

Instrumentació Bàsica

Dossier de Pràctiques



José Antonio
Soria Pérez

Departament d'Enginyeria Electrònica
Escola Superior D'Enginyeria Industrial,
Aerospacial i Audiovisual de Terrassa



Index de Continguts

1^a Part – Implementació Hardware i cal·libració d'un sensor de temperatura.....	2
2^a Part – Adquisició Analògica (ADC) i monitorització amb Labview.....	11

 	E.E.T.	DEPARTAMENT D'ENGINYERIA ELECTRÒNICA
	Instrumentació Bàsica (Laboratori)	
	Professor: José Antonio Soria	
Dosier de pràctiques: Sistema de mesura de temperatura		

1ª PART – Implementació Hardware i calibració d'un sensor de temperatura

0. Introducció

La finalitat de tot sistema de mesura (Fig.1) consisteix en obtenir informació al voltant d'un procés físic en forma de senyals elèctrics i presentar la mateixa en la forma més adequada a l'usuari final, o a un altre sistema que s'encarregui del seu control. En aquest sentit les tasques i operacions a realitzar varien considerablement segons la magnitud física.

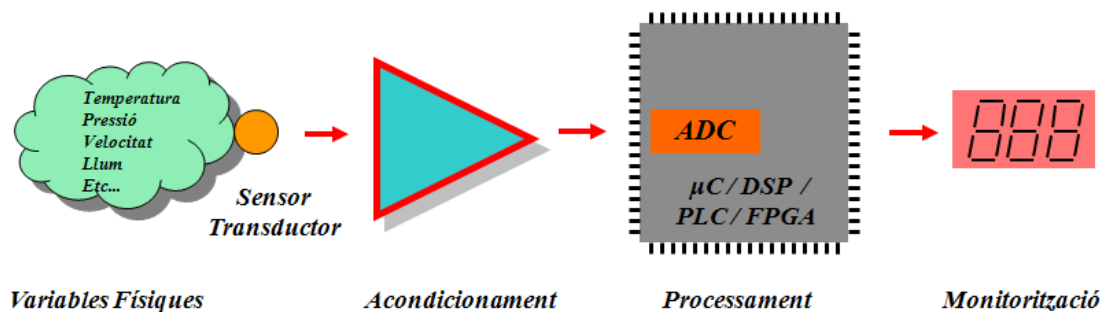


Fig. 1.- Blocs habituals en un sistema de mesura genèric.

En les activitats de laboratori del curs estudiarem a nivell bàsic els processos més comuns que intervenen en l'adquisició de senyals elèctrics d'un sistema de mesura:

- **Sensor/Transductor:** És l'element del sistema que permet transformar la variable física que conté la informació útil en un altre magnitud que sigui més fàcil i viable de manipular a posteriori. Generalment, si la informació es subministra en forma de variable elèctrica, aquest element rep el nom de "transductor" tot i que, actualment, aquesta diferència és gairebé subtil i molts dispositius de sortida elèctrica se'ls considera sensors.
- **Condicionament:** Aquest sistema s'encarrega de dues operacions importants. Per una banda, adapta el fons d'escala del transductor a les necessitats d'entrada



Fig. 2.- Sensor resistiu NTC de valor nominal $R_{ref} = 4k7\Omega$.

del convertidor ADC (bloc següent) i, per l'altre banda, permet la calibració del sistema de mesura a nivell hardware.

- **Adquisició de dades (ADC.- Analog-to-Digital Converter):** Com el seu nom indica, s'encarrega de transformar el domini continu original a un de discret que pugui ser fàcilment interpretat i processat per un sistema computacional (micro-controlador, DSP, PLC, etc)
- **Processament i/o Monitorització:** Comprèn totes les operacions necessàries per interpretar les dades digitals. Quan l'objectiu consisteix bàsicament en informar a l'usuari implementa les operacions de "monitorització" del sistema. En un sistema de control, en canvi, el bloc calcula les accions de control en base a les consignes introduïdes per l'usuari.

1. Sistema de mesura de temperatura

1.1 Corba de sensibilitat del sensor

Per estudiar tots els blocs del sistema de mesura, durant les tres sessions dels curs treballarem amb un sensor de temperatura tipus NTC, *Negative temperature Coefficient* (Fig. 2), on el seu valor resistiu varia segons la llei:

$$R(T) = R_{ref} * e^{A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3}} \quad [1.1]$$

on A , B , C i D són constants (expressades en graus Kelvin) que depenen del material del sensor, $R(T)$ és la resistència a temperatura T i $R_{ref} = R_{25}$ és la resistència a 25°C ($T = 298.15^\circ\text{K}$). Aïllant T (interpolació de *Steinhart i Hart*[1]) la temperatura del sensor es determina com

$$T(R) = \left(A_1 + B_1 \ln \frac{R}{R_{ref}} + C_1 \ln^2 \frac{R}{R_{ref}} + D_1 \ln^3 \frac{R}{R_{ref}} \right)^{-1}. \quad [1.2]$$

Una bona aproximació de l'expressió 1.1 és

$$R(T) = R_{ref} \times e^{\hat{B} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{25}} \right)} = \alpha \times e^{\frac{\hat{B}}{T}} \quad [1.3]$$

on $\alpha = R_{ref} \times e^{-\frac{\hat{B}}{T_{25}}}$, per $T_{25} = 298.15^\circ\text{K}$ (25°C), i “^” denota estimació per la constant B , que es calcula com

$$\hat{B} = \ln \left(\frac{R_{85}}{R_{ref}} \right) / \left(\frac{1}{T_{85}} - \frac{1}{T_{25}} \right) \quad [1.4]$$

on R_{85} s'agafa mitjançant 1.1, utilitzant el fons d'escala del sensor ($T = T_{85} = 358.15^\circ\text{C}$). D'aquesta manera la temperatura del sensor amb aquesta versió aproximada queda com

$$T(R) = \frac{\hat{B}}{\ln(R/\alpha)}. \quad [1.5]$$

A la pràctica, però, tant la resistència nominal R_{ref} com la constant B (ó \hat{B}) varien amb la temperatura. La tolerància global del sensor, per tant, és una combinació d'aquests dos factors (consulteu el document *ntcintro.pdf*) i es calcula com

$$\frac{\Delta R}{R}(T) = \frac{\Delta R_{ref}}{R_{ref}} + \Delta \hat{B} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{25}} \right) \quad [1.6]$$

on $\Delta R_{ref}/R_{ref}$ i $\Delta \hat{B}/\hat{B}$ denoten tolerància de la resistència nominal R_{ref} i constant \hat{B} , respectivament. De manera que la resistència global del sensor, i que inclou aquestes toleràncies, s'expressa com

$$\hat{R}(T) = R(T) \pm \Delta R(T) \quad [1.7]$$

on $R(T)$ s'obté mitjançant 1.3.

Activitat LAB1. Anàlisi i estudi de les especificacions del sensor

- A)** Consulteu el full de característiques del sensor (arxiu “*ntcle100.pdf*”) i determineu els següents paràmetres de la NTC, agafant $R_{ref} = R_{25} = 10\text{k}\Omega$:

Model ideal: $A, B, C, D, A_1, B_1, C_1, i D_1$.

Model aproximat: \hat{B} i R_{85} .

Toleràncies: $\Delta R_{ref}/R_{ref}$ i $\Delta \hat{B}/\hat{B}$

- B)** Utilitzant aquestes dades, representeu la corba teòrica $R(T)$ d'aquesta NTC pel rang $0^\circ\text{C} < T < 85^\circ\text{C}$ en els següents casos:

A1 – Model ideal segons expressió 1.1.

A2 – Segona aproximació segons expressió 1.3.

A3 – Considerant les toleràncies del sensor segons expressió 1.7 (màxim i mínim)

C) En base a les dades dels anteriors apartats, determineu la desviació (ó error), en °C, que s'espera del sensor en tot el rang d'interès (0 a 85°C).

1.2 Condicionament del sensor i calibrament hardware

Per poder conèixer la temperatura ambient, que es troba a la resistència de la NTC, es necessita d'un circuit condicionador que transformi la variable d'aquest component a un senyal elèctric. La manera més habitual consisteix en utilitzar la NTC en una configuració "shunt" i injectar-li un corrent conegut (I) i veure quina tensió (V) produeix a la temperatura ambient (Fig. 3a). Així, l'expressió 1.5 es transforma en

$$T(V) = \frac{\hat{B}}{\ln\left(\frac{V}{\alpha I}\right)}. \quad [1.6]$$

Fàcilment aquest corrent es podria generar usant una font de tensió, formant un divisor de tensió amb la NTC (Fig. 3b). Malauradament, aquest circuit generaria un corrent de la forma

$$I = \frac{V_{CC}}{R_1 + R(T)} \quad [1.7]$$

que depèn de la temperatura i, per tant, en dificulta el procés de calibració. Una manera de fixar un corrent constant i conegut en un circuit és per mitjà del circuit de la Fig. 4. En aquest, l'amplificador operacional (U_1) s'encarrega de fixar la tensió al emissor del transistor Q_1 , la qual es programa amb el divisor de tensió format per la resistència (R_1) i el potenciòmetre (P) d'entrada, i que val

$$V_E = \frac{R_1}{R_1 + P} V_{CC}. \quad [1.8]$$

El corrent que circula per la NTC (I), i que ve donada per R_2 (ja que $\bar{i} = 0$ i el corrent de base es pot menysprear amb Q_1 treballant en activa) es determina.

$$I = I_{R2} = \frac{V_{CC} - V_E}{R_2} = \frac{P}{R_2(P + R_1)} V_{CC}. \quad [1.8]$$

i el pot programar l'usuari a mode hardware mitjançant el potenciòmetre P .

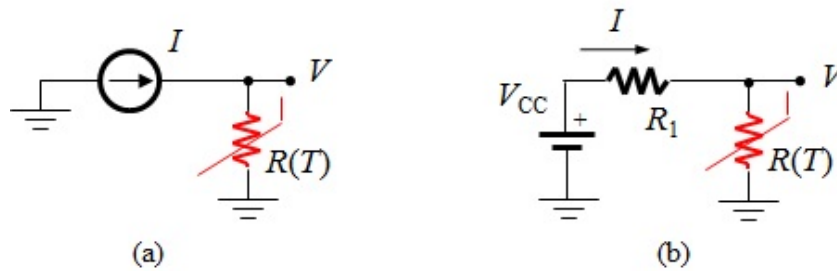


Fig. 3.- Circuit pel condicionament d'un sensor resistiu amb alta sensibilitat. (a) Configuració "shunt" (b) Possible implementació real del condicionador amb divisor de tensió.

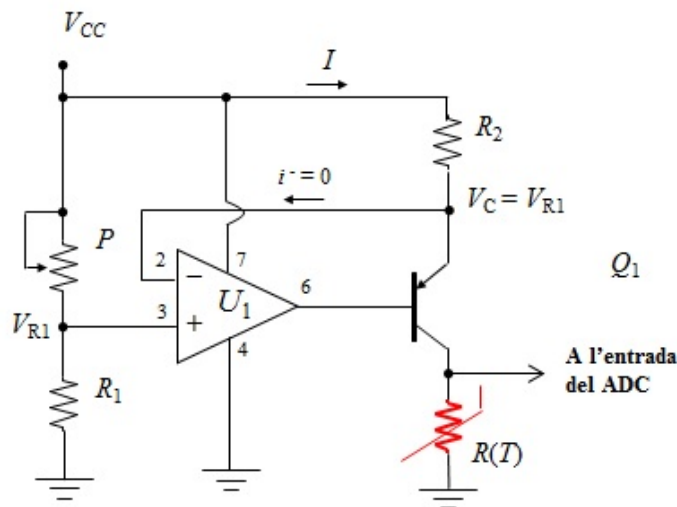


Fig. 4.- Implementació del circuit condicionador per la NTC amb font de corrent programable.

Activitat LAB 2. Condicionament i calibratge del sensor NTC

- *Material necessari:*
 - 1 Amplificador operacional LM741
 - 1 Transistor Bipolar, tipus PNP, BC557C
 - Resistències (una de cada): 560Ω, 10kΩ, 12kΩ, 27kΩ, 33kΩ; totes de ¼ W.
 - 1 Potenciòmetre multivolta de 10kΩ.
 - 1 sensor resistiu NTC de 10kΩ.
 - Fils de connexió.

- *Altres:*
 - Breadboard per al muntatge de prototips electrònics.
 - Multímetre digital.
 - Font d'alimentació.
 - Termòmetre (per mesurar la temperatura ambient durant el procés de calibració).

A) Muntatge i posada en marxa del circuit

- **a1:** Considerant $V_{CC}=15V$, $R_1 = 33k\Omega$ i $R_2 = 10k\Omega$ determineu el valor de P necessari per obtenir un corrent $I = 300\mu A$ ($1\mu A = 1e-6 A$) i configureu aquest valor amb l'òhmmetre.
- **a2:** Munteu el circuit, **sense incloure la NTC**. En el seu lloc connecteu l'amperímetre i comproveu que el corrent mesurat és, aproximadament, l'indicat prèviament ($I=300\mu A$).

Nota: Si ho creu oportú podeu ajustar mínimament P per acabar de precisar aquest valor, però no procediu al següent punt abans d'assegurar-vos d'haver realitzat aquest correctament.

B) Verificació del fons d'escala de l'instrument

Per verificar el fons d'escala no caldrà utilitzar la NTC de moment. Bastarà amb emular el seu comportament mitjançant resistències de valor fix.

- **b1:** Agafeu tres resistències ($R_{NTC1} = 560\Omega$, $R_{NTC2} = 12k\Omega$, $R_{NTC3} = 27k\Omega$) i mesureu el seu valor exacte amb l'òhmmetre.
- **b2:** Amb els valors resistius mesurats, determineu les dades elèctriques i de temperatura teòriques (Taula 2 del full de resultats).
- **b3:** Connecteu la resistència al lloc de la NTC en el circuit i mesureu la tensió amb el voltímetre. Repetiu aquesta operació per cada resistència (Taula 2 del full de resultats)
- **b4:** Determineu l'error que s'espera introdueixi del circuit condicionador en el rang de temperatura, en base a les dades obtingudes anteriorment.

Nota: Per realitzar aquest apartat heu de procedir de manera similar a l'apartat C) de l'activitat LAB1.

C) Calibrament de l'instrument

- **c1:** Amb el termòmetre del laboratori, mesureu la temperatura del vostre cos i, en base a aquesta, determineu teòricament els valors resistius de la NTC: R i $\pm\Delta R$. (Taula 3 del full de resultats).

Nota: Cal esperar un cert temps fins que la NTC estabilitzi el seu valor de la mateixa manera que us espereu quan utilitzeu un termòmetre convencional. Aquest comentari també val pels apartats següents.

- **c2:** Agafant la NTC amb els dits, mesureu la resistència $R(T)$ amb l'òhmmetre i comproveu que està dintre del rang teòric.

- **c3:** Determineu la tensió NTC teòrica d'aquesta temperatura $V(T_{cos})$. Connecteu-la al circuit i, amb les mateixes condicions anteriors mesureu aquesta tensió amb el multímetre. Mitjançant càlculs, determineu l'estimació de temperatura corporal realitzada pel vostre circuit (\hat{T}_{cos}) i establiu l'error que hi ha respecte a la temperatura real que heu mesurat a l'apartat c2.
- **c4:** Realitzeu la calibració hardware del vostre termòmetre

Nota: En les mateixes condicions que c2, per realitzar aquesta operació correctament cal observar en tot moment la tensió de la NTC al multímetre i ajustar el potenciòmetre P de manera que $V(T_{cos})_{teo} \approx V(T_{cos})_{mes}$.

- **c5:** Preneu les dades elèctriques del vostre circuit a temperatura ambient (Taula 4 del full de resultats)

Nota: S'ha de deixar d'agafar la NTC amb els dits i repetir l'apartat c3.

 	FULL DE RESULTATS
	Instrumentació Bàsica (Laboratori)
	Pràctica 1
Alumnes:	

Activitat LAB1

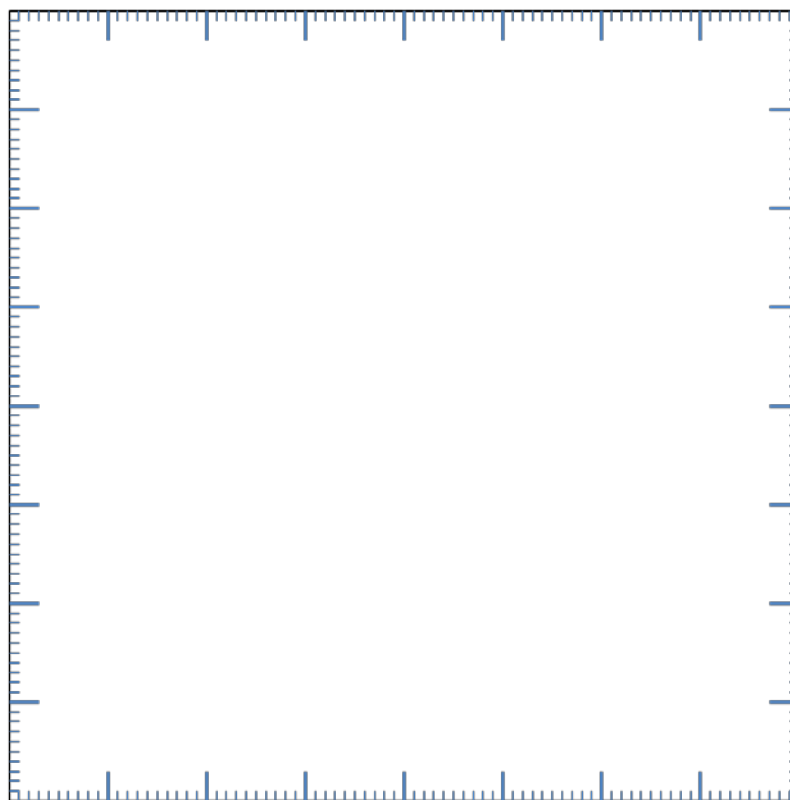
A) $R_{ref} =$ _____

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>A</i> ₁	<i>B</i> ₁
<i>C</i> ₁	<i>D</i> ₁	\hat{B}	$\Delta\hat{B} / \hat{B}$	$\Delta R_{ref} / R_{ref}$	<i>R</i> ₈₅

Taula 1. Especificacions del sensor NTC

B)

R



T

C) $\Delta T =$ _____

Activitat LAB2

A) $P =$ _____ $I =$ _____

B)

R_{NTC}	560 Ω	12k Ω	27k Ω	Observacions
<i>Ròhmmetre</i>				<i>Ap. b1</i>
<i>V</i>				<i>Teòric</i> <i>(Ap. b2)</i>
<i>T</i>				
<i>V</i>				<i>Mesurat</i> <i>(Ap. b3)</i>
<i>T</i>				

Taula 2. Resultats emulant tres valors resistius de la NTC

b4: $\Delta T =$ _____

C) $T_{cos} =$ _____

	c1	c2
	<i>Teòric</i>	<i>Mesurat</i>
$R(T_{cos})$		
$\Delta R(T_{cos})$		

Taula 3. Resultats NTC (Valors resistius)

c3: $V(T_{cos})_{teo} =$ _____ $V(T_{cos})_{mes} =$ _____

$\hat{T}_{cos} =$ _____ $\Delta T = |T_{cos} - \hat{T}_{cos}| =$ _____

c4: $*V(T_{cos})_{mes} =$ _____ $*\hat{T}_{cos} =$ _____ (*després de la cal·libració)

c5: $V(T_{amb})_{teo} =$ _____ $V(T_{amb})_{mes} =$ _____

$\hat{T}_{amb} =$ _____ $\Delta T = |T_{amb} - \hat{T}_{amb}| =$ _____

Està dintre del rang esperat?

SI

NO

2ª PART – Adquisició analògica (ADC) i monitorització amb Labview

0. Introducció

En la darrera activitat del curs, utilitzarem el programari *Labview* per desenvolupar un programa que capturi la mesura de tensió del nostre circuit condicionador pel port USB i mostri el valor de la temperatura ambient a la pantalla del computador.

Labview és un entorn de programació de *National Instruments* que treballa a molt alt nivell i que facilita la creació ràpida d'apps per desenvolupar *Instruments Virtuals* (VI) en un sistema computador (en aquest cas PC basat en OS Windows). Per VI, entenem tot el conjunt hardware/software: DAQ (Data Acquisition system) + PC + app; específicament dedicat a l'obtenció de dades físiques de sensors (temperatura, pressió atmosfèrica, etc) en forma de mesures elèctriques.

1. Especificacions del DAQ

Per poder adquirir dades elèctriques mitjançant el PC cal que el DAQ que s'instal·la al PC incorpori un ADC (*ADC* – Analog-to-Digital Converter) per capturar tensions analògiques. National Instruments comercialitza targetes específicament preparades per Labview, el que permet una ràpida configuració i posada en marxa. El model ADC dels ordinadors del laboratori és el PCI-6014 que utilitza el mètode d'*aproximacions successives*, presenta **16 entrades** unipolars (8 diferencials), **16 bits** de resolució, un mostreig de **200k mostres/segon** i rang d'entrada programable (mínim $\pm 0.05V$ màxim $\pm 10V$).

Activitat LAB 3. Configuració:

En aquesta activitat accedirem al “driver” del DAQ i aprendrem què signifiquen els diferents paràmetres de la conversió analògica a digital per configurar-los segons les nostres necessitats.

A) Visualització de tensió sinusoïdal

- **a1:** Amb el generador de funcions configureu una tensió sinusoïdal de **1V** de pic i **1kHz** i connecteu la sortida als bornes AI0 (+ vermell al pin 68) i AI8 (- negre al pin 34) segons s'indica a la Fig. 5

Nota: Si ho creieu oportú podeu utilitzar l'oscil·loscopi per tal d'assegurar que el senyal hi és present a la sortida del generador.

- **a2:** Obriu el programari *Measurement and Automation Explorer*. Al menú desplegable de l'esquerra seleccioneu *My System > Device and Interfaces > NI PCI 6014* i premeu “*self-test*”. Comproveu que l'ordinador reconeix el DAQ (hauria de sortir el missatge: *the self test completed successfully*).

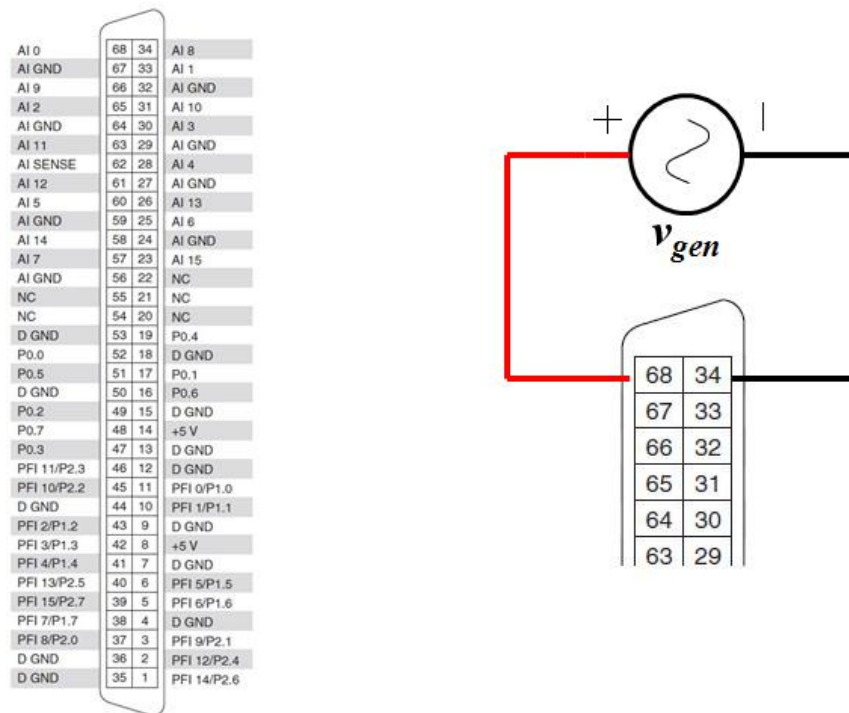


Fig. 5.- Connexió del generador de funcions a l'estrada del DAQ. (a) Distribució de pins; (b) Punt on s'han de connectar les bornes.

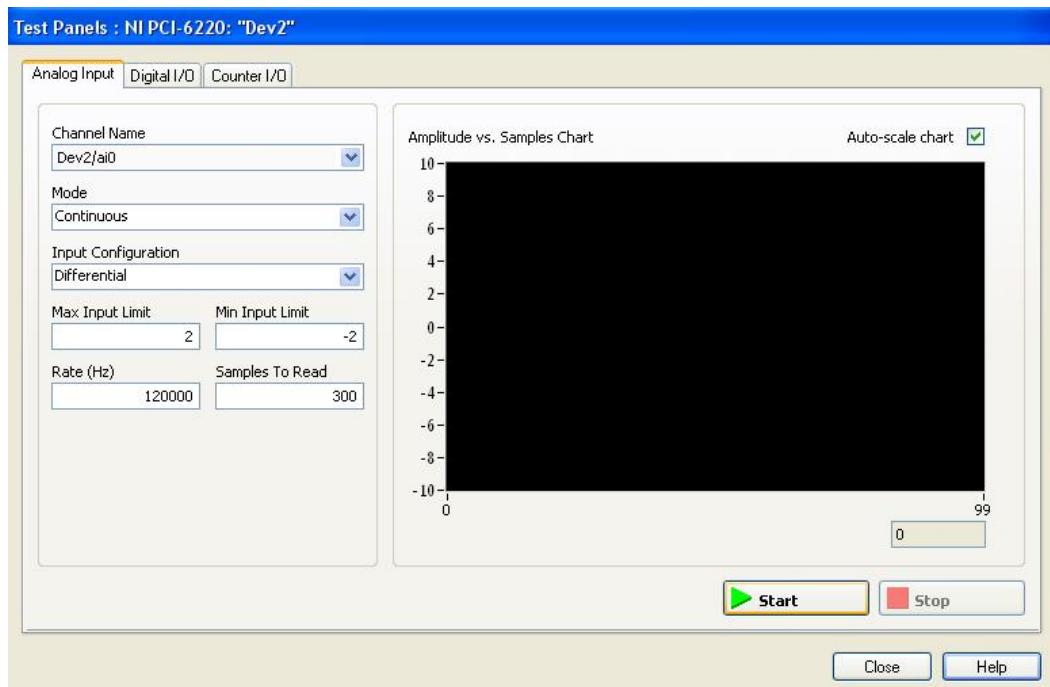


Fig. 6.- Panell de configuració del DAQ test panels.

- **a3:** Obriu el panell de configuració del DAQ seleccionant “*test-panels*” i a la pestanya *Analog Input* configureu el convertidor analògic-digital segons s’indica a la Fig. 6. En acabar seleccioneu **Start**

Nota: En aquesta pestanya es configuren els paràmetres importants del convertidor i que són:

- **Channel name:** entrada del DAQ d’on es llegirà la tensió analògica.
 - **Mode:** mode de lectura (per veure la forma d’ona en temps real ha d’estar configurat en “*continuous*”).
 - **Input configuration:** configuració de la tensió d’entrada (Utilitzarem l’opció *differential* tot i tenir una tensió unipolar al nostre circuit).
 - **Max/Min Input Limit:** Rang d’entrada indicat del canal indicat a *channel name*
 - **Sample rate:** Freqüència de mostreig (per 120kHz l’interval d’adquisició entre dues mostres és $1/120e+3 = 8.33 \mu\text{segons}$).
 - **Samples to read:** Nombre de mostres que es podran veure per pantalla (donat que per $8.33 \mu\text{seg}$ de mostreig la finestra de temps de la pantalla és $\Delta t = 300 \cdot 8.33 \mu\text{seg} = 2.5 \text{ mseg}$, i el període de l’entrada és $T = 1/1e+3 = 1 \text{ mseg}$, s’haurien de visualitzar dos cicles i mig del senyal del generador)
- **a4:** Familiaritzeu-vos amb els controls del DAQ. Primer modifiqueu amplitud i freqüència del generador i observeu els canvis a la pantalla. Després feu el mateix amb els paràmetres del DAQ.

Per exemple, canvieu la forma d’ona del generador, varieu l’amplitud i/o freqüència i disminuïu el *Sample Rate* per tal d’entendre els canvis que es produeixen.

B) Contesteu les següents preguntes considerant les especificacions del DAQ indicades més amunt:

- **b1:** Indiqueu l’increment de tensió mínima detectable pel DAC ($\pm 0.1V$).
- **b2:** Resolució d’entrada per un rang de $\pm 10V$.
- **b3:** Freqüència màxima del senyal d’entrada que es pot observar amb el mostreig configurat a la Fig. 6, si es considera el límit establert pel Teorema de Shannon)
- **b4:** Freqüència màxima del senyal d’entrada que es pot visualitzar amb el DAQ
- **b5:** Valor de tensió analògic codificat per la combinació hexadecimal **13FF H** si es considera una configuració d’entrada de $\pm 5V$.

2. Aplicatiu Labview per adquirir dades elèctriques analògiques

En aquest document no explicarem qüestions relacionades amb la programació en *Labview*, ja que aquesta activitat pretén mostrar els passos bàsics que s’han de seguir per l’adquisició i processament de senyals elèctrics analògiques. Per més informació sobre com programar en *Labview* podeu consultar la web del propi fabricant <http://www.ni.com/gettingstarted/labviewbasics/esa/> o bé els manuals disponibles als directoris d’instal·lació del paquet: **Inici > Programes > National Instruments > Labview 2008 > Labview Manuals > LV User Guide.pdf**.


Labview és un entorn de programació orientat a objectes molt versàtil i d’alt nivell. Cada arxiu ‘*.vi’ de correspon a un Instrument Virtual que està format per un panell frontal (ó **Front panel**), que vindria a contenir els controls i indicadors dels instruments

i; 2) el diagrama de blocs (**Block Diagram**) que permet establir el seu comportament. Així, el fet d'introduir un nou objecte al panell frontal comporta una actualització del diagrama de blocs, el qual, mostra les icones corresponents a les seves propietats i variables. Definint noves variables auxiliars i interconnectant les entrades i sortides equival a generar el codi de programa que es compilarà al executar-lo.

Activitat LAB 4. Adquisició de tensió analògica:

En aquest apartat visualitzarem el mateix senyal del generador de l'apartat 3 però, en lloc de fer-ho a través de *Measurement and Automation Explorer* utilitzarem els arxius de suport que teniu disponible a *Atanea*

A) Visualització d'ona sinusoïdal mitjançant aplicació demo:

- **a1:** Obriu l'arxiu *adquisició_analogica.vi* amb *Labview*: : **Inici > Programes > National Instruments > Labview 2008**. S'hauria de poder visualitzar el panell de control de la Fig. 7 i el diagrama de blocs de la Fig. 8 (menú *Window > Show Block Diagram*).
- **a2:** Entreu dins del *Daq Assistant* (doble click) i configureu amb les mateixes opcions utilitzades al punt a3 de l'activitat LAB3. Al prémer el botó  s'hauria d'observar el senyal que quan vaig usar *Measurement and Automation Explorer*.

El funcionament de l'aplicació és el següent:

La configuració de *DAQ Assistant* serveix per definir el tipus d'adquisició i s'executa en primer lloc capturant 300 lectures analògiques (*Samples to read*) de manera continuada. En acabar, envia totes les dades al visualitzador gràfic (*Waveform Graph*) que les mostra de cop per pantalla. Aquest procés es repeteix indefinidament fins que l'usuari prem el botó *Stop*, moment en que el programa atura l'adquisició i surt del bucle (*while loop*).

B) Adquisició de la tensió del sensor de temperatura

- **b1:** Canvieu el generador de funcions per la sortida del vostre termòmetre i obriu l'arxiu "*acond_temperatura.vi*" amb *Labview* targeta.
- **b2:** Executeu l'aplicació i comproveu que els valors de tensió que apareixen per pantalla coincideixen amb les dades elèctriques reals del circuit.
- **b3:** Comenteu el funcionament del programa segons el diagrama de blocs

Nota: Es recomana seleccionar *Help > Context Help* per conèixer la funció realitzada per cada bloc (al passar el punter del ratolí sobre l'icona corresponent)

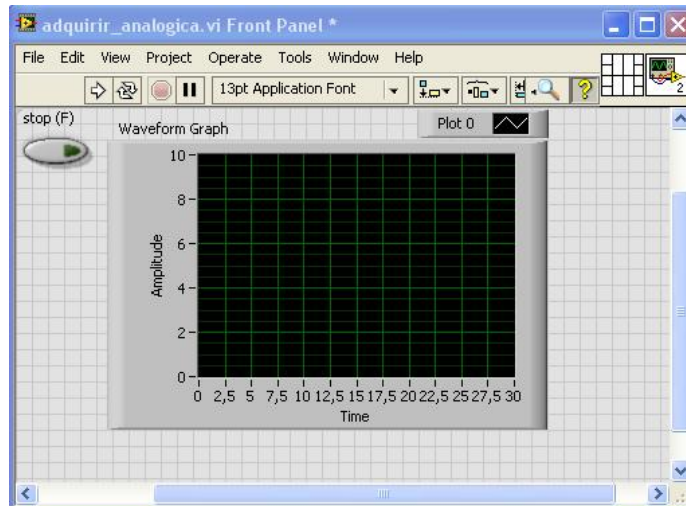


Fig. 7.- Panell de control de l'arxiu "adquisició_analogica.vi".

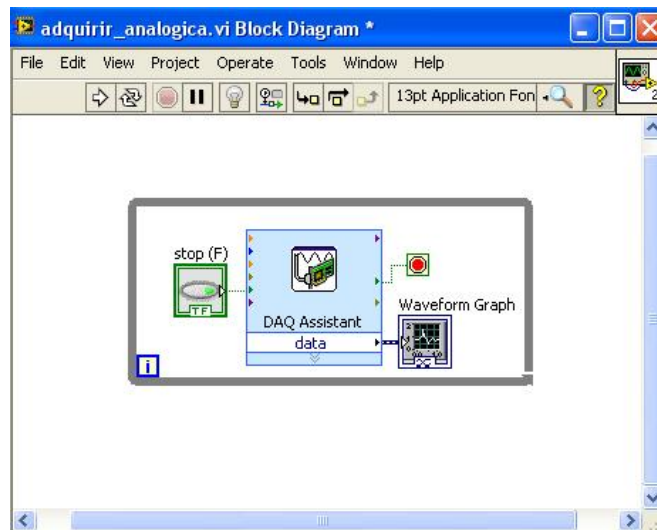


Fig. 8.- Diagrama de blocs de l'arxiu "adquisició_analogica.vi".

C) Mesura de temperatura

- Modifiqueu el diagrama de blocs de l'arxiu "acond_temperatura.vi" per tal que l'aplicació mostri la temperatura (en °C).

Suggeriment: Busqueu les funcions matemàtiques més adients, seleccionant: <Botó dret> *Functions > Mathematics > Script & Formula*