendo un voltaje de salida que varía con la humeada relativa de forma lineal, como se muestra en la figura 1.11.



**Figura 1.11:** Características de salida del sensor de humedad HIH-3610.

En la figura (1.11) se muestra la curva característica del voltaje de salida con respecto al porcentaje de humedad relativa en el aire detectado por el sensor, como se puede observar proporciona una señal de salida de voltaje de 0.8V correspondiente a un 0% de humedad relativa y 4.07 V correspondiente a 100% de humedad relativa a 0°C.

Para el manejo adecuado de la señal de este sensor se implementara un circuito que realiza una resta de 0.8V a la señal proveniente del sensor de humedad. Con esto se logra que a la salida del circuito se obtenga una señal de 0V para un 0% de humedad relativa, la recta del sensor para 0°C ahora solo varia de 0 a 3.27 V.

La señal de salida del sensor de humedad relativa al igual que el medidor de temperatura.

Las principales características del sensor son las siguientes:

**Margen de medición:** 0 → 100% RH

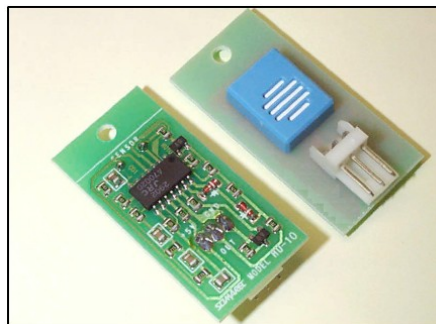
**Salida:** de 0.8 → 3.9 Vdc ( $V_{cc} = 5V$ , 25°C)

**Tensión de salida:**  $V_0 = V_{cc} [0,0062 \times (\%HR) + 0,16] @ 25^{\circ}C$

**Alimentación:** 5 Vcc

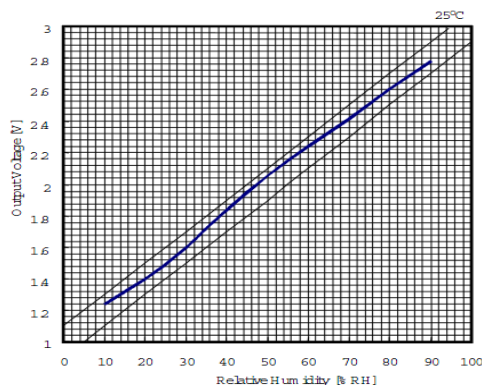
#### 3.4.2 Sensor humedad acondicionado HU10

Para realizar la medida de humedad se ha seleccionado también un sensor de humedad relativa compensado HU10 del fabricante Crown Industrial Estate.



**Figura 1.12:** Sensor HU10 del fabricante Crown Industrial Estate

El sensor está diseñado de fábrica para aplicaciones lineales. Tiene una tensión de alimentación de  $5 \pm 0.2\text{Vdc}$ , y un error de linealidad del  $\pm 5\%RH$  dentro del margen de medidas entre el 25% y el 90%RH. El margen que se desea medir comprende de 0 a 100% de humedad, como se muestra en la figura (1.13).



**Figura 1.13:** Características típicas de la tensión de salida del sensor HU10

Como se puede observar en la gráfica dada por el fabricante, la salida del sensor no es del todo lineal. Para conseguir una relación lineal se realiza una regresión lineal con una serie de datos tomados de la gráfica, véase la Tabla 4.

Para obtener la ecuación de la recta que caracteriza la función, los valores que se han tomado son los expuestos en la tabla 4 con entrada humedad y salida tensión en voltios.

Humedad	Volts
0	1.05
10	1.25
20	1.35
30	1.6
40	1.85
50	2.05
60	2.25
70	2.43
80	2.6
90	2.78

**Tabla 4:** datos tomados de la grafica

La recta de calibración que se obtiene siguiendo dicho procedimiento es  $y=0,02x + 1,03$ , con una correlación de 0,99 por lo tanto existe una aproximación y un error total del  $\pm 6\%RH$ .

Las principales características del sensor HU10 son las siguientes:

**Margen de medición:** 10 → 100% RH.

**Salida:** de 1 → 3Vdc ( $V_{cc} = 5\text{v}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ).

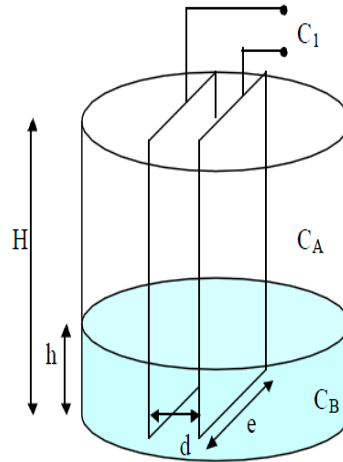
**Alimentación:**  $5 \pm 2\text{ Vcc}$

Como se puede comprobar en las especificaciones técnicas, los dos sensores de humedad presentados tienen casi las mismas características. Se ha pensado montar

los dos sensores de humedad para tener medidas en instantes parecidos de valores muy similares y así poder comparar resultados entre ellos.

### 3.5 Elección de sensor de nivel lluvia

Para el sistema de la medida del nivel de lluvia se han dispuesto dos placas metálicas paralelas en el interior del depósito que actúan como condensador plano. Como se muestra en la figura 1.14.



**Figura 1.14:** Medida de nivel de agua

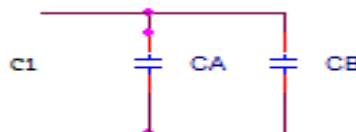
En la figura 1.14 se representa el esquema de un depósito industrial donde se ha puesto dos placas metálicas paralelas que actúan como un condensador plano. Se pretende utilizar la variación de la capacidad en función de la variación de la altura del líquido para determinar el nivel. Donde  $d=8\text{cm}$ ,  $h=13\text{cm}$ ,  $e=5\text{cm}$  y  $H=14\text{cm}$ .

La capacidad viene en función del coeficiente de permitividad  $\epsilon$ , y de la superficie de las placas  $S$ , y de la distancia entre ellas  $d$ , esto es:

$$C = \epsilon S / d \quad (1.7)$$

Tal como muestra el esquema de la figura 1.14, la naturaleza del dieléctrico hace que podamos considerar dos condensadores,  $C_A$  y  $C_B$ , que están conectados en paralelo. La figura 1.15 nos representa el circuito equivalente de las dos placas, de modo que la capacidad total,  $C_1$ , la podemos calcular del siguiente modo :

$$C_1 = C_A + C_B = \epsilon_0 \frac{e(H-h)}{d} + \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \frac{e \cdot h}{d} \quad (1.8)$$



**Figura 1.15:** Circuito equivalente del sensor capacitivo para medir nivel de lluvia



Operando con la expresión 1.8 llegamos a que:

$$C_1 = C_0 \left[ 1 + \frac{\epsilon_r - 1}{H} h \right] \quad (1.9)$$

Donde  $C_0 = \epsilon_0 \frac{H \cdot e}{d}$  es la capacidad del condensador en el caso de tener el depósito vacío.

Notemos que la capacidad  $C_1$  variara en función de la altura del líquido entre unos valores  $C_{1\min}$  y  $C_{1\max}$ , es decir:

$$C_{1\min}|_{h=0} = C_0 < C_1(h) < C_{1\max}|_{h=H} = \epsilon_r C_0 \quad (1.10)$$

En el capítulo vamos a medir prácticamente los valores de la capacidad cuando nuestro recipiente está vacío y cuando está lleno.

La unidad del nivel de agua se mide en la unidad  $l/m^2$ .

Nuestro recipiente es de 13 cm de altura.

Si a 1cm tenemos  $10 l/m^2$  a 13cm vamos a tener  $130 l/m^2$ . Y en nuestro recipiente solo cabe 0.87l

Entonces:  $0.87l/13cm = 0.067l/cm \quad (1.11)$

$$\frac{\frac{0.067}{cm}}{Area} \times 1cm = \frac{10 \text{ litros}}{1m^2}$$

Y sabemos que el area =  $\pi D^2/4$  entonces  $D = 0.092m$

Por lo tanto el embudo que hemos diseñado va a ser de 9.2cm para que en cada cm tenemos  $10 l/m^2$ .

## CAPÍTULO 4.MAGNITUDES, SENSORES E INSTRUMENTACIÓN

### 4.1-Introduccion.

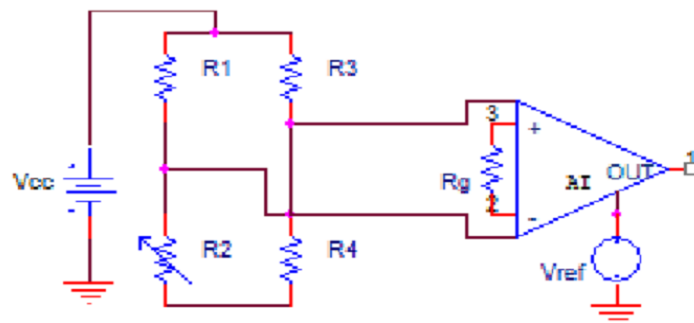
Una vez seleccionado todos los sensores necesarios, la siguiente fase del proyecto es estudiar las características de cada instrumento diseñado.

En la primera parte de este capítulo, se describen las configuraciones para el sensor de temperatura, humedad y nivel de agua. De igual modo se detallan los sistemas de temperatura, humedad y nivel de agua respectivamente. En todos los casos se ha hecho los cálculos necesarios a partir de las especificaciones de cada sensor y se ha justificado la elección de todos los componentes que forman cada sistema.

Finalmente se hace una estimación de costes de cada uno de los componentes de todo el sistema.

### 4.2 Configuración para el sensor de temperatura

El sensor de temperatura que se ha utilizado es un termistor NTC. La configuración o el circuito de medida será la figura 1.16. Es una medida de temperatura con puente de Wheatstone.



**Figura1.16:** Circuito para medir el valor de temperatura a partir de la variación resistiva del sensor

Donde :  $R_2(T) = R_0(1 + \alpha T)$  (1.11)

La nuestra resistencia tiene la siguiente forma:

$$R_{NTC}(T) = \alpha e^{B/T} \quad (1.12)$$

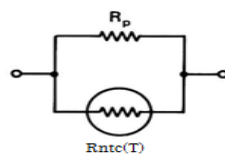
### LA NTC COMO SENSOR DE TEMPERATURA

La medida de temperatura es la aplicación más común de las NTC'S. Generalmente se selecciona una NTC de resistencia nominal y con un buen acoplamiento térmico con el objetivo cuya temperatura se desea medir. Por otro lado, el autocalentamiento

debe hacerse despreciable ya que introduce errores en la medida. El problema que debemos resolver es cómo obtener una magnitud eléctrica, por ejemplo, una tensión, que dependa de la temperatura de la forma más lineal posible, a pesar de que la relación R-T del termistor no sea lineal. En general, las técnicas de linealización pueden realizarse en dos dominios: el digital y el analógico. En el dominio digital, la estimación de la temperatura se realiza con independencia de la linealidad. Para ello se usa un computador que, utilizando el modelo del termistor, calcula el valor correspondiente de temperatura a partir de la medida del valor resistivo de la NTC. En el dominio analógico suele añadirse una resistencia en serie o en paralelo con el termistor para conseguir una respuesta que se aproxime más a la lineal. Veamos cómo se realiza el proceso de linealización.

En el primer paso hay que linealizar nuestra ecuación en un margen pequeño de temperatura o sea queremos que la expresión  $R_{NTC}(T) = \alpha e^{B/T}$  se aproxime a  $R_2(T) = R_0(1 + \alpha T)$  para obtener una variación lineal del termistor en un margen de temperaturas.

La forma más sencilla para cumplir este objetivo es mediante una resistencia en paralelo con el termistor, figura 1.17.



**Figura 1.17** :Circuito de linealización mediante paralelizado

$$R_2(T) = R_{NTC}(T) // R_P$$

$$R_{NTC}(T) = \alpha e^{B/T}$$

La resistencia equivalente del conjunto será:

$$R_2(T) = \frac{R_{NTC}(T) \cdot R_P}{R_{NTC}(T) + R_P} \quad (1.13)$$

Los cálculos teóricos

El sensor escogido tiene una resistencia de 10KΩ a 25 °C. La relación entre la resistencia y la temperatura es exponencial y viene dada por la siguiente expresión:

$$R_{NTC}(T) = \alpha e^{B/T} \quad (1.14)$$

Las principales características del sensor como hemos visto en el capítulo anterior son las siguientes:

- **Margen de medida:** -40 a +125 °C
- **Valor de Beta:** (25 a 50 °C)  $\beta = 3380$  K

• **Resistencia nominal (25°C):** 10 kΩ

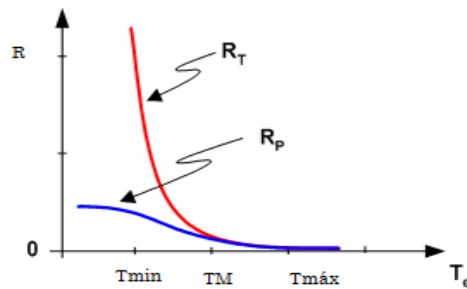
$$R_{NTC} = 10\text{k}\Omega;$$

$$B = 3380 \text{ K}$$

$$T = 273 + 25 = 298\text{K}$$

El valor de  $\alpha$  de acuerdo a la ecuación (1.6) es:

$$\alpha = 0.1186$$



**Figura 1.18:** representación grafica

Donde  $T_M$  = punto medio entre  $-40$  y  $125^\circ\text{C}$

La temperatura central es  $(-40^\circ\text{C} + 125^\circ\text{C})/2 = 42.5^\circ\text{C}$

Luego:  $T_M = 273 + 42.5 = 315.5 \text{ K}$

La resistencia del termistor,  $R_{NTC}$  @  $42.5^\circ\text{C}$  de acuerdo a la ecuación (1.14) es:

$$R_{NTC}(T_M) = 5330 \Omega$$

El cálculo de  $R_P$  se realiza con el cálculo del punto de inflexión de la curva. La zona máxima linealidad estará situada entorno del punto de inflexión.

$$\frac{d^2 R(T)}{dT^2} = 0$$

El valor de la resistencia  $R_P$  anulando la segunda derivada es:

$$R_P = R_{NTC}(T_M) \frac{B - 2T_M}{B + 2T_M} \quad (1.15)$$

El valor de la resistencia  $R_P$  según la expresión (1.15) es:

$$R_P = 3653 \Omega$$

Por lo tanto:  $R_2(T_M) = R_{NTC}(T)/R_P = 2167 \Omega.$

El coeficiente térmico o la sensibilidad se define como:

$$\alpha_R = \frac{1}{RT} \cdot \frac{dR}{dT} = \frac{-B}{T_M^2} \quad (1.16)$$

Como vemos que la sensibilidad no es lineal y varia con el inverso de cuadrado de la temperatura absoluta.

La sensibilidad en el punto medio de acuerdo a la ecuación (1.16) es:

$$\alpha_R(T_M) = -0,0339$$

Nuevo coeficiente de temperatura será resultado de la expresión (1.17):

$$\alpha_{TL} = \frac{R_P}{R_P + R_{NTC}(T_M)} \alpha_R(T_M) \quad (1.1)$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (1.17) obtenemos:

$$\alpha_{TL} = -0.0138 \Omega / \Omega^\circ C$$

Este coeficiente de temperatura linealizado es inferior al coeficiente de temperatura del sensor  $|\alpha_{TL}| < |\alpha_R|$

Generalmente  $\alpha_{TL}$  es mucho más grande que en los NTC que en los sensores RTD metálicos y los sensores PTC.

La linealización de la curva sirve para trabajar dentro de un intervalo de temperatura con la expresión aproximada.

$$R(T) = R(T_M) (1 + \alpha_{TL}(T - T_M)) \quad (1.18)$$

$$R(T) = 5330[1 + (0,0138)(315,5 - 273)]$$

$$R(T) = 8456 \Omega$$

La siguiente expresión (1.19):

$$R(T) = R(T_M) (1 - T_M \alpha_{TL}) \left[ 1 + \frac{\alpha_{TL}}{1 - \alpha_{TL} T_M} T \right] \quad (1.19)$$

Equivalente a la expresión lineal:

$$R_2(T) = R_0(1 + \alpha T)$$

Donde:  $R_0 = R(T_M) (1 - T_M \alpha_{TL})$  (1.20)

$$\alpha = \frac{\alpha_{TL}}{1 - \alpha_{TL} T_M} \quad (1.21)$$

Sustituyendo el valor de la coeficiente de temperatura en la ecuación (1.21):

Tenemos

$$\begin{aligned} \diamond T_M &= 42.5^\circ\text{C} & \alpha &= -8,7 \cdot 10^{-3} \\ \diamond T_M &= 42.5 + 273 & \alpha &= -2,57 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Hay que tener presente que el coeficiente  $\alpha_R = \frac{-B}{T_M^2}$  se mide en K y el resultado de  $R_2(T) = R_0(1 + \alpha T)$  en grados centígrados ( $^\circ\text{C}$ ).

$$R(T) = R(T_M) (1 - T_M \alpha_{TL}) = 8456(1 - 8,7 \cdot 10^{-3}) (^\circ\text{C}) = 11,6 \text{ k}\Omega$$

$$R_0 = 11,6(1 - 2,57 \cdot 10^{-3} \cdot 273) = 3461 \Omega$$

Finalmente:  $R_2(T) = R_0(1 + \alpha T)$

$$R_2(T^\circ\text{C}) = 3461 (1 - 8,61 \cdot 10^{-3} T)$$

(1.22)

Ahora nos falta saber los valores del resto de la resistencia.

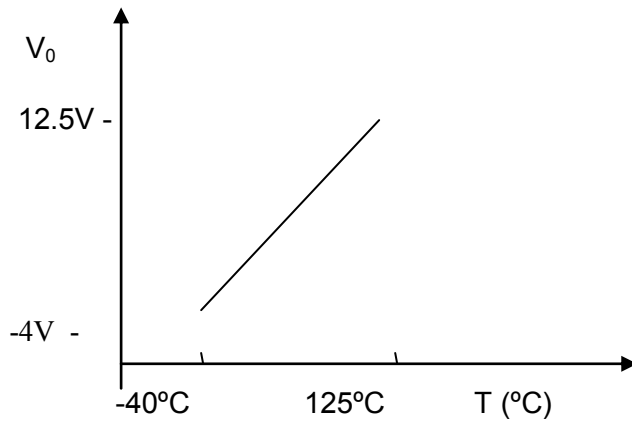
$$\text{A } 0^\circ\text{C} \rightarrow R_{NTC}(0^\circ\text{C}) = 28253 \Omega$$

$$R_{1,3,4}(T) = \frac{R_{NTC}(T) \cdot R_P}{R_{NTC}(T) + R_P}$$

$$R_1 = R_3 = R_4 = 3234,75 \Omega$$

El margen de medida  $-40^\circ\text{C} \rightarrow 125^\circ\text{C}$

Queremos que a  $125^\circ\text{C}$  la tensión de salida valga 12,5 v y a  $-40^\circ\text{C}$  la tensión de salida valga -4 v, figura 1.19.



**Figura 1.19 :** Grafica para el cálculo de la sensibilidad

$$\begin{aligned} V_0 &= 0.1 \text{V} / T^{\circ}\text{C} \cdot T \\ V_0 &= G V_d + V_{\text{ref}} \end{aligned} \quad (1.23)$$

Analizando la puente de acuerdo a la figura 1.16 tenemos:

$$V_d = \frac{-R_2 R_3 + R_1 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} V_{\text{CC}}$$

$$R_2 = R_0 (1 + \alpha T)$$

La tensión diferencial:

$$V_d = -\frac{\alpha T}{4} V_{\text{CC}} \quad (1.24)$$

Si  $V_{\text{CC}} = 5\text{V}$ ,  $\alpha = -8,710^{-3} \rightarrow V_d = 0.0107 \cdot T$

$$G = 0.1 / 0.0107 = 9.34$$

En la hoja de especificaciones de INA 101 de amplificador de instrumentación  
Tenemos:

$$G = 1 + \frac{40\text{K}\Omega}{R_g} \rightarrow R_g = 4796\Omega.$$

## MATERIAL.

Finalmente el material que vamos a utilizar en este circuito de medida de temperatura es:

**Resistencias:** 6- 6k8Ω    1- 3k3Ω    1-4k7Ω    1-10kΩ ajustable vertical PT – 10

**Sensor:** NTC 10kΩ

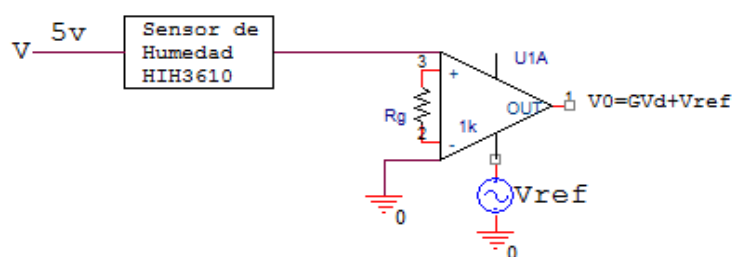
**Amplificadores:** 1-UA 741CN

1-INA 101 HP

## 4.3 Configuración para el sensor de humedad

### 4.3.1 Sensor de humedad HIH 3610.

El sensor de humedad relativa utilizado es el HIH-3610-003 del fabricante Honeywell el cual produce un voltaje lineal de salida que es directamente proporcional a la humedad relativa. Este sensor cuenta con un condensador plano con una segunda capa de polímero para protegerlo del polvo, suciedad, etc. La figura (Fig. 1.20) muestra la configuración del circuito para el sensor de humedad.



**Figura 1.20:** Circuito de medidor de humedad

En la Tabla 5 se muestran algunas de sus características.

18 Parámetro	Min.	Típico	Máx.
Voltaje de alimentación (v)	4	5	5.8
Corriente de alimentación (μA)	-	200	-
Rango de humedad (%)	0	-	100
Temperatura de operación (°c)	-40	-	85
Precisión (%)	-	±2(a 25°C)	-

**Tabla 5:** Características del sensor HIH 3610



En la Figura 1.21 se muestra la construcción de este tipo de sensores.



**Figura 1.21:** Sensor de humedad.

Las otras principales características del sensor son las siguientes:

**Margen de medición:** 0 → 100% RH

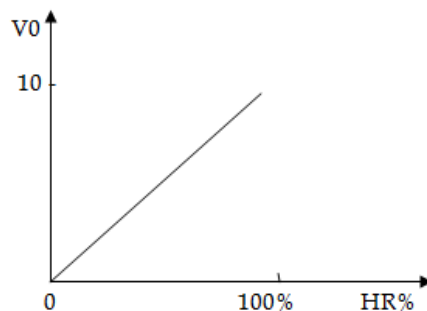
**Salida:** de 0.8 → 3.9 Vdc ( $V_{cc}=5V$ , 25°C)

**Tensión de salida:**  $V_0 = V_{cc} [0,0062 \times (\%HR) + 0,16] @ 25^\circ C$

**Alimentación:** 5 Vcc

El principio de funcionamiento del circuito es el siguiente:

Como hemos visto anteriormente la salida del sensor varía entre 0.8 y 3.9 Vdc y lo queremos nosotros que el valor de la tensión de salida del amplificador de instrumentación valga 0V cuando la salida la humedad es 0%HR y 10 V cuando la humedad vale 100% RH. Como esta mostrado en la figura 1.22.



**Figura1.22:** Grafica para el cálculo de la sensibilidad.

De acuerdo a lo comentado anteriormente la sensibilidad del sensor es:

$$\text{La sensibilidad} = \frac{0.1V}{\%HR}$$

- **Calculo de la ganancia :**

La expresión de la tensión de salida del sensor es la siguiente:

$$V_0 = V_{cc} [0,0062 \times (\%HR) + 0,16] \quad \text{donde} \quad V_{cc} = 5 V$$

Por lo tanto:

$$G \left( \frac{31\text{mV}}{\%HR} HR + 0.8 \right) = \frac{0.1\text{V}}{\%HR} HR \rightarrow G = 3.22$$

- **Calculo de la tensión de offset del amplificador**

La expresión de la tensión de salida del amplificador es:

$$V_0 = GV_d + V_{ref}$$

Por lo tanto cuando la tensión de salida vale 0 tenemos:

$$V_0 = 0 \rightarrow G \cdot 0.8 + V_{ref} = 0 \rightarrow V_{ref} = -2.57 \text{ V}$$

- **Calculo de la resistencia Rg**

El amplificador de instrumentación utilizado es de tipo INA 101 su ganancia cumple la siguiente ecuación:

$$G = 1 + \frac{40\text{K}\Omega}{R_g}$$

Sustituyendo el valor de la ganancia tenemos:

$$R_g = 18018\Omega$$

## **MATERIAL.**

Finalmente el material que vamos a utilizar en este circuito para la medida de la humedad es:

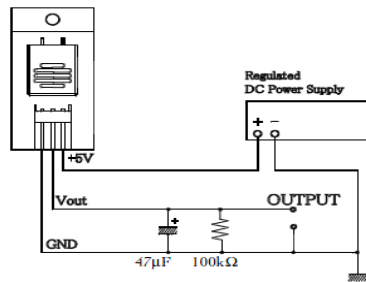
**Resistencias:** 1-10k $\Omega$       1-18 k $\Omega$       1-100K $\Omega$  ajustable vertical PT – 10

**Amplificadores:** 1-UA 741CN      1-INA 101 HP

**Sensor:** HIH 3610

### 4.3.2 Sensor de humedad HU10

El fabricante en la hoja de características ya estipula el esquema que se debe seguir para adecuar la señal al sensor, como denota en la **Fig.1.23** que viene a Continuación. En este caso se comporta como una fuente de intensidad y varía su intensidad de salida en función de la humedad relativa en el ambiente.



**Figura 1.23:** circuito de medida de humedad.

Las principales características del sensor son las siguientes:

**Margen de medición:** 10 → 100% RH

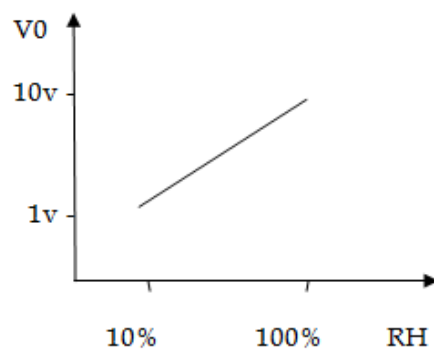
**Salida:** de 1 → 3 Vdc ( $V_{cc} = 5V$ , 25°C)

**Alimentación:** 5 Vcc

El método es similar al método de medición de humedad explicado anteriormente.

El principio de funcionamiento del circuito es el siguiente:

Como hemos visto anteriormente la salida del sensor varía entre 1 y 3 Vdc y lo queremos nosotros que el valor de la tensión de salida del amplificador de instrumentación valga 1V cuando la humedad vale 10% RH y 10 V cuando la humedad 100%RH. Como esta mostrado en la figura 1.24.



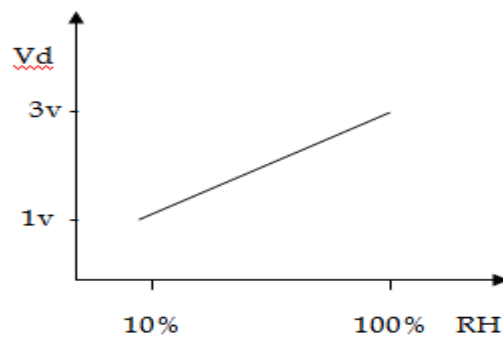
**Figura 1.24:** grafica para el cálculo de la sensibilidad.

Entonces la sensibilidad del sensor será:

$$\text{La sensibilidad} = \frac{0.1V}{\%HR}$$

Una vez obtenida la sensibilidad del sensor obtenemos la ganancia del amplificador.

- Cálculo de la ganancia.



**Figura 1.25:** grafica para el cálculo de la tensión diferencial.

De acuerdo a la figura 1.25 llegamos a que la expresión de la tensión de salida del sensor es la siguiente:

$$V_d = \frac{0.022V}{\%HR} HR + 0.77$$

Por lo tanto

$$G \left( \frac{0.022V}{\%HR} HR + 0.77 \right) = \frac{0.1V}{\%HR} HR$$

Finalmente:

$$G = 4.5$$

- Cálculo de la tensión de offset del amplificador

La expresión de la tensión de salida del amplificador es:

$$V_0 = G V_d + V_{ref}$$

Por lo tanto cuando la tensión de salida vale 0 tenemos el valor de  $V_{ref}$ :

$$V_0 = 0 \rightarrow G \cdot 0.77 + V_{ref} = 0 \rightarrow V_{ref} = -3.465 \text{ V}$$

- Cálculo de la resistencia  $R_g$

El amplificador de instrumentación utilizado es de tipo INA 101 su ganancia cumple la siguiente ecuación:

$$G = 1 + \frac{40K\Omega}{R_g}$$

Sustituyendo el valor de la ganancia tenemos:

$$R_g = 11.43k\Omega$$

## MATERIAL.

Finalmente el material que vamos a utilizar en este circuito para la medida de la humedad es:

### Resistencias:

1-1000 $\Omega$                       1- 10k $\Omega$                       1- 100k $\Omega$                       2-10k $\Omega$  ajustable vertical PT – 10

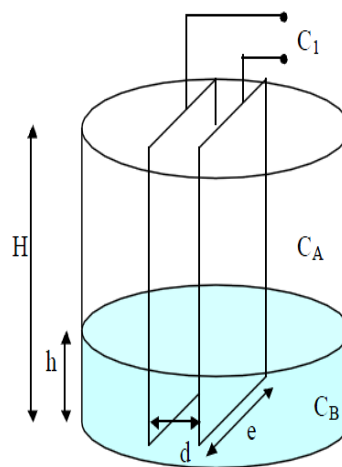
**Amplificadores:**                      1-UA 741CN                      1-INA 101 HP

**Sensor:** HU10

**Condensadores:**                      1-47 $\mu$ F

### 4.4 Configuración para el sensor de nivel de lluvia

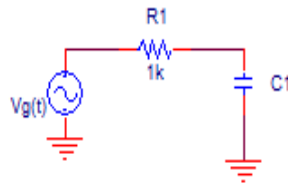
Como vemos en el apartado 3.5 nuestro equipo de medida de nivel de líquido es un depósito industrial. Donde, se han dispuesto dos placas metálicas paralelas en el interior del depósito que actúan como un condensador plano. Se pretende utilizar la variación de la capacidad en función de la variación de la altura del líquido para determinar el nivel. Figura (1.26)



**Figura 1.26:** medida de nivel de líquido

Notemos que la capacidad  $C_1$  variará en función de la altura del líquido entre unos valores  $C_{1MIN}$  y  $C_{1MÁX}$ .

La figura 1.27 nos representa el circuito RC equivalente de las dos placas, de modo que la capacidad total,  $C_1$ , la podemos medir del siguiente modo:



**Figura 1.27:** Circuito para medir el valor de la capacidad  $C_1$

A partir de los valores de las frecuencias de corte a  $-3\text{dB}$  que son  $F_1 = 2.73\text{MHz}$  y  $F_2 = 1.53\text{MHz}$  obtenidas en el generado podemos calcular  $C_{1\text{MIN}}$  y  $C_{2\text{MÁX}}$ .

$$C_{1\text{MIN}} = 58\text{pF} \quad \text{y} \quad C_{1\text{MÁX}} = 104\text{pF}$$

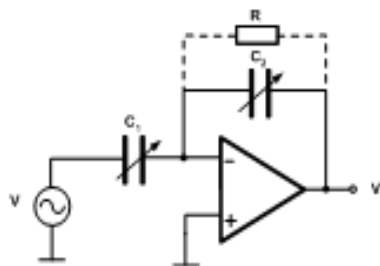
Donde:

$C_{1\text{MIN}}$ : es el valor de la capacidad del condensador en el caso de tener el depósito vacío.

$C_{1\text{MÁX}}$ : es el valor de la capacidad del condensador en el caso de tener el depósito lleno a altura de 13cm.

Una vez calculada la capacidad entre los electrodos del sensor, llega el momento de ver cómo medir dicha capacidad. Se trata de convertir las variaciones de capacidad, debidas a la variable a medir, en una tensión, frecuencia o modulación de ancho de pulso.

La solución más directa es emplear como circuito básico de medida de la capacidad el amplificador de alterna de la figura 1.28. La tensión de salida es proporcional a  $C_1/C_2$ :

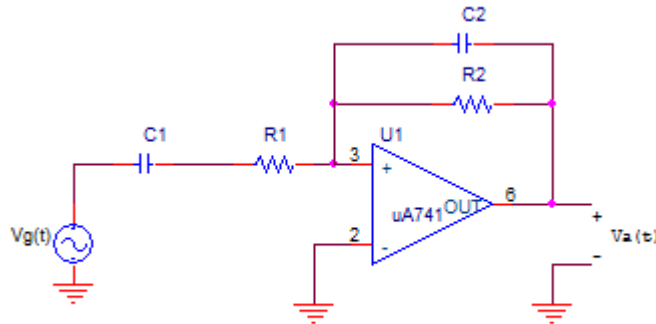


**Figura 1.28:** Amplificador de alterna para la medida de la capacidad del sensor

$$V_o = -V \cdot \frac{C_1}{C_2}$$

Este acondicionamiento (fig. 1.28) puede utilizarse para obtener una salida lineal con la variación del área de las placas o con la distancia de separación entre ellas. En primer caso  $C_1$  es la capacidad que experimenta la variación del área de las placas y  $C_2$  una capacidad de referencia. En el segundo caso  $C_1$  es el condensador de referencia y  $C_2$  el que varía la distancia entre placas. La resistencia paralelo  $R$  permite la circulación de las corrientes de polarización del operacional.

Para realizar el proceso de acondicionamiento de la señal se propone finalmente el circuito de la figura 1.29. Donde  $R_1=1K\Omega$  y  $R_2=100K\Omega$



**Figura 1.29:** Circuito acondicionador de la señal para sensor capacitivo.

Este circuito realiza la función de un filtro activo pasa banda, con función de

$$\text{transferencia } H(s) = \frac{V_a(s)}{V_g(s)} = \frac{-C_1 \cdot R_2 \cdot s}{(\tau_1 \cdot s + 1)(\tau_2 \cdot s + 1)} \quad (1.25)$$

Donde:  $\tau_1 = R_1 C_1$  y  $\tau_2 = R_2 C_2$

Y donde:

$C_1 = C_{1\text{MÁX}} = 104\text{pF}$  y  $C_2 = C_{1\text{MIN}} = 58\text{pF}$

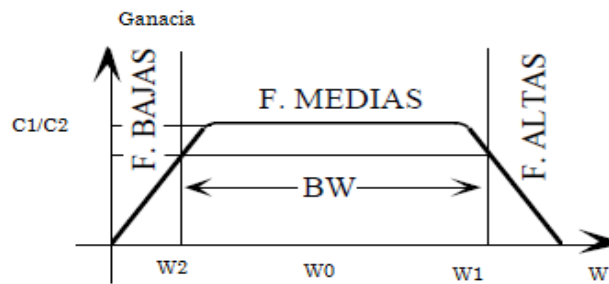
Si consideramos que  $R_2 C_2 \gg R_1 C_1$ , entonces las frecuencias angulares,  $\omega_1$  y  $\omega_2$  cumplirán,  $\omega_2 \ll \omega_1$ , siendo:

$$\omega_1 = 1 / R_1 C_1 \quad \omega_2 = 1 / R_2 C_2$$

Operando se obtiene:

$$\omega_2 = 172\text{krad/s} \quad \omega_1 = 9,6\text{Mrad/s}$$

La respuesta en frecuencia del circuito se representa en la figura 1.30.



**Figura 1.30:** Diagrama de Bode de amplitud para la  $H(j\omega)$

Observando el diagrama de Bode de amplitud representado en la figura 1.30, se puede deducir que la zona óptima de trabajo es un punto central de la respuesta frecuencial plana del amplificador. En esta posición, la ganancia de la etapa es independiente de la frecuencia de alimentación. Por otra parte, en este punto óptimo, la ganancia es directamente proporcional a la altura del líquido,  $h$ , que pretendemos medir.

Luego, para una  $\omega_0$  comprendida entre  $\omega_1$  y  $\omega_2$ :

$$\omega_2 < \omega_0 < \omega_1,$$

Tendremos:

$$G(j\omega_0) = \frac{C_1}{C_2} \quad (1.26)$$

Es decir, la ganancia queda determinada por el valor de las capacidades  $C_1$  y  $C_2$  la ecuación (1.26).

En este caso la ganancia vale:  $G=2$

Por otra parte, para conseguir máxima planicidad para el módulo de la respuesta en frecuencia de la ganancia, es preciso que:

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_2 \cdot \omega_1}$$

Sustituyendo valores:

$$\omega_0 = 1,28 \text{ Mrad/s, o lo que es lo mismo, } f_0 = 204 \text{ kHz.}$$

Si consideramos  $C_1$  como elemento sensor:

$$V_a(t) = - |H(j\omega_0)| \text{ sen } (2\pi f_0 t)$$

$$V_a(t) = - \frac{C_1}{C_2} V_g(t) = - \frac{C_0}{C_2} (1 + \alpha h) V_g(t)$$

Si  $C_2 = C_{1\min} = C_0$ , entonces:

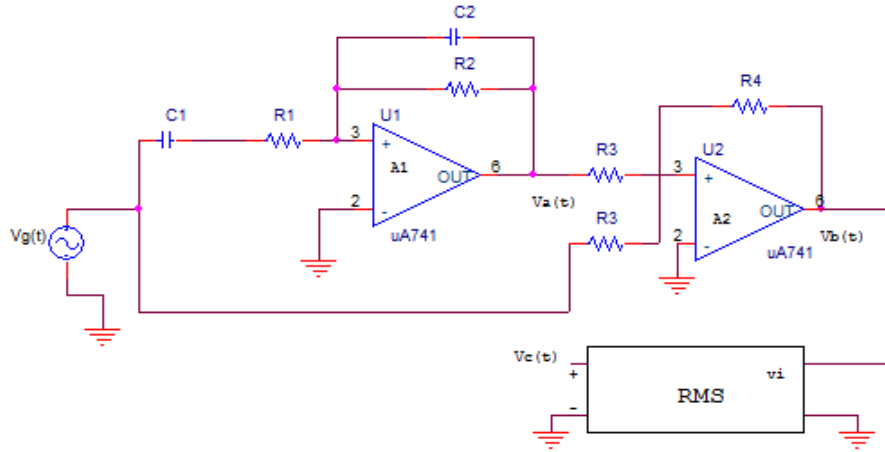


$$V_a(t) = -(1 + \alpha h) V_G \sin(2\pi f_0 t) \quad (1.27)$$

Si observamos la expresión (1.27) para  $V_a(t)$ , se comprueba que existe una tensión mínima cuando el depósito está vacío. Dicha tensión toma el valor siguiente:

$$V_{a(t)\min} = -V_G \sin(2\pi f_0 t)$$

Esto hace que sea necesario disponer de una etapa A2 para eliminar el término de error, tal y como muestra la figura 1.31.



**Figura 1.31:** acondicionador de señal propuesto para sensor capacitivo

Así pues, mediante un análisis simple de la etapa A2 se llega a:

$$V_b(t) = -\frac{R4}{R3} V_a(t) - \frac{R4}{R3} V_g(t)$$

$$V_b(t) = \frac{R4}{R3} \alpha V_G h \sin(2\pi f_0 t) \quad (1.28)$$

Notemos que  $V_b(t)$  es una señal senoidal de amplitud modulada directamente por el nivel de líquido del depósito.

Si no hay líquido,  $h = 0$  y entonces,

$$V_b(t) = 0$$

Si el depósito está lleno,  $h=H$  y entonces,

$$V_b(t) = \left[ \frac{R4}{R3} \alpha V_G H \right] \sin(2\pi f_0 t)$$

La tensión  $V_G$  será un determinado valor de continua proporcional a la altura del líquido que se quiere medir.

$$V_b = \left[ \frac{R_4}{R_3} V_g \right] \frac{\alpha}{\sqrt{2}} \cdot h = S \cdot h$$

Donde S es la sensibilidad del instrumento establecida en 1v/m, es

$$1\text{v/m} = \left[ \frac{R_4}{R_3} V_g \right] \frac{\alpha}{\sqrt{2}}$$

Operando la expresión  $C_1 = C_2(1 + \alpha h)$  donde h es la altura del líquido de nuestro recipiente y que vale  $h = 13\text{cm} = 0.13\text{m}$

Tendremos:  $\alpha = 7.7/\text{m}$

Para dicha sensibilidad y  $V_g = 2\text{v}$ , entonces el valor del cociente entre las resistencias  $R_4$  y  $R_3$  debe ser:

$$\frac{R_4}{R_3} = 1.83$$

De modo que suponiendo una  $R_3$  de  $1\text{k}\Omega$ ,  $R_4$  deberá tomar un valor de  $1,8\text{ k}\Omega$  junto a una resistencia potenciométrica de  $100\Omega$  para ajustar la relación.

## MATERIAL.

Finalmente el material que vamos a utilizar en este circuito para la medida de nivel de agua es:

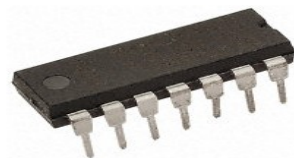
**Resistencias:** 1- $1.8\text{k}\Omega$  2-  $1\text{k}\Omega$  1-  $100\text{k}\Omega$  2- $10\text{k}\Omega$  ajustable vertical PT – 10

**Amplificadores:** 2 -UA 741CN 1-RMS AD 736

**Condensadores:** 1- $100\text{pF}$  1- $50\text{ pF}$

## 4.5 Implementación de amplificador

Para la etapa de amplificación de los circuitos de medida de temperatura y de la humedad hemos utilizado el amplificador de instrumentación INA 101.



**Figura 1.32:** Amplificador de instrumentación INA101

## REQUISITOS DEL AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTACIÓN.

El amplificador de instrumentación es un amplificador diferencial tensión-tensión cuya ganancia puede establecerse de forma muy precisa y que ha sido optimizado para que opere de acuerdo a su propia especificación incluso en un entorno hostil. Es un elemento esencial de los sistemas de medida, en los que se ensambla como un bloque funcional que ofrece características funcionales propias e independientes de los restantes elementos con los que interacciona

Para ello, se le requiere que:

a) Tengan unas características funcionales que sean precisas y estables y que no se modifiquen cuando se ensambla con otros elementos.

A los amplificadores de instrumentación se les requieren las siguientes características:

1) Son amplificadores diferenciales con una ganancia diferencial precisa y estable, generalmente en el rango de 1 a 1000.

2) Su ganancia diferencial se controlada mediante un único elemento analógicos (potenciómetro resistivo) o digital (conmutadores) lo que facilita su ajuste.

3) Su ganancia en modo común debe ser muy baja respecto de la ganancia diferencial, esto es, debe ofrecer un CMRR muy alto en todo el margen de frecuencia en que opera.

4) Una impedancia muy alta para que su ganancia no se vea afectada por la impedancia de la fuente de entrada.

5) Una impedancia de salida muy baja para que su ganancia no se vea afectada por la carga que se conecta a su salida.

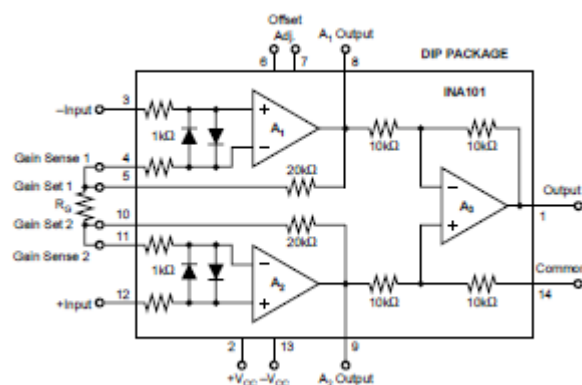
6) Bajo nivel de la tensión de *offset* del amplificador y baja deriva en el tiempo y con la temperatura, a fin de poder trabajar con señales de continua muy pequeñas.

7) Una anchura de banda ajustada a la que se necesita en el diseño.

8) Un factor de ruido muy próximo a la unidad, esto es, que no incremente el ruido.

9) Una razón de rechazo al rizado a la fuente de alimentación muy alto.

En la figura 1.33 se muestra la estructura interna del amplificador elegido.



**Figura 1.33:** Estructura interna del INA 101

En la tabla 6 se resume las principales características del INA101.

<b>Característica</b>	<b>INA101</b>
Ganancia	$G=1+ \frac{40K\Omega}{R_g}$
Error en la ganancia	$\pm 0.292\%$
Desfase de entrada	$\pm 340\mu V$
Input bias current (por cada entrada)	30 nA
Impedancia de entrada	$10^{10}\Omega$
Rango máximo de voltaje de entrada	$\pm 15 V$
Consumo de corriente de la fuente	$\approx \pm 6.7 mA$
CMRR	100 dB
Ruido en la entrada	0.8 $\mu V_{pp}$

**Tabla 6:** Características de INA101

## CAPÍTULO 5. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SOFTWARE

### 5.1 Introducción:

En este capítulo se desarrolla un software, mediante el programa “LabVIEW”, basado en entorno de programación gráfica y almacenamiento de digital de las medidas. Y que permita gestionar el uso de dos instrumentos la fuente de alimentación y el multímetro. Deberá permitir configurar los equipos desde el PC y proporcionar unas prestaciones que describiremos en este capítulo.

La preparación del sistema consiste en primer lugar en recibir datos de forma digital, y procesarlos, guardar los datos en el Microsoft Excel en la hoja de cálculo Excel, cargar estos datos y mostrarlos en la pantalla del PC.

### 5.2 Entorno de programación

Para la realización de este proyecto, hemos escogido como entorno de programación LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), que proporciona una gran facilidad para desarrollar instrumentos virtuales.

LabView es una herramienta de programación gráfica, que permite la construcción de sistemas de adquisición de datos, instrumentación, control y test. A través de este lenguaje podemos crear rápidamente un interfaz de usuario para interactuar con el sistema.

El entorno de programación *LabVIEW* se estructura de la forma siguiente:

- La interactividad con el usuario se realiza a través de un VI (Virtual Instrument), que simula el panel del instrumento físico. Este VI se diseña en el *Panel Frontal*. Este panel frontal puede contener botones, interruptores, pulsadores, gráficas y otros controles e indicadores. Los datos se introducen utilizando el ratón y el teclado, y los resultados se muestran en la pantalla del ordenador.

El VI recibe las instrucciones programadas del *Diagrama de Bloques* que construimos utilizando el lenguaje de programación G (Graphic). El diagrama de bloques es el código fuente de nuestro programa o VI.

- Los VIs son jerárquicos y modulares. Pueden utilizarse como programas o como subprogramas de otros programas. Cuando un VI se usa dentro de otro VI, se denominan subVI. El icono y los conectores de un VI funcionan como una lista de parámetros gráficos de forma que otros VIs puedan pasar datos a otro determinado subVI.

### 5.3 Protocolo de comunicación

Para interconectar los instrumentos del laboratorio con la aplicación creada (a través del ordenador), necesitamos unos buses de comunicación y un hardware que permita dicha comunicación. En nuestro caso utilizamos el bus GPIB para conectar los instrumentos al PC.



**Figura5.1:** Esquema de interconexión de dispositivos

A continuación describimos brevemente el bus de comunicación.

#### 5.3.1 Bus de instrumentación GPIB: (General Purpose Interface Bus)

GPIB es un estándar de conexión que nos permite la comunicación de un ordenador con instrumentos electrónicos de medida, en nuestro caso analizadores de espectros. Las siglas GPIB corresponden a General Purpose Interface Bus, fue creado en 1965 por la compañía Hewlett-Packard, que lo denominó originalmente HP-IB, y se popularizó con rapidez, debido a sus altas tasas de transferencia de datos (8 Mbyte/s). Para evitar la dispersión de características, los principales fabricantes acordaron la estandarización del

GPIB en 1975 (IEEE 488.1), centrándose en las características eléctricas y mecánicas del bus. Una segunda estandarización (IEEE 488.2 de 1987) delimitó de forma más concreta la programación del GPIB, definiendo comandos de aparatos, formato de mensajes y estado de los instrumentos.

La información circula por el bus en forma de mensajes, que solo pueden ser de dos tipos:

- de interfaz (comandos), para la gestión del bus: inicialización y direccionamiento de los aparatos.
- de datos, dirigidos a un dispositivo específico, como por ejemplo que haga una medida, que cambie su configuración, etc.

Características principales del bus GPIB:

- bus de transmisión: 8 bits en paralelo.
- tasa de transferencia: de 1 a 8Mbyte/seg.
- número máximo de instrumentos conectados: 15 y dos tercios deben estar encendidos.
- longitud máxima de cableado: 20 m

Hay varios tipos de conectores y cables GPIB, nosotros nos hemos utilizado el GPIB-USB, como el que se muestra en la figura:



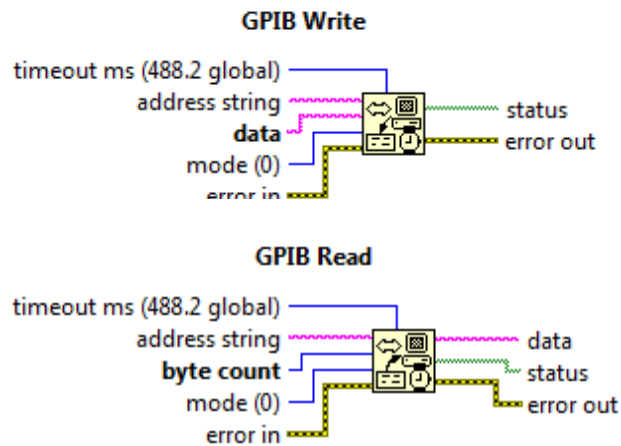
**Figura 5.2:** conector GPIB

Con Labview tenemos acceso al control del Bus GPIB. La parte de control y comunicación mediante Bus GPIB es posible gracias a una librería GPIB, mientras que la realización de la interface lo es gracias al uso de las librerías de controles, indicadores, etc.

Para la creación del panel frontal se dispone de la librería de controles y indicadores de todo tipo. Si colocamos un control desde la librería en el panel frontal, inmediatamente aparece un terminal en la ventana de programación. El nivel de programación consiste en conectar estos terminales a bloques funcionales. Los bloques funcionales son iconos con entradas y salidas que se conectan entre sí mediante cables constituyendo el nivel de programación del VI.

## **Librería GPIB**

Labview posee una librería GPIB que nos permite controlar y comunicarnos con nuestro instrumento a través del Bus GPIB. Las operaciones que se utilizan con mayor frecuencia son las de leer y escribir datos desde o hacia el instrumento vía un computador.



**Adress string:** este control debe contener la dirección del aparato ( en nuestro caso van a ser el multímetro y la fuente de alimentación que lo vamos a ver con detalle a continuación )con el que nos queremos comunicar en formato string. Si no se especifica la dirección, los Vis no realizarán direccionamiento antes de intentar escribir el string. El VI asume que el direccionamiento ha sido efectuado por otro camino, o que otro controlador está al mando y ,por tanto acargo del direccionamiento. Si el direccionamiento no se ha hecho antes del tiempo límite el VI termina su ejecución con el error GPIB nº.6(timeout) y el bit 14 de status en estado on. Cuando hay varios controladores GPIB instalados que pueden usarse desde Labview, se utiliza un prefijo address string que determina el controlador que el VI va a utilizar. El formato para este caso es "ID: address ", donde ID identifica al controlador. Por ejemplo "1.7", significa que se direcciona al instrumento de la dirección 7 que está conectado ala placa controladora del bus nº.1. En el caso de no utilizar este prefijo, Labview presupone que se está refiriendo a la placa 0.

**Status:** Este indicador es un array de variables booleanas (leds), en el que cada bit describe un estado del controlador GPIB. Si ocurre algún error el bit 15 se activa.

**Time out.** La operación se aborta si no se completa dentro del tiempo límite especificado en este control. Si esto ocurre, el bit 14 del status se activa. Para desactivar esta limitación, basta con ejecutar el valor del control a 0. el valor que se toma por defecto es el especificado mediante el VI SetTimeOut del estándar IEEE-488.2, que inicialmente tiene un valor de 25.000ms.

En este proyecto se ha utilizado dos instrumentos el multímetro 34401Ay la fuente de alimentación E3631A.

## 5.4 Equipos de medida

En nuestro caso los instrumentos que componen el sistema de instrumentación virtual son: un PC, el multímetro 34401A y la fuente de alimentación E3631A.Como ya hemos comentado antes, las conexiones entre estos equipos se realiza a través del puerto GPIB.

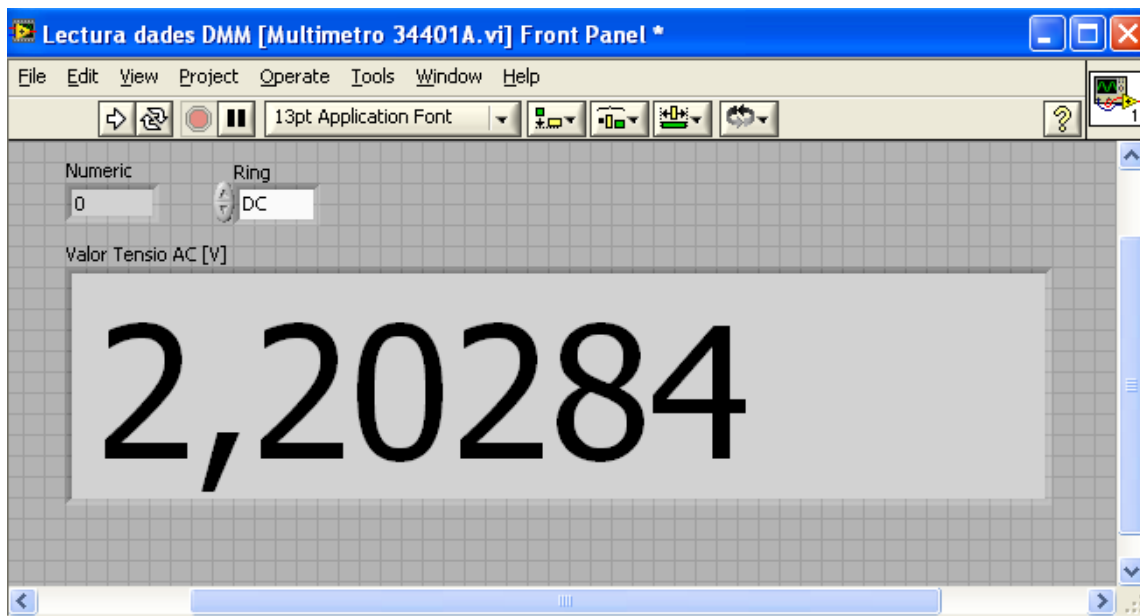
A continuación se muestran la configuración de estos dos instrumentos.



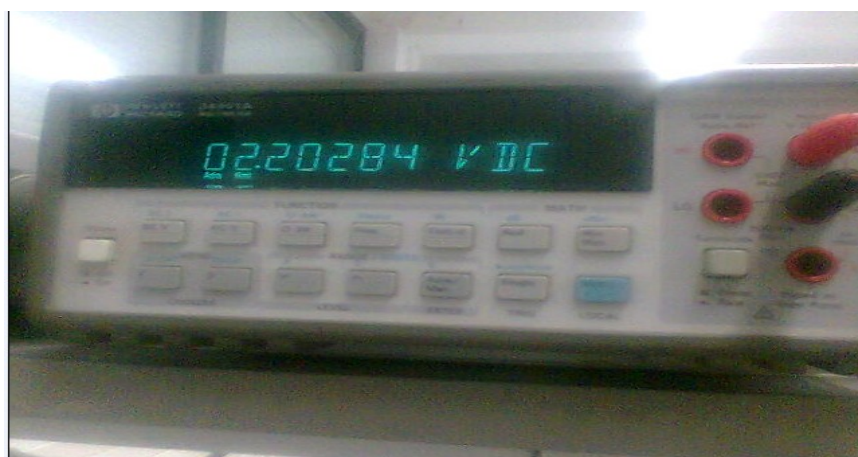
### 5.4.1 Configuración del multímetro 34401

En este apartado explicamos paso por paso las configuraciones que se pueden realizar en el multímetro 34401A. Esta configuración se puede realizar dos tipos de medidas, tanto en la alterna, como en la continua. Mediante este procedimiento se pueden configurar controles en la pagina del panel frontal del subVI para obtener las medidas.

Como vemos en la figura 5.3 tenemos dos maneras de configurar la tensión: seleccionando la tensión en alterna o en continua. Esta selección se realiza a través del botón Opciones.

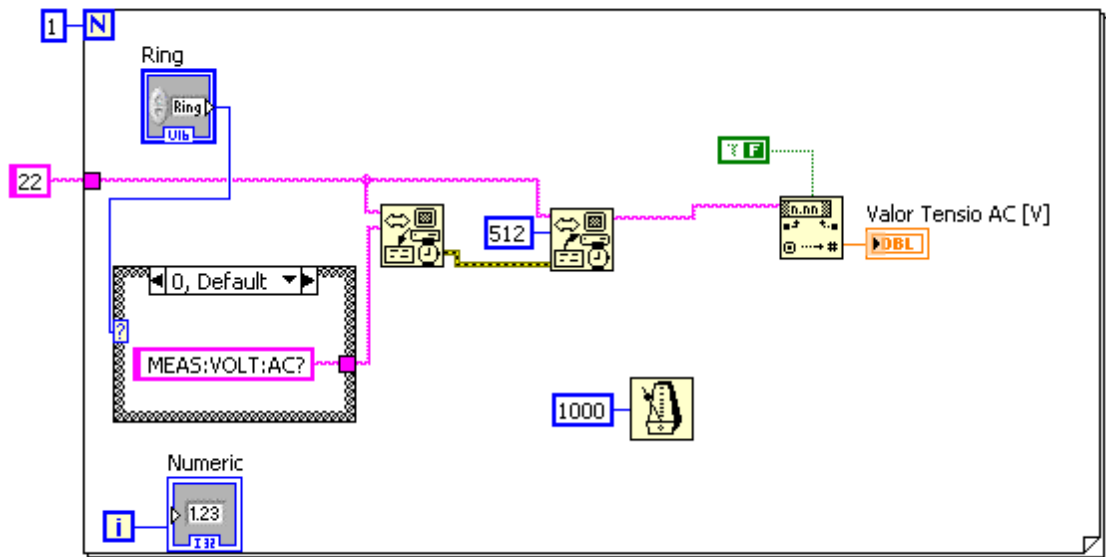


**Figura 5.3:** Configurar el valor de la tensión.



**Figura 5.4 :** Ejemplo de lectura del multímetro mediante GPIB

En el diagrama de bloques de la figura 5.23 Se muestra el código para realizar la configuración del multímetro 34401A, realizar un número determinado de medidas, leerlas y convertirlas a un vector de variables numéricas.



**Figura 5.5:** Diagrama de bloques de configuración y lectura del multímetro utilizando GPIB.

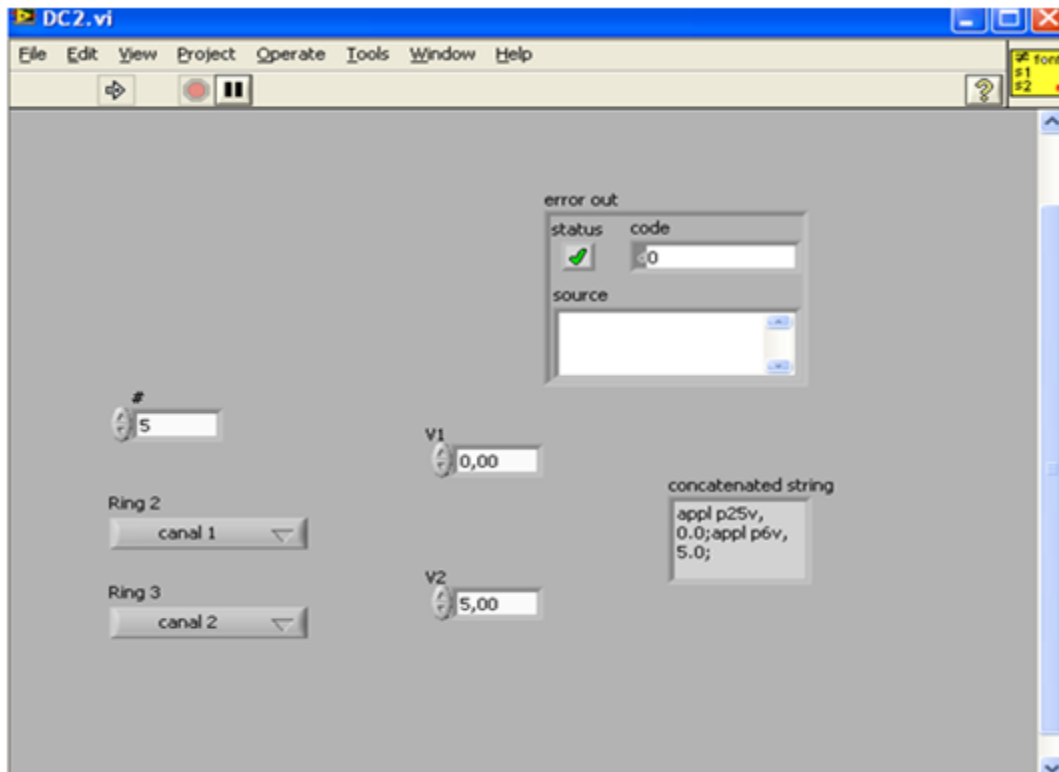
En el control numérico 22 es la dirección del instrumento. Puesto que las funciones GPIB necesitan una dirección en formato cadena de caracteres hacemos la conversión. En el control Ring tenemos un selector que nos permite escoger entre diferentes comandos a enviar para configurar el instrumento e diferentes modos. En la figura se observa el comando a enviar para configurar al multímetro para realizar medidas de tensión en alterna.

Después de enviar este comando MEAS:VOLT:AC O DC y mediante GPIB write enviamos el comando read para que el multímetro empiece a realizar las medidas y finalizadas las deje en el buffer de salida. Mediante la función GPIB read leemos las medidas en una variable tipo string.[10][12][14]

#### 5.4.2 Configuración de la fuente de alimentación

Otra configuración de nuestro sistema de instrumentación es la fuente de alimentación Agilent E3631A (figura 5.6 ), esta configuración nos va a mostrar el valor de tensión del canal 1 y canal 2 que le vamos a asignar a cada cadena de medida ,introduciendo los valores que queremos en el botón V1y V2.estas tensiones serán los controles para seleccionar las entradas del Multiplexor.

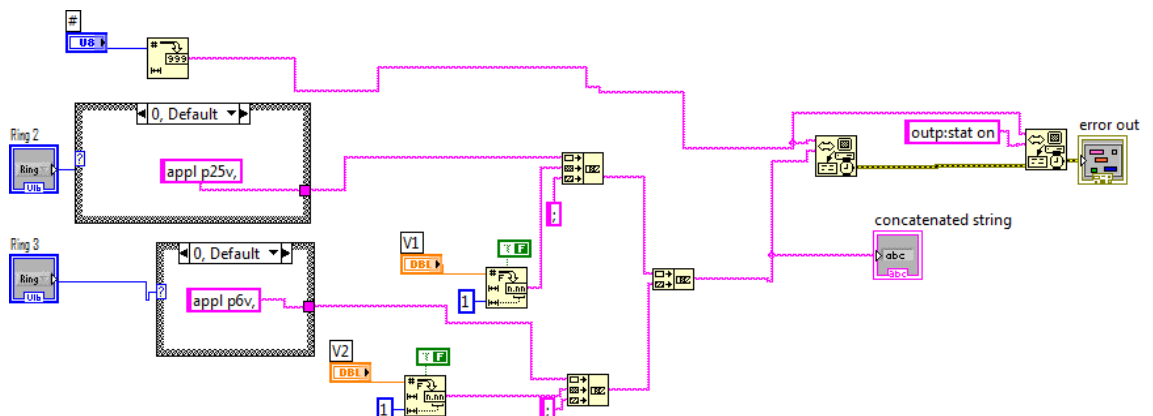
Una vez tenemos la configuración preparada de todos los botones ejecutamos el programa (figura 5.6), el cual nos enviará a través del puerto GPIB, la configuración que hemos seleccionado.



**Figura 5. 6:** Panel frontal de la fuente de alimentación después de ejecución.

Ahora vamos ver el diagrama de bloques la fuente de alimentación que se ha programado para establecer una comunicación con el instrumento. queremos programar la fuente de alimentación de esta forma:

- El canal 1 a 0 V y el canal 2 a 0V para medir la temperatura.
- El canal 1 a 0V y el canal 2 a 5V para medir la humedad 1.
- El canal 1 a 5V y el canal 2 a 0V para medir la humedad 2.
- El canal 1 a 5V y el canal 2 a 5V para medir el nivel de agua.



**Figura 5.7:** Diagrama de bloques de la fuente de alimentación

En el control numérico etiquetado con (#) configuramos la dirección de la fuente de alimentación (el instrumento se encuentra en la dirección 5). puesto que las funciones GPIB y como hemos comentado en la parte del multímetro necesitan una dirección en formato cadena de caracteres hacemos la conversión. En los dos controles etiquetados con Ring 2 y Ring 3 tenemos un selector que nos permite escoger las dos fuentes la de 6V o la de +25V a enviar para configurar el instrumento en diferentes modos. En la figura se observa el comando a enviar para configurar la fuente de 6V y 25 V.

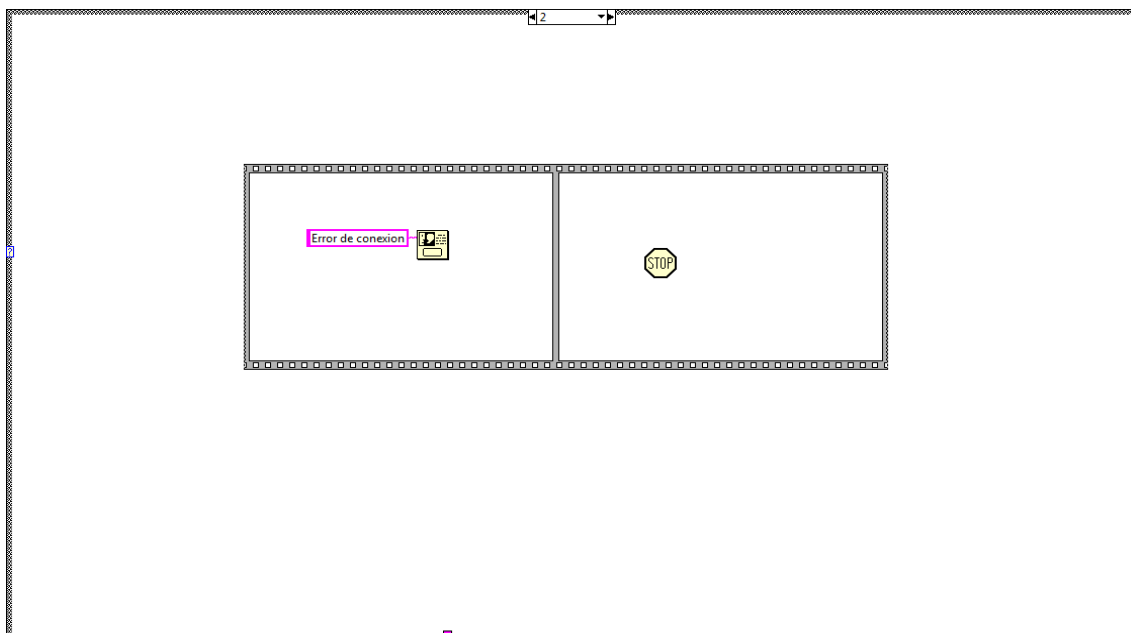
En los controles etiquetados como V1 y V2 seleccionamos el valor de la tensión que ha de realizar la fuente de alimentación para después convertirlos a una variable tipo carácter y concatenarla para formar el comando a enviar. Después de enviar estos dos comandos mediante la función GPIB write y activamos la salida.

Una vez programada la fuente de alimentación ahora vamos a utilizar la estructura Case Estructure para que el programa se ejecute de manera normal hasta que no produzca ningún error. En caso que haya un error de conexión o otro error desconocido aparecerá un mensaje de error y no se iniciará el programa (tal y como está en la imagen siguiente).



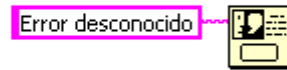
**Figura 5.8:** mensaje de error

En caso error de conexión el programa se para automáticamente (Fig 5.9).



**Figura 5.9:** Diagrama de bloques en caso de error de conexión

y si se trata de otro error desconocido el programa avisara al usuario con un mensaje (Fig 5.10)



**Figura 5.10:** Diagrama de bloques

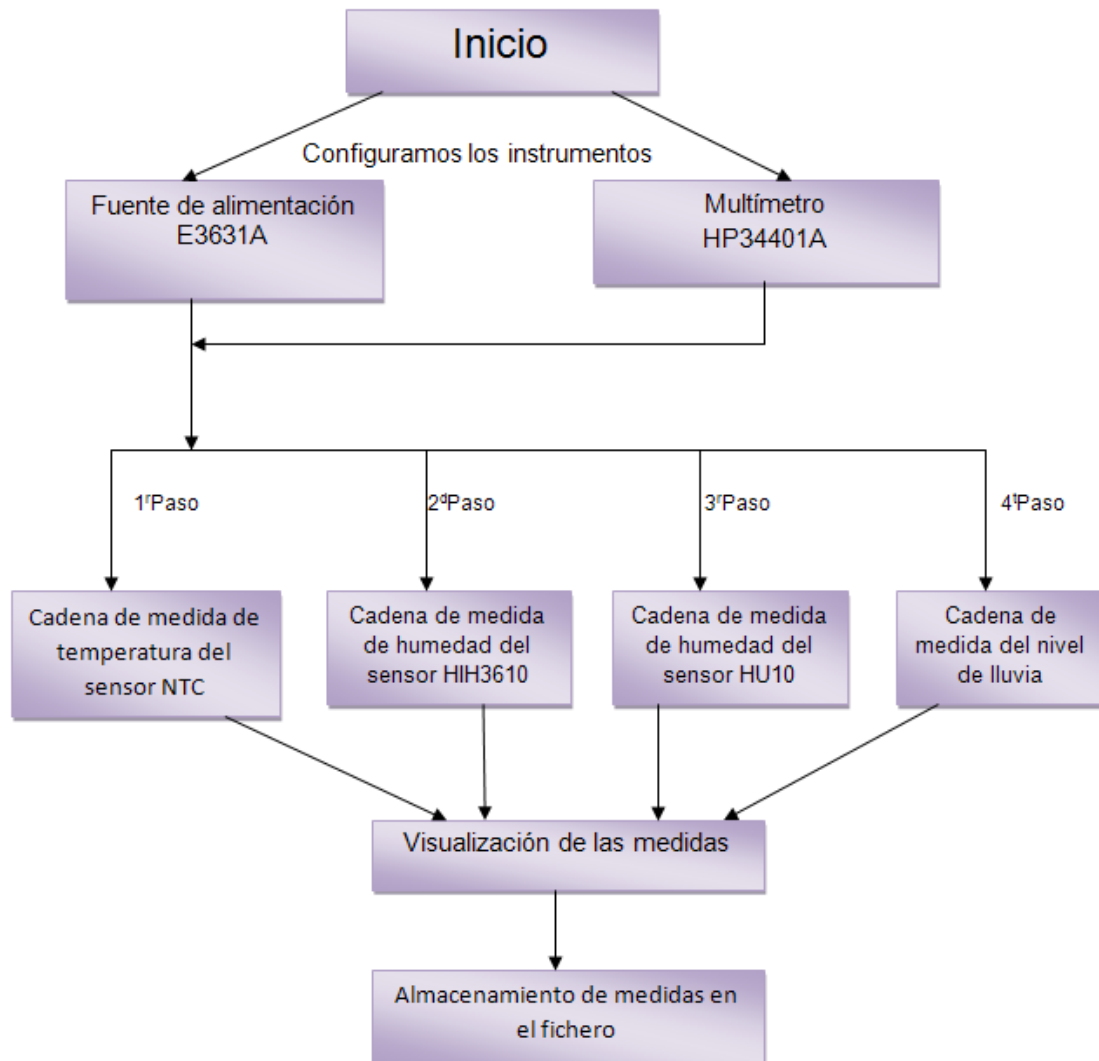
[11] "User's Guide Agilent Technologies" E3631A Triple Output DC Power Supply "Agilent Technologies"

## 5.5 Descripción del sistema

El sistema que hemos implementado consta de los siguientes bloques

- Inicio
- Selección de canales de medida del multiplexor mediante la fuente de alimentación
- Configuración de parámetros
- Adquisición de datos
- Visualización de resultados
- Almacenamiento de medidas en el fichero

En la ilustración de la figura 5.11, podemos ver esquemáticamente las funciones de las que se caracteriza nuestro programa. Partimos de un VI principal que primero lo que hace es configurar la fuente de alimentación para que automáticamente se activa dos señales de control TTL para que un multiplexor de cuatro canales que seleccione la cadena de medida a hacer y que van a ser de este orden : primero va a seccionar la cadena de medida de temperatura , la humedad del sensor HIH3610 , la humedad del sensor HU10 y el nivel de lluvia) una vez seleccionada la cadena de medida se configura el multímetro para hacer las medidas necesarias para luego visualízalas en la pantalla y guárdalas en un fichero Excel.



**Figura 5.11:** esquema del sistema.

## 5.6 VI PRINCIPAL

En la siguiente figura 5.12 podemos ver el panel frontal que se ha diseñado para este proyecto que nos permite visualizar las medidas una vez conectada la estación meteorológica. Si observamos la imagen del panel frontal del programa encontramos 4 partes bien diferenciadas. La primera parte de arriba a la izquierda nos va a mostrar la temperatura media de las diez medidas que se realizan, la temperatura instantánea, la varianza, la desviación típica y los valores máximos y mínimos. En la primera gráfica se va a representar la evolución de temperatura instantánea que se ha diseñado para ser representada en el tiempo real (esto quiere decir que la grafica en el eje de las x muestra el formato relativo al tiempo actual), y en la otra grafica (derecha) la temperatura que proporciona el sensor NTC a lo largo de tiempo. Con las otras cadenas de medida hacemos lo mismo solo cambian las unidades y los indicadores.

## Panel frontal

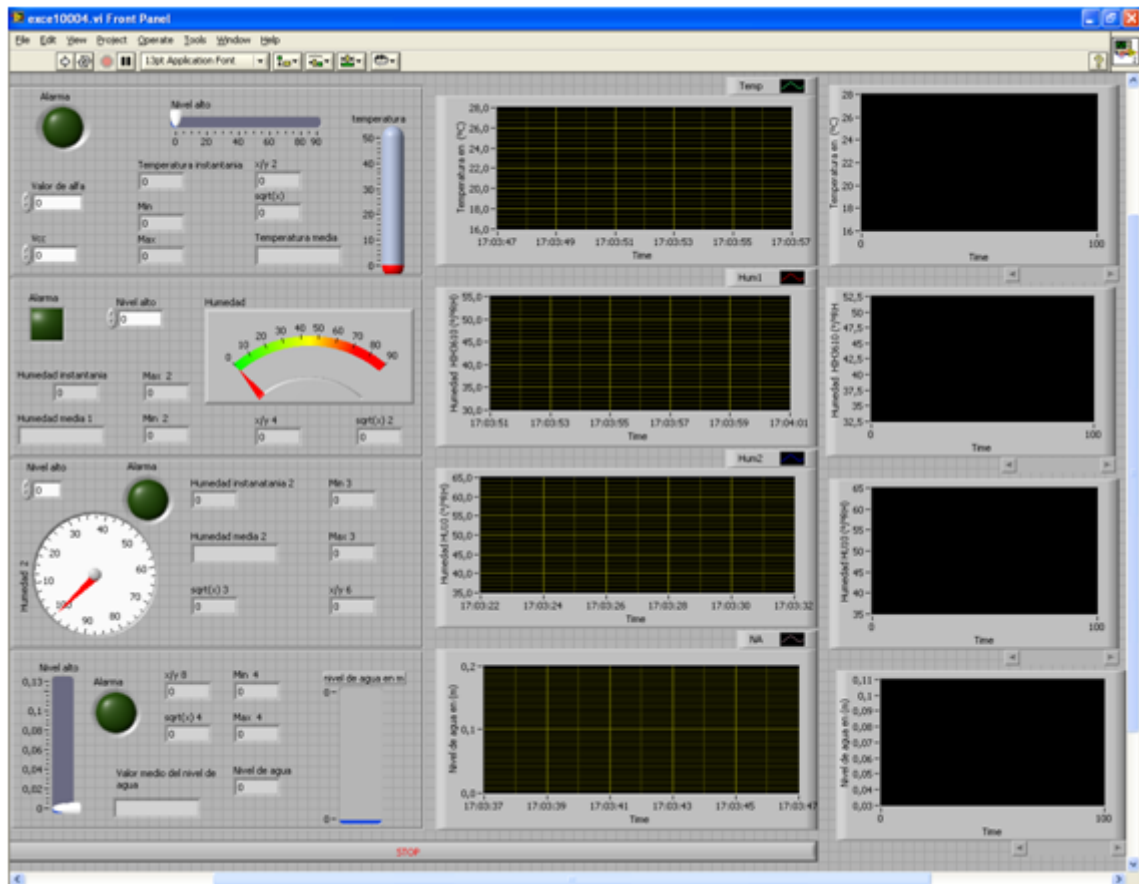
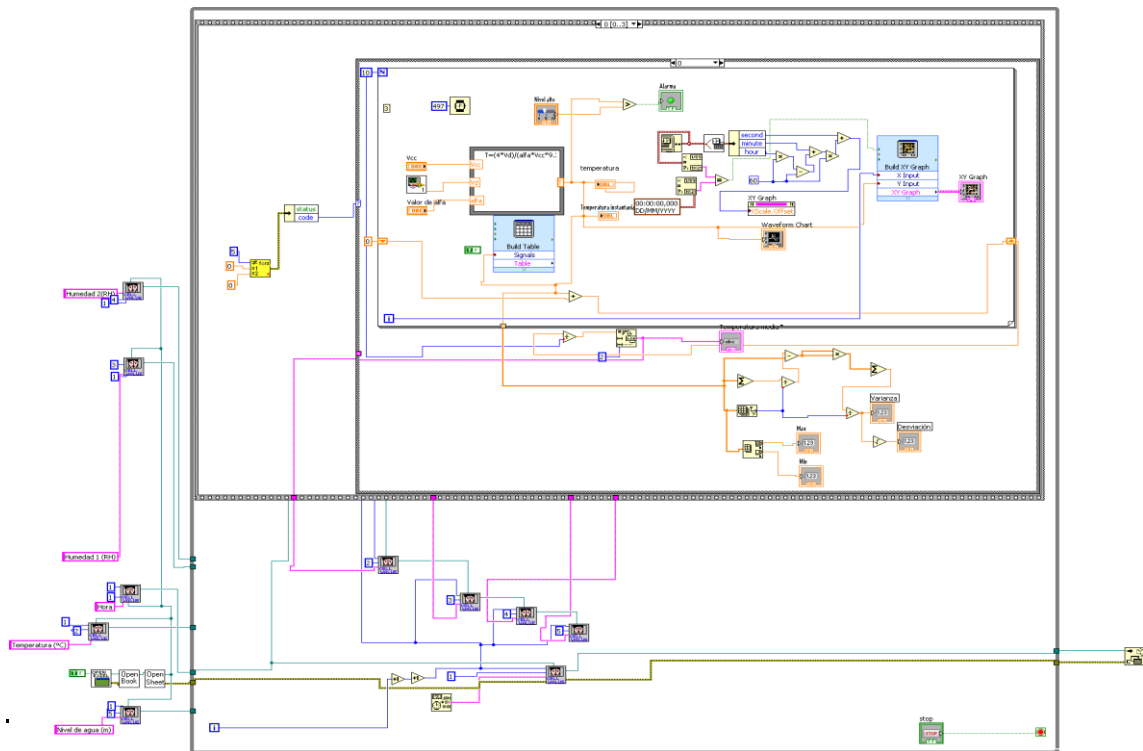


Figura 5. 12: Panel frontal del Menú principal

En la figura 5.13 veremos el diagrama de bloques que hemos programado de este sistema que es capaz de configurar los equipos de medida (el multímetro y la fuente de alimentación), medir los parámetros ambientales, hacer los cálculos y presentarlos en la pantalla y almacenarlos.

En esta figura se ve solamente el primer subdiagrama de la primera cadena de medida detrás hay otros subdiagramas para otras cadenas de medida.

Cada subdiagrama está contenido en un frame o marco de la **Estructura Sequence** y éstos se ejecutarán en orden de aparición: primero el frame 0 para nuestro caso la de temperatura después el frame 1 en nuestro caso la humedad y así, sucesivamente, hasta el último.

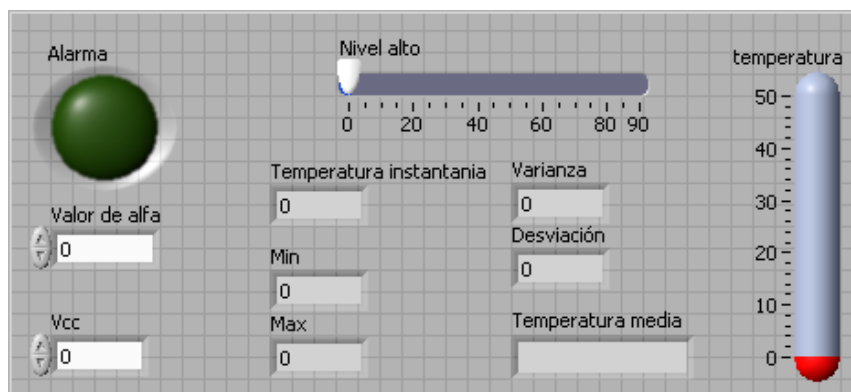


Esta sistema no se detendrá hasta que se active el botón “ Stop” de la estructura While Loop que incorpora el botón de control para parar el bucle esta estructura nos incluye el botón stop en el panel de controles en la figura podemos ver su apariencia en el diagrama de bloques. A continuación explicaremos con más detalles los pasos seguidos.

### 5.6.1 Configuración de la temperatura

#### 5.6.1.1 Panel frontal que visualiza la temperatura

La función de este pequeño panel será la de configurar la temperatura instantánea , la temperatura media ,la varianza y desviación y en otro la evolución temporal en un indicador tipo XY Graph y Waveform Chart que proporciona el sensor de temperatura NTC.



**Figura 5.14:** Panel que visualiza la temperatura



### 5.6.1.2 Diagrama de bloques

La estructura esquemática del programa es la siguiente:

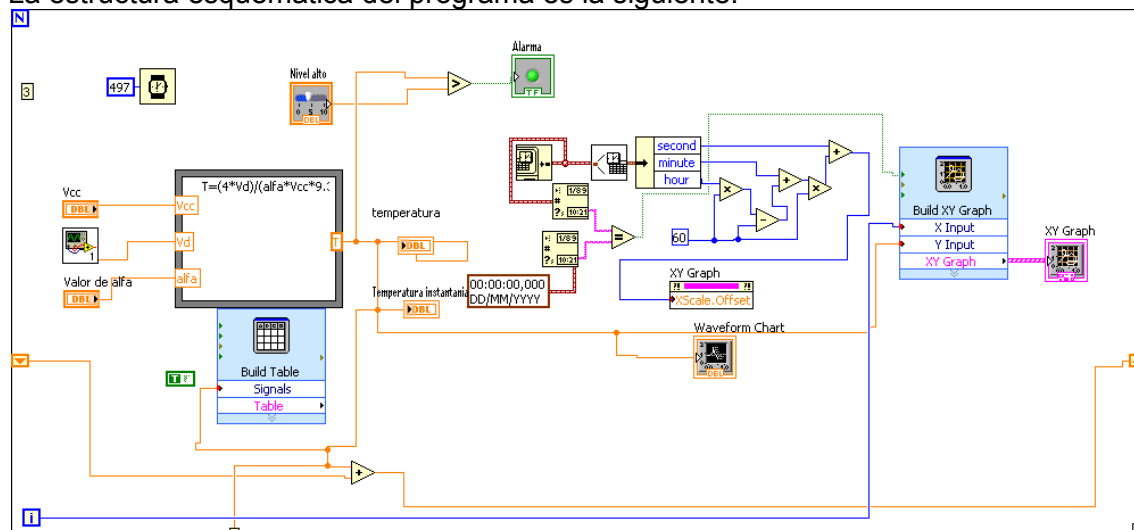


Figura 5.15: Esquema de programación de temperatura

### Funcionamiento detallado

**Formula Node** o Nodo de Fórmula es una función que contiene una o más fórmulas separadas por un punto y coma. Usaremos Formula Node cuando queramos ejecutar fórmulas matemáticas que serian complicadas de crear utilizando las diferentes herramientas matemáticas que LabVIEW incorpora en sus librerías. En nuestro panel frontal vamos a colocar dos controles numéricos y un indicador numérico. Dentro del Nodo de Fórmula escribimos la expresión de la temperatura obtenida en el apartado 4.1 para calcular la temperatura del sensor para luego mostrar en panel frontal en grados centígrados (°C) (Fig: 5.16).

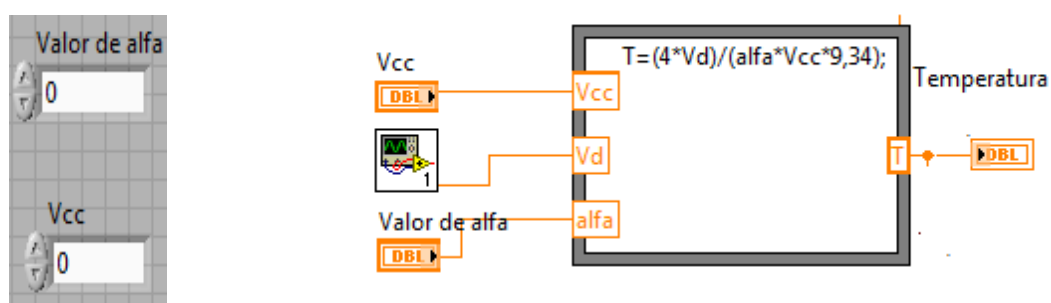
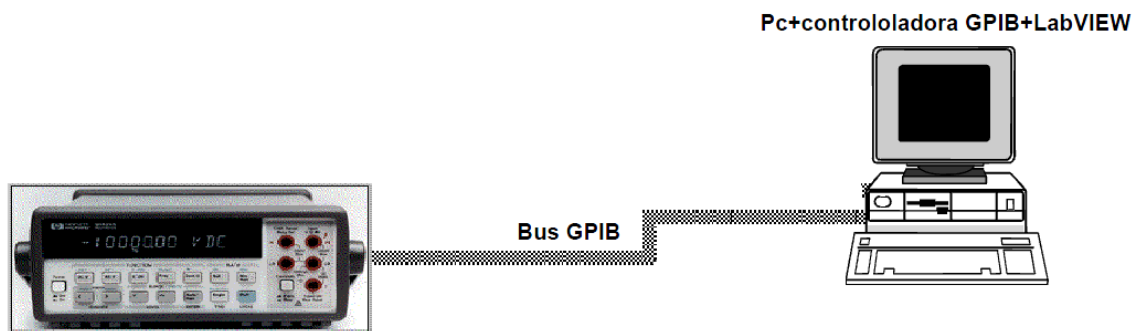


Figura 5.16: librería Formula Node

Donde Vd la tensión diferencial obtenida mediante el multímetro HP34401 utilizando GPIB (Fig 5.17)A continuación detallaremos la función del bus GPIB.

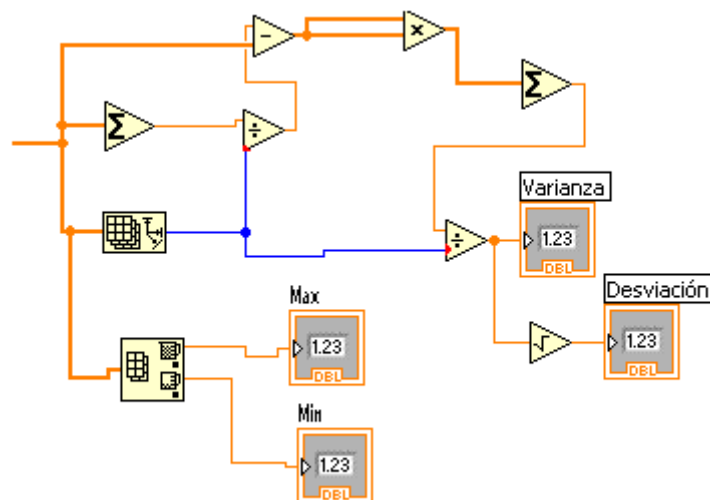


**Figura 5.17:** Tester Helwet Packart HP34401H y el bus GPIB

Como se puede observar en el panel frontal de la primera figura también existen otros componentes que nos ofrecen datos del procesado.

### **Mínimo, Máximo, Varianza y Desviación.**

Su tarea principal es mostrar en pantalla el máximo, el mínimo, la varianza y el desviación d los valores medidos (*Fig*). Para el máximo y mínimo valor utilizaremos la librería por defecto de LabVIEW "Max & Min" del menú arrays unida al vector de valores de las muestras.

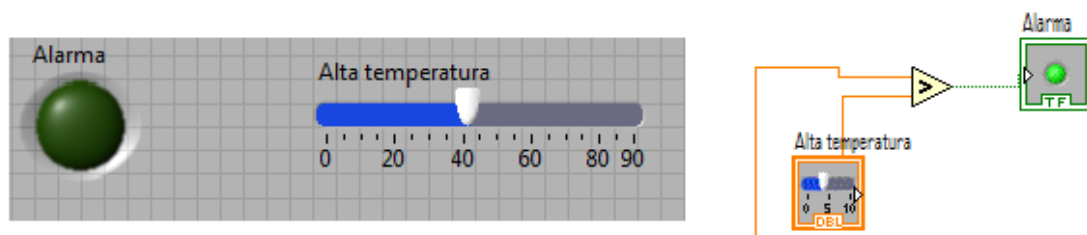


**Figura 5.18:** Max, Min, Varianza y Desviación

La **varianza**, se define como la media de las diferencias cuadráticas de  $n$  puntuaciones con respecto a su media aritmética.

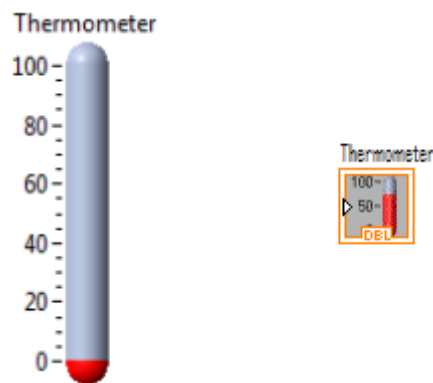
La **desviación** se define como raíz cuadrada de la varianza.

## Alerta de alta temperatura



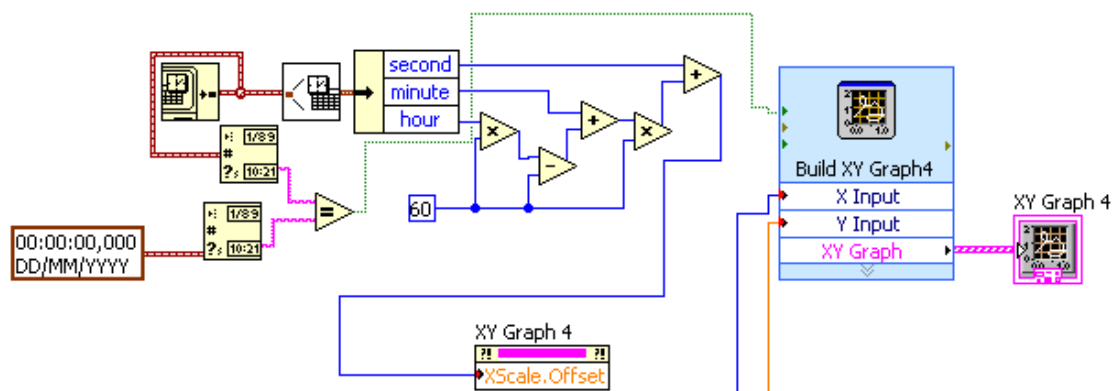
Se trata de una variable booleana luminosa que nos indica si ha superado el nivel alto de temperatura y se enciende en dicha situación.

## Thermometer



No es más que un indicador numérico visual, recibe el valor directamente del multímetro y lo muestra tal que si un Termómetro se tratara.

En muchas ocasiones es necesario, para una mayor comprensión de los resultados obtenidos, representarlos gráficamente y en tiempo real (Fig 5.19)



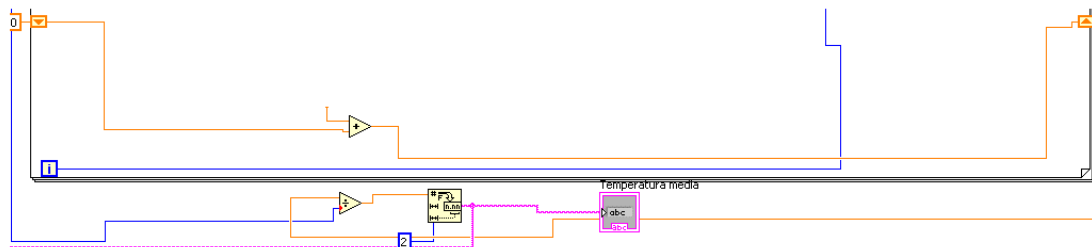
**Figura 5.19:** obtención del tiempo real

Finalmente definir cuantas veces realizaremos el bucle dando el valor a los N de la estructura **For Loop** (Figura 5.20).



**Figura 5.20:** For Loop

Para nuestro caso el bucle se repetirá diez veces para luego hacer la media de estas diez medidas (Fig 5.21).

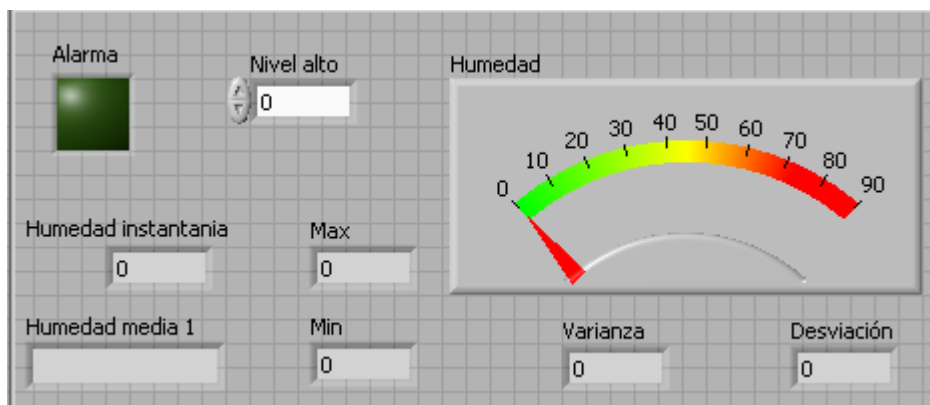


**Figura 5.21:** Diagrama de bloques que hace la media

## 5.6.2 Configuración de la humedad del sensor HIH3610

### 5.6.2.1 Panel frontal que visualiza la Humedad

La función de este panel será la de configurar la humedad instantánea, la humedad media y en otro la evolución temporal en un indicador tipo XY Graph y Waveform Chart que proporciona el sensor de humedad HIH3610.



**Figura 5.22:** Panel que visualiza la Humedad

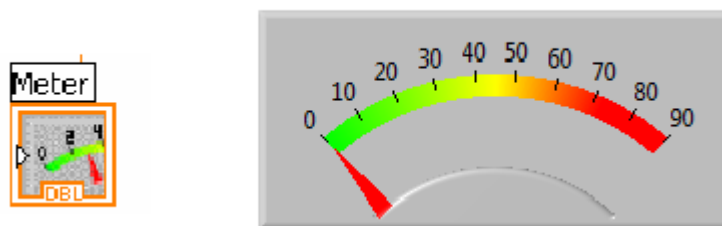


## Alerta de alta humedad

Aquí también hemos puesto una variable booleana luminosa que nos indica si ha superado el nivel alto de humedad y se enciende en dicha situación.



## Meter



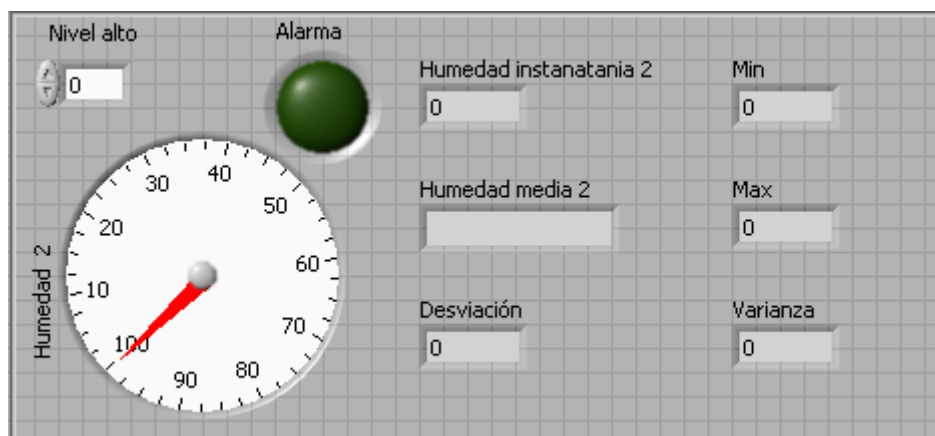
No es más que un indicador numérico visual, recibe el valor directamente del multímetro y lo muestra tal que si un velocímetro se tratara.

El resto del esquema es similar a lo que hemos visto en otras cadenas de medidas del punto (5.6.1).

### 5.6.3 Configuración de la humedad del sensor HU10

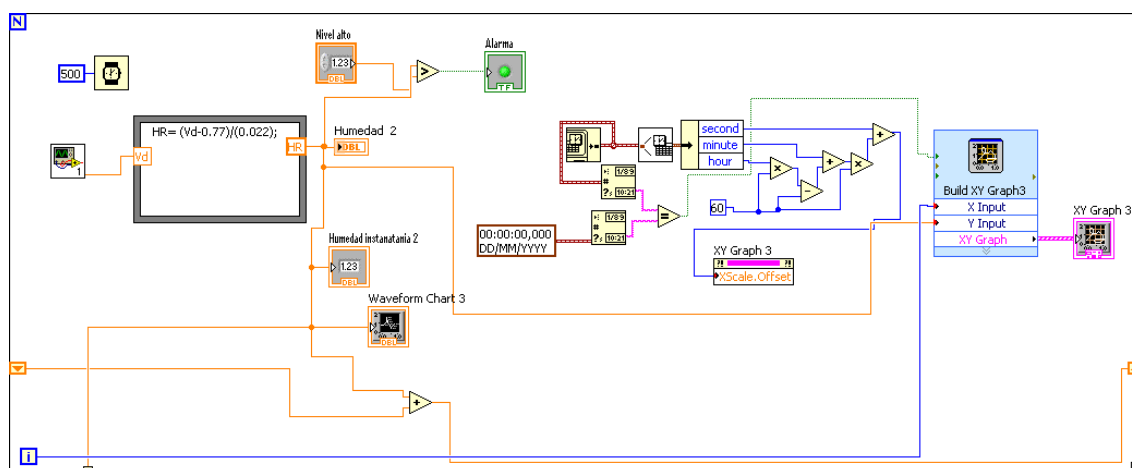
#### 5.6.3.1 Panel frontal que visualiza la Humedad

La función de este pequeño panel será la de configurar la humedad instantánea, la humedad media y en otro la evolución temporal en un indicador tipo XY Graph y Waveform Chart que proporciona el sensor de humedad HU10.



**Figura 5.25:** Panel que visualiza la Humedad

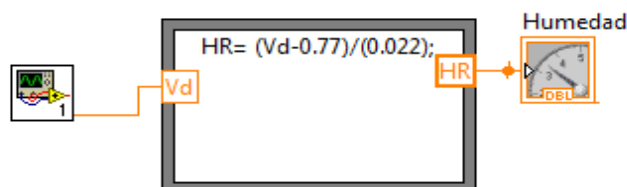
### 5.6.3.2 Diagrama de bloques



**Figura 5.26:** Esquema de programación de humedad del sensor HU10

### Funcionamiento detallado

Igual que en caso anterior y una vez tenemos la tensión Vd del sensor de humedad HU10 obtenida mediante el multímetro como esta comentado en el apartado anterior, queda realizar la operación matemática correspondiente con ese valor. Dentro del recuadro de estructura Formula Node escribimos la expresión de la humedad en función de la tensión diferencial del sensor  $V_d = 0,022/\%RH \cdot RH + 0,77$  tal como se indicó en el apartado 4.2.2



**Figura 5.27:** Librería “Formula Node” para medir la humedad

### Gauge

Es un indicador numérico visual, recibe el valor directamente del multímetro y lo muestra tal que si un velocímetro se tratara.



El resto del esquema es similar a lo que hemos visto en las cadenas de medidas anteriores 5.6.1 y 5.6.2.

## 5.6.4 Configuración del nivel de agua

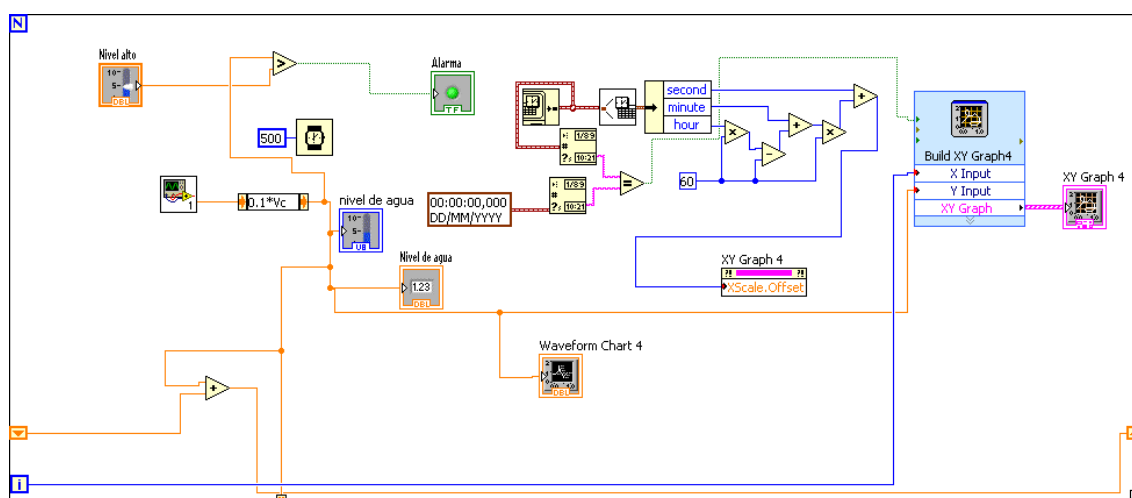
### 5.6.4.1 Panel frontal que visualiza el nivel de agua

La función de este pequeño panel será la de configurar el nivel de agua, el valor medio la varianza, desviación y finalmente el valor máximo y mínimo en otro la evolución temporal en un indicador tipo XY Graph y Waveform Chart que proporciona el sensor.



**Figura 5.28:** panel frontal que visualiza el nivel de agua

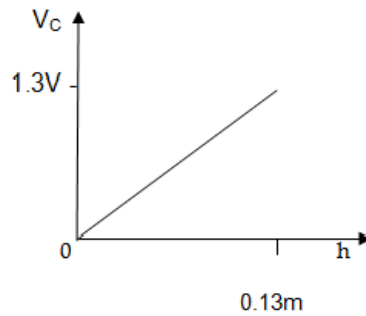
### 5.6.4.2 Diagrama de bloques que visualiza el nivel de agua



**Figura 5.29:** Diagrama de bloques que visualiza el nivel de agua

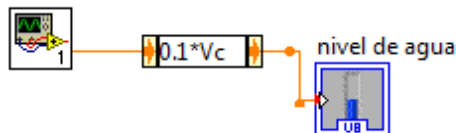
Con las condiciones detalladas en el capítulo 4.3, el instrumento medirá la altura del líquido  $h$  de forma proporcional según la grafica de la figura 5.30 leyendo la tensión  $V_c$  de salida en voltio





**Figura 5.30:** curva de calibración del instrumento

Para este caso hemos utilizado la estructura Expresión Node , es una estructura que trabaja con operaciones sencillas de una sola variable de entrada y una de salida y una expresión matemática a hacer con estas variables, tal y como en nuestro caso figura 5.31.



**Figura 5.31:** Librería Expresión Node

El indicador numérico visual utilizado para este caso es Slide.

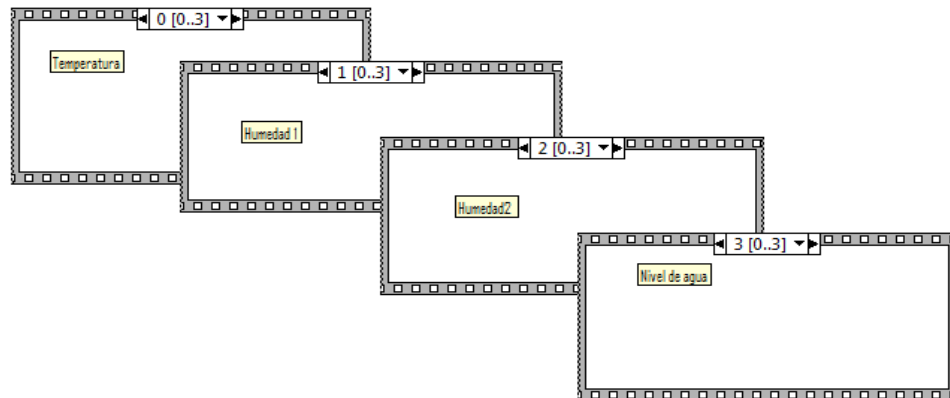


Para el resto del esquema seguimos los mismos pasos de puntos anteriores que son totalmente similares.

Finalmente y después de tener todos los datos y definir cuantas veces realizaremos el bucle de cada medida utilizando la estructura **For Loop** ,ahora falta definir el orden de ejecución en este caso usamos la **Estructura Sequence**.

Esta estructura no tiene su homóloga en los diferentes lenguajes de convencional, ya que en estos las sentencias se ejecutan en el orden de aparición . Esta estructura se utiliza para forzar un determinado flujo de datos. Cada subdiagrama estará contenido

en un frame o marco, y éstos se ejecutarán en orden de aparición: primero el frame 0 o marco 0, después el frame 1 y así, sucesivamente, hasta el último.(Fig 5.32).



**Figura 5.32:** Orden de ejecución para nuestro caso

Esta estructura no devuelve ningún dato hasta que se ejecuta el último cuadro.

## CAPÍTULO 6: INSERTAR DATOS EN UNA TABLA EXCEL DESDE LabVIEW

### 6.1 INTRODUCCIÓN

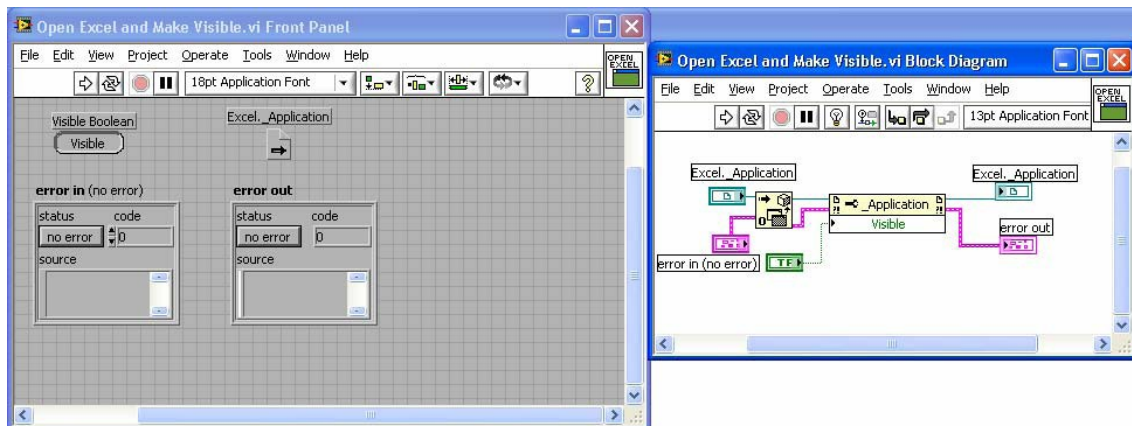
En este capítulo vamos a describir el funcionamiento de una aplicación típica en Labview como sería la exportación de datos generados en LabVIEW directamente a Microsoft Excel.

### 6.2 Insertar datos en una tabla excel desde Labview

Los pasos a seguir van a ser: primero abrir la aplicación a utilizar, en nuestro caso Microsoft Excel. Después, para trabajar con Excel es necesario crear un libro y una hoja Excel. Una vez tenemos Excel listo, comenzamos a introducir valores que obtenemos del LabVIEW en la tabla Excel; para ello haremos servir un icono que se denomina "Set Cell Value.VI", que coloca el valor que tenga en su entrada en la posición que le indiquemos de la tabla Excel.

#### 6.2.1 Abrir Microsoft Excel (Open Excel)

Lo primero que tenemos que hacer es abrir una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Para ello empleamos los siguientes VI.

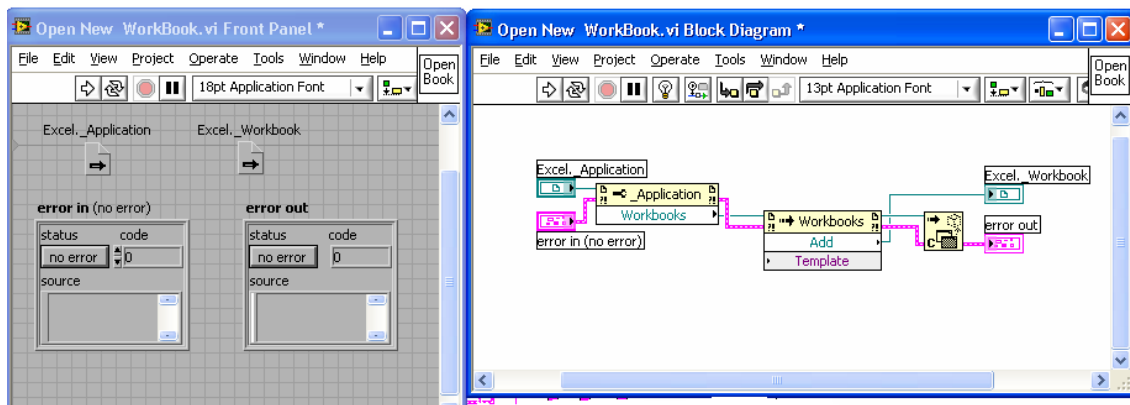


**Figura 6.1:** Diagrama de bloques y panel frontal para abrir Microsoft Excel

Como indica su nombre este VI (Fig 6.1) llama a una aplicación externa (en este caso Microsoft Excel) y la abre automáticamente.

#### 6.2.2 Abrir un Libro de trabajo (Open New Workbook)

Esta aplicación (Fig 6.2) tiene como objetivo abrir un nuevo libro dentro de la aplicación que hemos abierto anteriormente.



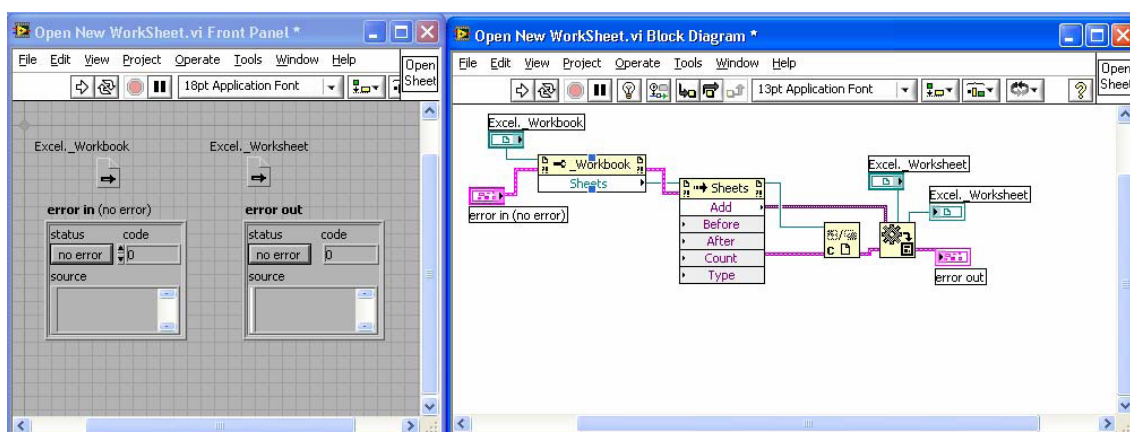
**Figura 6.2:** Diagrama de bloques y panel frontal para abrir un libro en Microsoft Excel

Una vez abierta la aplicación Excel ahora crearemos con los siguientes pasos un libro donde poder trabajar:

1. mediante las propiedades de la aplicación Excel, creamos una referencia a un libro o archivo de trabajo (workbook).
2. Una vez tenemos la referencia (refnum) del libro, invocamos el método que crea el nuevo libro.
3. Cerramos la referencia del viejo workbook y conservamos la referencia del workbook que acabamos de abrir.

### 6.2.3. Abrir la Hoja de cálculo (Open New Sheet)

Finalmente abrimos la hoja dentro del libro en la que vamos a escribir los datos de la tabla de valores recibidos. Se trata de una aplicación (Fig 6.3) muy parecida a la anterior con la diferencia que esta vez es posible que haya más de una hoja en un mismo libro con lo que se ha de tener en cuenta este factor. A su vez es necesario convertir la tabla de valores (que introducimos como una variable) a datos que se puedan almacenar en una tabla Excel.



**Figura 6.3:** Diagrama de bloques y panel frontal para abrir una Hoja en Microsoft Excel

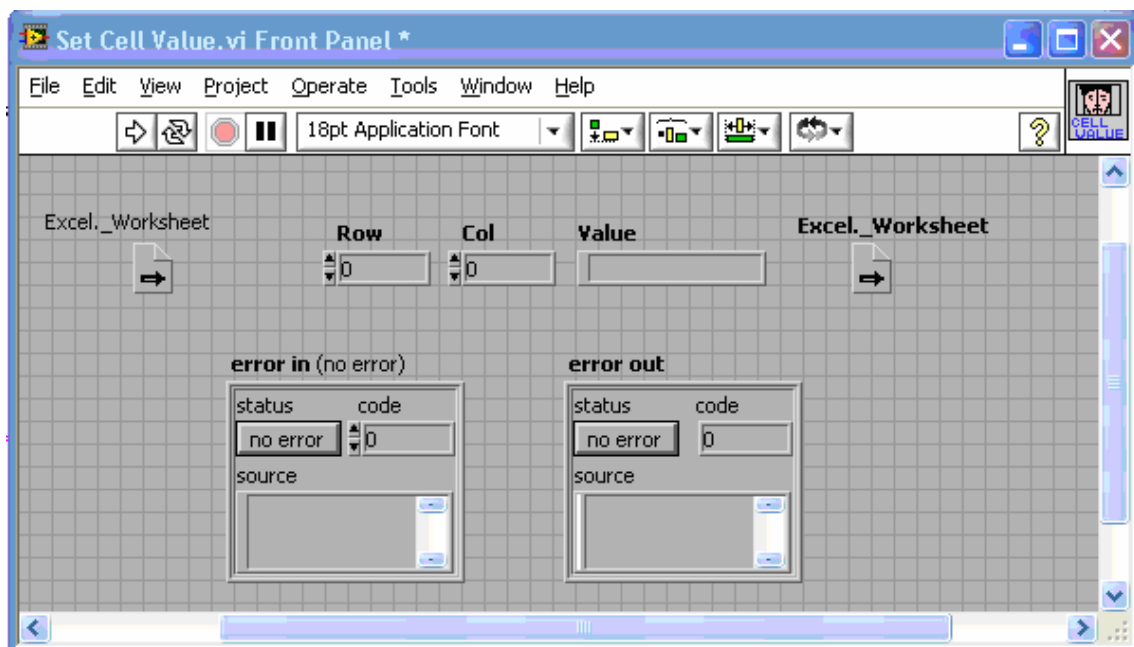
Los pasos que se han realizado aquí son similares a los realizados en el módulo anterior, con la diferencia de que ahora tenemos que abrir una hoja Excel en lugar de abrir un libro Excel.

1. cogemos una de las propiedades del objeto workbook, que es el refnum del Sheets(Hoja).
2. Una vez tenemos el refnum de la hoja activamos un método, el cual consiste en crear una sheets( una hoja de Excel).
3. Una vez tenemos la hoja creada cerramos el refnum de la propiedad del libro.
4. Convertimos la hoja Excel en una variable comprensible para Labview.

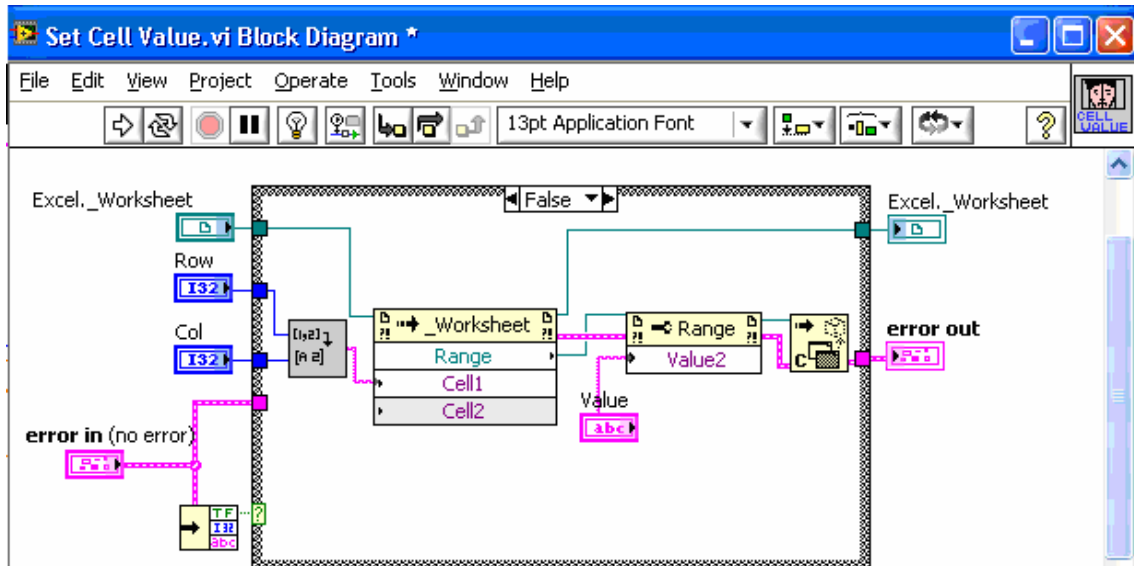
#### 6.2.4. Agregar datos a la hoja de forma ordenada y agregar encabezados (Set Cell Value)



Primeramente definamos el sub VI más importante de este apartado denominado “Set Cell Value” (Fig 6.4 y 6.5):

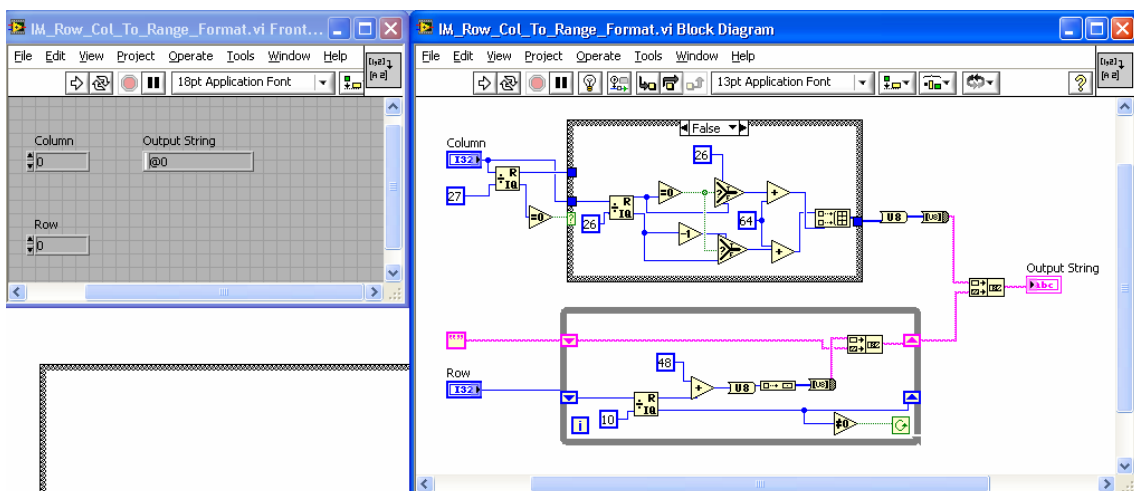


**Figura 6.4:** Panel frontal para la tarea “Set Cell Value”



**Figura 6.5:** Diagrama de bloques para la tarea “Set Cell Value”

Este VI como su nombre indica se encarga de introducir un valor en una celda de la hoja de cálculo, recibe como entradas el valor/es, y el índice de la matriz donde se sitúa dicho valor. A partir de aquí y a través de otro sub vi (marcado en rojo) se encarga de localizar la celda que corresponde y transfiere el valor de dicha celda al programa “principal”. Seguidamente y una vez obtenido el valor de la celda a partir de esta función introducimos el valor de entrada y cerraremos la aplicación .A continuación detallaremos la función que obtiene el valor de la celda.

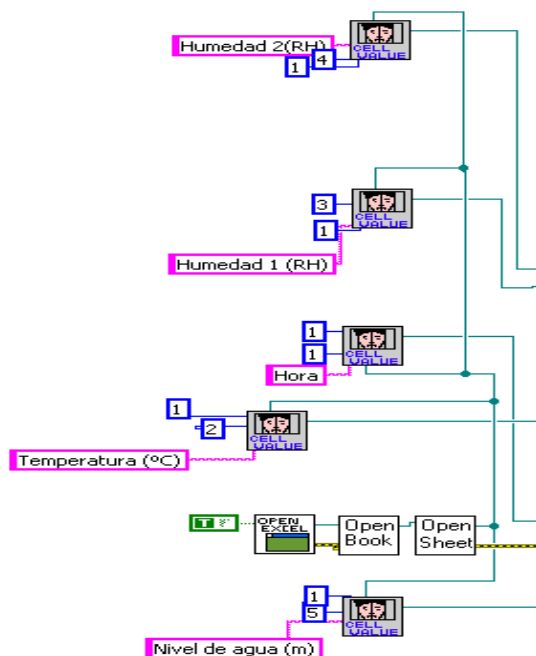


**Figura 6.6** Diagrama de bloques y panel frontal para la tarea “In\_Row\_Col\_To\_Range”

Este VI (Fig 6.6) se divide en dos partes. Primeramente la obtención de la fila y en segundo lugar la obtención de la columna. La fila al ser un valor numérico no presenta un gran misterio, sencillamente transformo el valor de la fila a bytes, construyo una matriz con ellos y seguidamente lo vuelvo a pasar a numérico y lo junto con una constante en blanco mediante un bundle para inicializar la fila en blanco. Las columnas en cambio sí que presentan más problemas. Como todos sabemos, en Excel las columnas se indican alfabéticamente (A, B, C, D...), además es posible trabajar sin columnas en caso de querer introducir una fila de manera directa (por eso existe un caso TRUE y otro FALSE), generalmente esta función se encarga de transformar el valor numérico a su homogéneo alfabético y como en el caso de las filas se transforma a binario y se pasa a matriz. Finalmente los dos valores se juntan mediante un bundle y recibimos el valor final de la celda que vamos a modificar en “output string”.

### 1. Agregar encabezados.

Una vez definido la manera de la introducción de valores en una celda solo queda definir los valores de entrada para el la librería VI antes mencionada. Lo primero que introduciremos de forma constante en cualquier hoja Excel en la que se deseen guardar datos son los encabezados. Se trata de cinco palabras (strings) que se dispondrán en la primera fila y en las cinco primeras columnas (*Véase el ejemplo de la hoja Excel al final del apartado llamado Resultados Experimentales*).

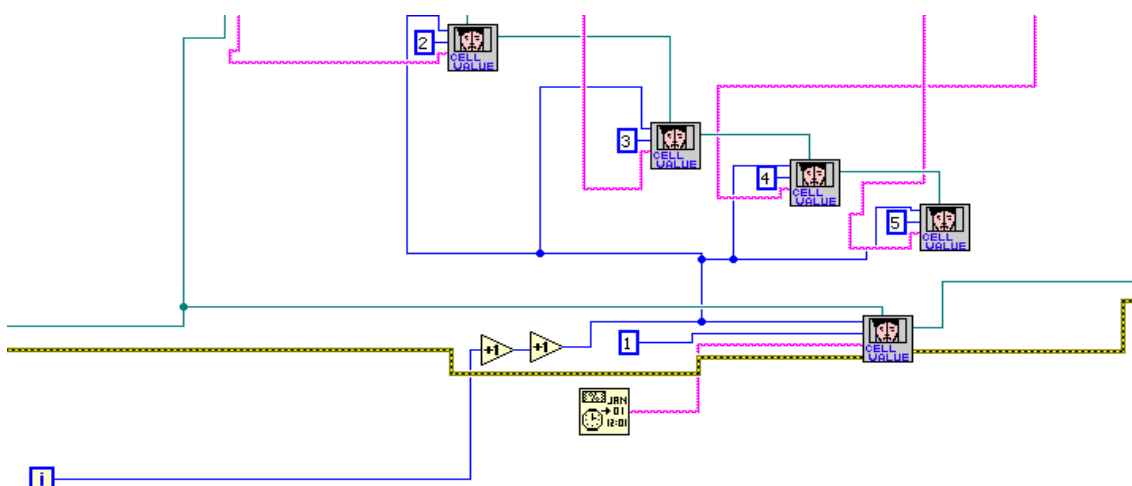


**Figura 6.7:** Detalle del diagrama de bloques que muestra la introducción de los encabezados.

Como se observa en la Fig 6.7 disponemos de cinco subVI Set Cell Value que se dispone de los cinco encabezados simultáneamente (Fecha y hora, Temperatura, Humedad 1, Humedad2 y el nivel de agua).

## 2. Agregar los datos

Una vez tenemos los encabezados dispuestos pasemos a la ubicación de los datos de la tabla (Fig 6.8):



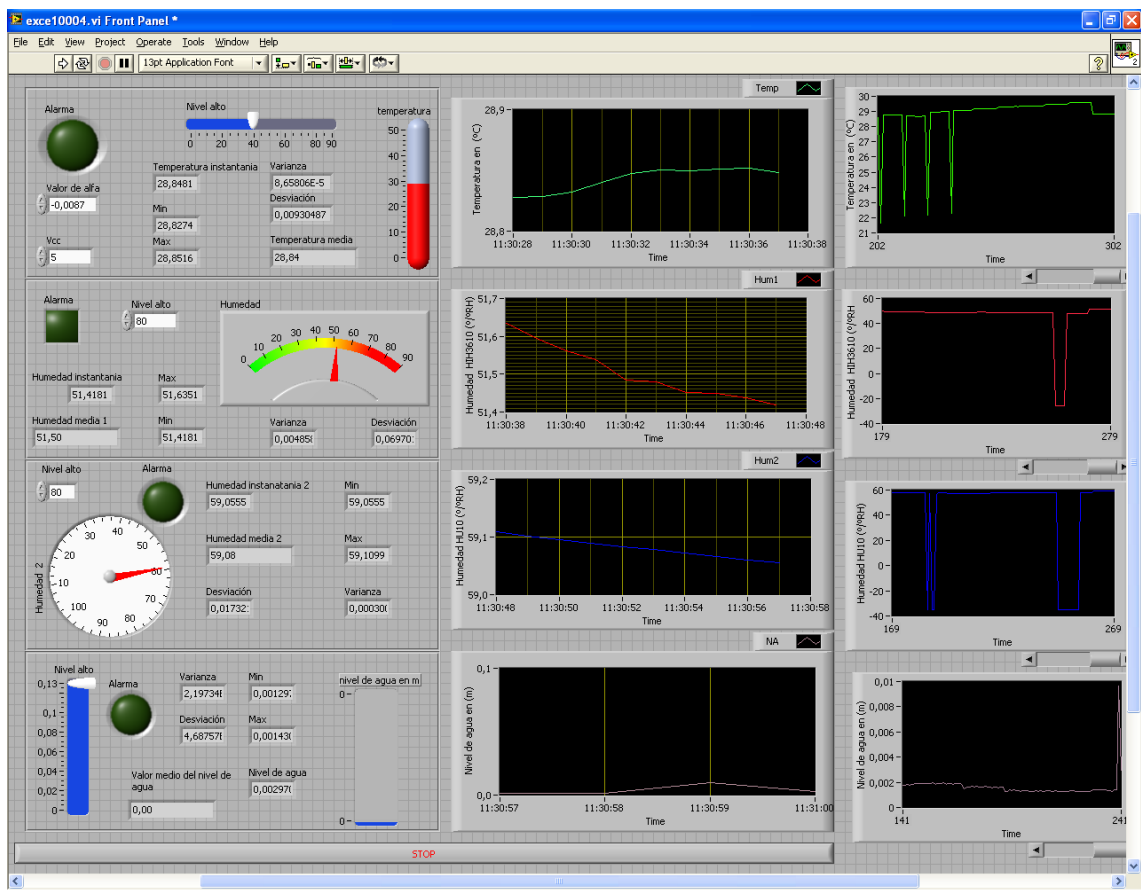
**Figura 6.8:** Detalle del diagrama de bloques para la introducción de datos en las celdas

Primeramente hemos de definir cuantas veces realizaremos el bucle la primera entrada corresponde a la fila y la otra a la columna. Para nuestro caso el bucle fila se repetirá cada vez que se introduzcan los valores en las tres columnas para tantas filas como muestras se hayan tomado.

## 6.3 Resultados experimentales

A continuación se muestran algunos datos experimentales con los gráficos en tiempo real obtenidos en la escuela de Vilanova i la Geltrú el día 23 de octubre 2009 (Fig 6.9). Para obtener un máximo rendimiento los datos han sido guardados en un fichero de Microsoft Excel (Fig 6.10).





**Figura 6.9:** Panel frontal una vez se han cargado los datos

	A	B	C	D	E
1	Hora	Temperatura (°C)	Humedad 1 (RH)	Humedad 2 (RH)	Nivel de agua (m)
2	23/10/2009 16:50:45	26,92	51,99	62,24	0,10
3	23/10/2009 16:51:25	26,94	51,96	62,25	0,10
4	23/10/2009 16:52:05	26,89	52,10	62,26	0,10
5	23/10/2009 16:52:45	26,39	51,84	62,26	0,10
6	23/10/2009 16:53:25	27,00	51,52	62,23	0,10
7	23/10/2009 16:54:05	26,93	51,55	62,16	0,10
8	23/10/2009 16:54:45	26,14	51,40	62,19	0,10
9	23/10/2009 16:55:29	26,05	50,90	62,17	0,10
10	23/10/2009 16:56:08	26,90	50,93	62,17	0,10
11	23/10/2009 16:56:48	26,73	50,82	62,17	0,10
12	23/10/2009 16:57:28	26,58	51,08	62,15	0,10
13	23/10/2009 16:58:08	26,96	51,17	62,14	0,10
14	23/10/2009 16:58:48	26,37	50,57	62,10	0,10
15	23/10/2009 16:59:28	26,90	50,76	62,07	0,10
16	23/10/2009 17:00:08	26,96	50,80	62,05	0,10

**Figura 6.10:** Parte de los datos guardado

La unidad de la medida de nivel de lluvia esta en metros equivalente a 1000 l/m<sup>2</sup> si se recoge la lluvia con un embudo de 9,2cm de diámetro (1mm=1l/m<sup>2</sup>).

## CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

### 7.1- CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha diseñado e implementado una estación meteorológica. Su diseño se ha basado en conseguir medidas de parámetros meteorológicos como la humedad, la temperatura y el nivel de lluvia a partir de sensores y acondicionadores de las variables ambientales proponiendo así un nuevo sistema de medida alternativo al habitualmente utilizado por las estaciones meteorológicas comerciales, basado en entorno de programación gráfica y almacenamiento digital de las medidas

Los sensores comerciales que se han utilizado han sido seleccionados siguiendo los siguientes criterios: disponibilidad del producto, coste y comportamiento físico (resistivo y capacitivo, en nuestro caso).

Las características de la estación meteorológica son las siguientes:

- **Medida de temperatura.** El sensor utilizado es el termistor NTC la NTCA10K. El sistema nos permite obtener valores en el margen de temperatura de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una sensibilidad  $0.1\text{v}/^{\circ}\text{C}$
- **Medida de humedad relativa.** Los sensores utilizados son el sensor capacitivo HIH 3610 del fabricante Honeywell y el HU10 del fabricante Crown Industrial Estate El sistema nos permite obtener valores en el margen de humedad de 0 % a 100 % para el sensor HIH3610 y en el margen de 10% a 100% para el sensor HU10.
- **Medida de nivel de agua.** El sensor son dos placas metálicas paralelas en el interior del depósito que actúan como un condensador plano. El sistema permite medir el nivel de agua a una distancia de 0 a 13 cm de altura que puede traducirse en volumen de lluvia por metro cuadrado caída en la estación.
- 

Después de diseñar, implementar y verificar la estación meteorológica podemos extraer las siguientes conclusiones:

- La estación meteorológica es capaz de medir tres magnitudes físicas: la temperatura, la humedad y el nivel de lluvia  $\text{m}^2$ .

- El diseño de la estación es sencillo solo requiere acondicionamiento de los sensores, hecho que permite utilizar amplificadores operacionales sin incrementar su coste final.
- Con este proyecto se han podido desarrollar diferentes apartados de análisis, diseño, elaboración de circuitos y mediciones de variables ambientales
- Mediante el programa gráfico Labview se ha podido crear un software de medición en tiempo real de los parámetros como humedad, nivel de lluvia y temperatura. guardar los datos en un fichero en Microsoft Excel y archivarlos con hora y fecha actual y finalmente, Visualizar el muestreo de datos mediante gráficos en tiempo real.

En la tabla 8 se resume las características de la estación propuesta.

	Temperatura NTC	Humedad HIH3610	Humedad HU10	Nivel de agua
Margen de medición	-40 a 125 °C	0 a 100 %RH	10 a 100 %RH	0 a 13 cm
Alimentación	5 Vdc	5 Vdc	5Vdc	5Vdc
sensibilidad	$2.5710^{-3}$	31mv %RH	22mv %RH	1v/m
Tensión de salida	0 a 5v	0,8 a 3,9 V	1 a 3V	De 0 a 1.3 V

**Tabla 8:** Características de la estación meteorológica propuesta

## 7.2- Coste económico del sistema:

A modo de escandallo se describen los precios de los diferentes elementos de toda la cadena de medida con los diferentes instrumentos diseñados e implementados como se observa en la tabla 9.

Componente	Cantidad	Precio unitario (€)	Precio total (€)
HIH 3610	1	29.71	29.71
HU10	1	23.24	23.24
NTC 10K $\Omega$	1	1.02	1.02
Resistencias	17	0.17	2.89
Condensadores 47uF	2	0.10	0.20
INA 101	3	19.87	59.61
UA741	5	0.21	1.05
Placa y cables	1	9.68	9.68
Resistencias ajustables	5	1.83	9.15
Zócalo de 8 vías	5	0.174	0.87
Condensador 100uF	3	0.35	1.05
Regulador	2	0.534	1.068
Multiplexor	1	0.44	0.44
<b>Total</b>			<b>139.97</b>

**Tabla 9:** Coste de los distintos elementos

### 7.3 -BIBLIOGRAFÍA .

[1] Miguel A.Pérez García ,Juan C.Álavarez Antón, Juan C.Campo Rodriguez  
“ Instrumentación Electrónica “.

[2] Jordana J., Pallás-Areny R., “A simple, efficient interface circuit for piezoresistive pressure sensors”, *Sensors and Actuators A* 127 69-73 (2006).

[3] Pallàs-Areny R., Webster J. G., *Sensors and Signal Conditioning*, 2n Edition. 2001.

Estación meteorológica convencional. Sensores, montaje y calibración:

[4] [http://www.gsl.net/ea3cno/ind\\_met.htm](http://www.gsl.net/ea3cno/ind_met.htm)

Sensores de temperatura resistivos, sensores de humedad.

[5] <http://www.alldatasheet.com>

[6] <http://es.wikipedia.org/wiki/RTD>

[7] <http://es.wikipedia.org/wiki/NTC>

[8] <http://es.wikipedia.org/wiki/PTC>

Servicio Meteorológico de Vilanova i la Geltrú estación instalada en la EPSEVG

[9] <http://www.meteoclimatic.com/index/mapinfo/escat>.

[10] “Service Guide HP34401A Multimeter “ Hewlett Packard

[11] Service Guide HP34401A Multimeter “ Hewlett Packard.

[12] Manuel Lázaro, Antonio LabVIEW 6i : programación gráfica para el control de instrumentación.

[13] Manuel Lázaro, Antonio LabVIEW 7.1: programación gráfica para el control de instrumentación.

[14] LabVIEW Basics I “Introduction Course Manual” Course Software Version 6.1  
December 2001 Edition part Number 320628 J-01.

## 7.4 ANEXOS

**honeywell**

### Humidity Sensors Humidity Sensor

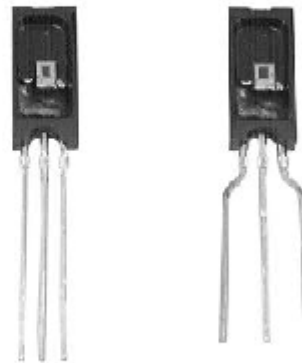
#### FEATURES

- Molded thermoset plastic housing with cover
- Linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- High accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

#### TYPICAL APPLICATIONS

- Refrigeration
- Drying
- Metrology
- Battery-powered systems
- OEM assemblies

### *HIH-3610 Series*



The HIH-3610 Series humidity sensor is designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users. Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's linear voltage output. With a typical current draw of only 200  $\mu$ A, the HIH-3610 Series is ideally suited for low drain, battery operated systems. Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

The HIH-3610 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a low cost, solderable SIP (Single In-line Package). Available in two lead spacing configurations, the RH sensor is a laser trimmed thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning. The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to application hazards such as wetting, dust, dirt, oils, and common environmental chemicals.

#### **⚠ WARNING**

##### **PERSONAL INJURY**

- DO NOT USE these products as safety or emergency stop devices, or in any other application where failure of the product could result in personal injury.

**Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.**

#### **⚠ WARNING**

##### **MISUSE OF DOCUMENTATION**

- The information presented in this product sheet is for reference only. Do not use this document as system installation information
- Complete installation, operation, and maintenance information is provided in the instructions supplied with each product.

**Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.**

## Humidity Sensors

### Humidity Sensor

*HH-3610 Series*

**TABLE 1: PERFORMANCE SPECIFICATIONS**

Parameter	Condition
RH Accuracy <sup>(1)</sup>	±2% RH, 0-100% RH non-condensing, 25 °C, V <sub>supply</sub> = 5 Vdc
RH Interchangeability	±5% RH, 0-80% RH; ±8% @ 90% RH typical
RH Linearity	±0.5% RH typical
RH Hysteresis	±1.2% RH span maximum
RH Repeatability	±0.5% RH
RH Response Time, 1/e	15 sec in slowly moving air at 25 °C
RH Stability	±1% RH typical at 50% RH in 5 years
Power Requirements	
Voltage Supply	4 Vdc to 5.8 Vdc, sensor calibrated at 5 Vdc
Current Supply	200 µA at 5 Vdc
Voltage Output	V <sub>out</sub> = V <sub>supply</sub> (0.0062(Sensor RH) + 0.16), typical @ 25 °C (Data printout option provides a similar, but sensor specific, equation at 25 °C.)
V <sub>supply</sub> = 5 Vdc	0.8 Vdc to 3.9 Vdc output @ 25 °C typical
Drive Limits	Push/pull symmetric; 50 µA typical, 20 µA minimum, 100 µA maximum Turn-on ≤ 0.1 sec
Temperature Compensation	True RH = (Sensor RH)/(1.093-0.0021T), T in °F True RH = (Sensor RH)/(1.0546-0.00216T), T in °C
Effect @ 0% RH	±0.007 %RH/°C (negligible)
Effect @ 100% RH	-0.22% RH/°C (<1% RH effect typical in occupied space systems above 15 °C (59 °F))
Humidity Range	
Operating	0 to 100% RH, non-condensing <sup>(1)</sup>
Storage	0 to 90% RH, non-condensing
Temperature Range	
Operating	-40 °C to 85 °C (-40 °F to 185 °F)
Storage	-51 °C to 125 °C (-80 °F to 257 °F)
Package <sup>(2)</sup>	Three pin, solderable SIP in molded thermoset plastic housing with thermoplastic cover
Handling	Static sensitive diode protected to 15 kV maximum

**Notes:**

1. Extended exposure to ≥90% RH causes a reversible shift of 3% RH.
2. This sensor is light sensitive. For best results, shield the sensor from bright light.





INA101

## High Accuracy INSTRUMENTATION AMPLIFIER

### FEATURES

- LOW DRIFT:  $0.25\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  max
- LOW OFFSET VOLTAGE:  $25\mu\text{V}$  max
- LOW NONLINEARITY: 0.002%
- LOW NOISE:  $13\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- HIGH CMR: 106dB AT 60Hz
- HIGH INPUT IMPEDANCE:  $10^{10}\Omega$
- 14-PIN PLASTIC, CERAMIC DIP, SOL-16, AND TO-100 PACKAGES

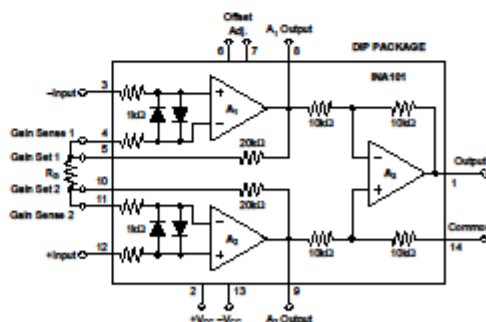
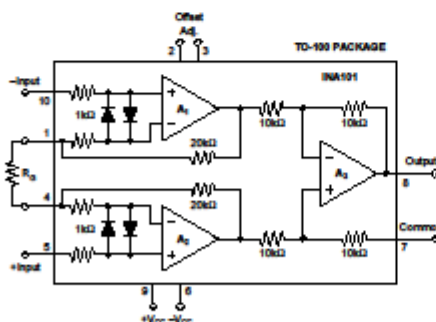
### APPLICATIONS

- STRAIN GAGES
- THERMOCOUPLES
- RTDs
- REMOTE TRANSDUCERS
- LOW-LEVEL SIGNALS
- MEDICAL INSTRUMENTATION

### DESCRIPTION

The INA101 is a high accuracy instrumentation amplifier designed for low-level signal amplification and general purpose data acquisition. Three precision op amps and laser-trimmed metal film resistors are integrated on a single monolithic integrated circuit.

The INA101 is packaged in TO-100 metal, 14-pin plastic and ceramic DIP, and SOL-16 surface-mount packages. Commercial, industrial and military temperature range models are available.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85704 • Street Address: 6790 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Tlx: 910-862-1111  
Internet: <http://www.burr-brown.com/> • FAXLine: (800) 548-8132 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 988-8491 • FAX: (520) 889-1610 • Immediate Product Info: (800) 548-8132





