

# ÍNDEX MEMÒRIA

Índex memòria.....	1
Resum.....	3
Resumen .....	3
Abstract .....	3
Agraïments .....	5
Objectiu .....	7
<b>Capítol 1: Introducció.....</b>	<b>9</b>
1.1.  Sistemes elèctrics de mesura .....	9
1.2.  Els comptadors d'energia elèctrica .....	11
1.2.1.  Comptadors electromecànics .....	12
1.2.2.  Comptadors electrònics.....	13
1.3.  Smart Meters .....	13
1.3.1.  Tipus d'Smart Meter .....	14
1.3.2.  Principi de funcionament .....	15
1.3.3.  Comunicacions i complements .....	15
1.4.  Exemple d' <i>smart meter</i> .....	16
1.4.1.  Connexió mitjançant serial port.....	19
1.4.2.  Control mitjançant ordres.....	20
<b>Capítol 2: Descripció de funcionament i hardware.....</b>	<b>23</b>
2.1.  Descripció del hardware del <i>smart meter</i> .....	25
2.1.1.  Quantificador numèric.....	26
2.1.2.  Bloc computacional de processament del senyal o Digital Computation Engine (CE).....	27
2.1.3.  Processador de propòsit múltiple o Multiple Process Unit (MPU)...	27
2.1.4.  Emmagatzematge de dades.....	27
2.1.5.  Flux de dades entre el CE i l'MPU.....	28
2.2.  Descripció operativa .....	29
2.2.1.  Valors màxims absoluts .....	29
2.2.2.  Paràmetres de configuració operativa. ....	30
2.2.3.  Càlculs.....	31
2.2.4.  Variables de transferència pels càlculs .....	31
2.2.5.  Generació de polsos.....	33
2.2.6.  Paràmetres de calibratge del CE.....	35

2.2.7.	Diagrama de flux de les operacions i càlculs que realitza el meter	36
2.2.8.	Variables acumulades .....	37
2.2.9.	Com consultar valors de la memòria. ....	37
<b>Capítol 3: Exemple per la verificació de mesures amb el meter .....</b>		<b>39</b>
3.1.	Dimensionament del circuit per verificar les mesures.....	40
3.2.	Càlcul del valor de pols.....	42
3.3.	Crida de registres, adquisició de dades .....	43
3.4.	Adquisició i tractament de dades en LabView.....	45
3.4.1.	Adquisició de dades .....	47
3.4.2.	Tractament de dades .....	48
3.5.	Limitacions del programa .....	51
<b>Capítol 4: Programa final en LabView .....</b>		<b>53</b>
4.1.	Dimensionament del circuit .....	54
4.2.	Comunicacions .....	57
4.2.1.	Aïllament.....	58
4.3.	Funcionament del programa en LabView .....	59
4.3.1.	Diagrama de flux del programa .....	60
4.4.	Diagrama de blocs, estructura del programa .....	62
4.4.1.	Adquisició de dades .....	62
4.4.2.	Tractament de dades .....	65
<b>Capítol 5: Proves de camp .....</b>		<b>71</b>
5.1.	Dimensionament del circuit .....	72
5.2.	Càlcul del factor de pols.....	75
5.3.	Calibratge del dispositiu.....	76
5.4.	Captures LabView del funcionament .....	79
<b>Capítol 6: Conclusions .....</b>		<b>81</b>
<b>Capítol 7: Bibliografia .....</b>		<b>83</b>

## RESUM

Un *smart meter* és un equip complex destinat a mesurar l'energia elèctrica consumida en un punt. Un instrument d'aquest tipus té moltes possibilitats a l'hora de mesurar paràmetres elèctrics de la xarxa. Com per exemple: corrent i tensió instantànies o el factor de potència.

En aquest treball s'ha fet un sistema de control, adquisició i tractament de dades telecontrolat i programat mitjançant ordinador amb l'eina de disseny de software LabView. Aquest mostra en temps real les mesures que realitza a més de l'energia consumida.

## RESUMEN

Un *smart meter* es un equipo complejo destinado a medir el consumo de energía en un punto. Además es un instrumento que realiza muchas más funciones de medida aparte de la energía. Como por ejemplo: la corriente y tensión instantáneas o el factor de potencia.

En este trabajo se ha hecho un sistema de control, adquisición i tratamiento de datos de los parámetros eléctricos propuestos telecontrolado y programado por ordenador utilizando el sistema de diseño, de software LabView. Este muestra en tiempo real las medidas que realiza y la energía consumida.

## ABSTRACT

A smart meter is an instrument used to measure the energy consumed. As it's smart it's capable to measure a lot of electrical parameters apart from the energy.

The aim of this project is to create a data control, measure and acquisition system through a smart meter to measure electrical instantaneous parameters. The program that was chosen to realize the above functions is LabView.

## **AGRAÏMENTS**

M'agradaria donar les gràcies al professor D: Francesc Casellas Beneyto per l'ajuda prestada i haver-me facilitat tots els equips i eines que he necessitat.

## OBJECTIU

L'objectiu d'aquest treball és fer un sistema de telemesura amb un *smart meter* que a més de mesurar energia es puguin consultar tots els paràmetres instantanis de la xarxa i una referència de la qualitat de l'energia elèctrica que s'està consumint en aquell moment.

Amb l'ordinador serà possible crear el sistema de mesura capaç de monitoritzar en temps real totes les operacions que fa via *hardware* i mostrar-les sense tenir d'estar accedint als registres manualment un per un. El programa escollit per a fer-ho serà LabView.

El passos que s'han seguit per a la seva realització són els següents:

Primerament: S'ha fet ús d'un kit per a desenvolupadors d'un comptador electrònic de la casa Teridian Semiconductor Corporation que ensambla el xip 71M6533 preparat per a mesurar tres fases més el neutre.

Aquest kit incorpora el circuit integrat esmentat, tots els circuits electrònics per a fer-lo funcionar i una *Debug Board* que permet la connexió amb un ordinador via RS232. A més incorpora firmware carregat a la memòria preparat per realitzar totes les funcions.

Segon: Les primeres proves realitzades s'han fet en absència de la xarxa elèctrica i amb un generador de funcions del laboratori monofàsic d'un màxim de 7 V de valor eficaç. Com a resultat s'ha pogut crear un programa sòlid i preparat per a mesurar energia i altres paràmetres de la xarxa elèctrica.

Connectat per radiofreqüència amb l'ordinador s'aconsegueix l'aïllament necessari en aquets tipus d'aplicacions.

Tercer: Seguidament és realitzaren proves de camp en una xarxa de baixa tensió monofàsica i amb deu bombetes de càrrega.

# CAPÍTOL 1:

# INTRODUCCIÓ

El concepte de *Smart Metering* naix de la necessitat de proporcionar informació en temps real de l'energia consumida o generada en un punt a més de poder aplicar tarifes amb discriminació horària. També inclou la possibilitat d'actuar sobre el sistema de consum desconnectant o connectant l'ICP de la instal·lació.

Els primers sistemes d'*Smart Metering* es basen en sistemes electrònics de mesura amb la capacitat d'informar a l'usuari sobre l'energia consumida i produïda. Donant la possibilitat de que el consumidor pugui establir polítiques d'estalvi energètic minimitzant l'impacte ambiental i econòmic.

A més , mitjançant telemetria, es transmeten les dades necessàries al proveïdor d'energia per aplicar possibles tarifes personalitzades, controlar la qualitat del servei i fent més eficient la seva feina.

## 1.1. Sistemes elèctrics de mesura

Els sistemes elèctrics de mesura energètica determinen dos tipus de variables: energia i potència.

El comptador de llum s'encarrega de mesurar la potència, l'energia activa i reactiva en trifàsic o monofàsic. Per la potència s'empren els [VA] o [VA Reactius] i per l'energia [kWh] o [kVAh] respectivament.

Les senyals que es mesuren són les de corrent  $i(t)$  i tensió  $v(t)$  considerades sinusoides desfasades un determinat angle  $\varphi$ . On  $I$  i  $V$  son els valors en *RMS* (eficaç).

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin \omega t \quad (1)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

Per tant la potència instantània  $p(t)$  serà directament proporcional al producte dels valors instantanis d'  $i(t)$  i  $v(t)$ .

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (3)$$

$$p(t) = 2 \cdot V \cdot I \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi) = V \cdot I \cdot [\cos \varphi - \cos 2\omega t - \varphi] \quad (4)$$

Si parlem de sistemes monofàsics la potència activa ve definida per :

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi = [W] \quad (5)$$

La potència reactiva es produeix a causa dels camps elèctrics i magnètics degut al consumidor. Pot haver-hi un desfasament inductiu o capacitiu que normalment sol ser inductiu. Si sumem els termes de potència activa (5) i reactiva (6) obtenim la potència aparent (7).

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi = [VAR] \quad (6)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = [VA] \quad (7)$$

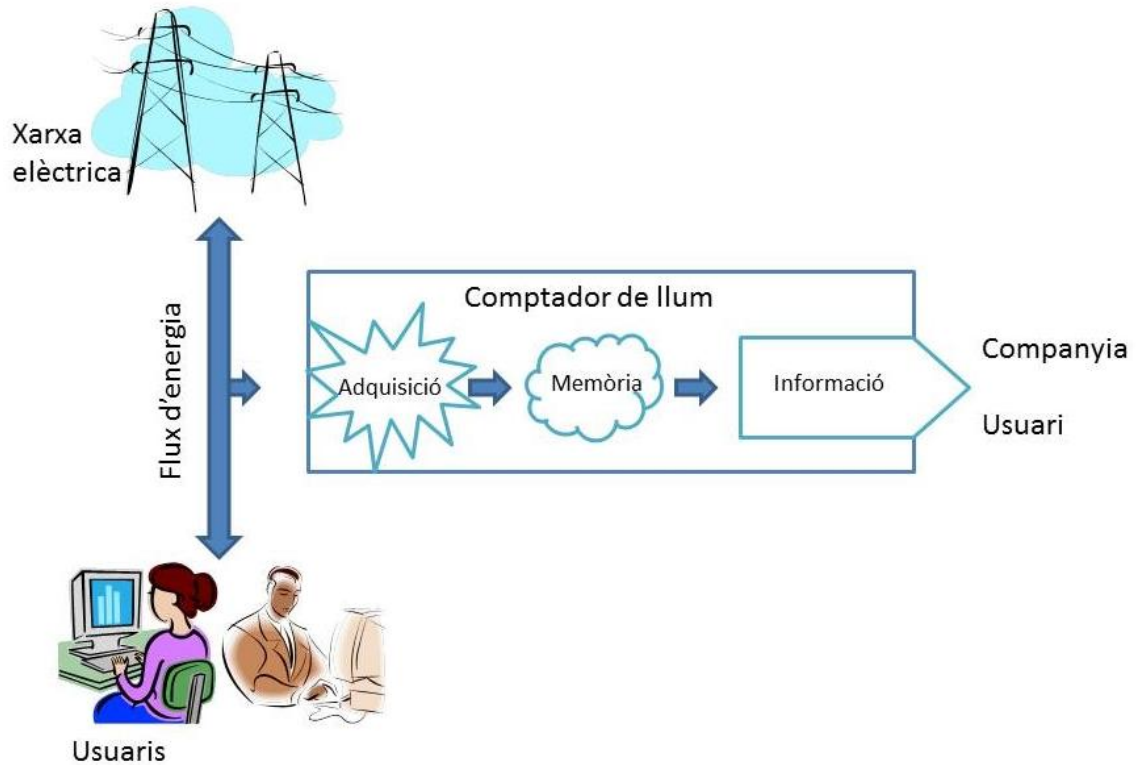
L'energia es el valor acumulat de la potència al llarg del temps que es l'integral definida en un període  $T$  del producte de la tensió (1) i la corrent(2).

$$E = \int_0^T v(t) \cdot i(t) \cdot dt = kWh \quad (8)$$

Els angles de les senyals influeixen molt sobre les mesures a causa del desfasament, la distorsió harmònica de les ones de tensió i les formes d'ona del corrent.

## 1.2. Els comptadors d'energia elèctrica

Un *meter* o comptador és l'equip que s'encarrega de mesurar l'energia elèctrica consumida. Aquest compta amb tres elements principals que són: el dispositiu d'informació, el sistema d'adquisició de dades o de mesura i l'element enregistrator o de memòria. És l'encarregat d'interaccionar amb l'usuari.



**Figura 1.** Esquema d'un comptador de llum.

Els equips de mesura d'energia elèctrica poden classificar-se segons les seves característiques:

- Tecnologia emprada per al seu funcionament, electromecànics o electrònics.
- Si són equips per a tres fases o monofàsics.
- Tipus d'energia a mesurar essent reactiva o activa.
- Amb possibilitat de ser programats i permetre la telegestió o de només ser de tipus enregistrator.

Es pot veure resumit a la Taula 1 de la pàgina següent.



**Taula 1.** Tipus de tecnologies i configuracions possibles.

Tipus	Enregistrador	Energia a mesurar	Fases	Discriminació horària	Programable	Telegestió
<b>Electromecànic</b>	✓	Activa o reactiva	1 o 3	✗	✗	✗
<b>Electrònic : AMR</b>	✓	Activa o reactiva	1 o 3	✗	✗	✓ Bàsica
<b>Electrònic : AMI</b>	✓	Activa i reactiva a més de potència instantània	1 o 3	✓	✗	✓ Bàsica
<b>Electrònic : Smart Meter</b>	✓	Activa, reactiva i valors instantanis	1 o 3	✓	✓	✓ Avançada

### 1.2.1. Comptadors electromecànics

Els comptadors electromecànics només poden mesurar un tipus d'energia acumulada: reactiva o activa i no tenen la possibilitat de discriminació tarifària. Són els que més s'usen.

L'idea base per al comptador electromecànic d'inducció són els estudis que realitzà G. Ferraris sobre els camps de corrent alterna que desfasats generen un camp magnètic capaç de girar un disc sòlid mecànic. Dins els comptadors d'inducció trobem tres tecnologies:

- Commutadors.
- Inducció.
- Disc de Faraday.

El més emprat fins fa poc per a mesures monofàsiques és el d'inducció, considerat la base dels comptadors electromecànics més moderns instal·lats al llarg de 120 anys. Fou inventat per Elihu Thomson al 1889.[7] [8]

### 1.2.2. Comptadors electrònics

Els comptadors electrònics són una passa endavant en quan a la mesura d'energia oferint una quantitat d'opcions que els d'inducció no poden realitzar. En trobem de tres tipus:

- *Automatic Meter Reading (AMR)*, que igual que els d'inducció només permeten mesurar l'energia acumulada en un interval de temps definit. La diferència es que aquest permeten la telegestió, és a dir que hi ha una comunicació bidireccional bàsica entre el *meter* i el servidor de dades.
- *Advanced Meter Infrastructure (AMI)*, mesuren energia acumulada o potència instantània, admeten la discriminació de tarifa i tenen telegestió.
- *Smart Meter*, aquets equips són els més complets perquè ens ofereixen en un mateix dispositiu totes les opcions. Poden mesurar tots els valors instantanis com: voltatge, corrent, factor de potència, freqüència i potències a més de l'energia acumulada en un període determinat per fase. També compten amb la discriminació de tarifa, són programables i tenen un sistema de comunicacions avançat.

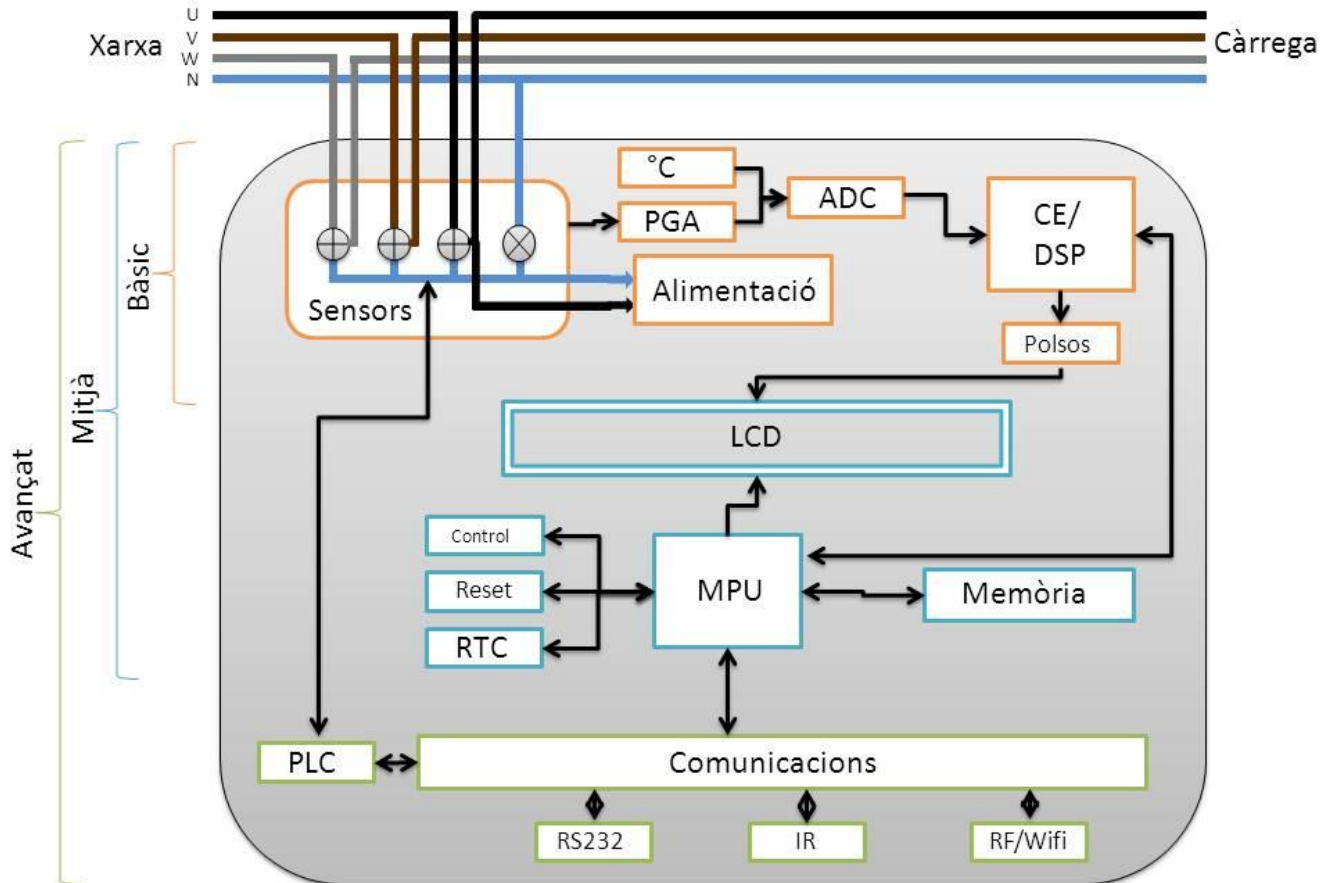
## 1.3. Smart Meters

Un *Smart Meter* bàsicament és un AMI que inclou com a mínim el control d'energia mitjançant un ICP programable que s'encarrega d'establir el límit de consum, un port HAN i la possibilitat de discriminació tarifària segons la demanda.

L'estructura principal del comptador està formada per els elements de la figura 1: sistema de mesura, memòria i el dispositiu d'informació principal que en aquest cas són els sistemes de comunicació. A més per ampliar les capacitats operatives s'afegeixen altres elements complementaris com:

- Sistema d'alimentació, de la mateixa línia o extern.
- Processador de càlcul.
- Processador de comunicacions.
- Dispositiu de control.

L'estructura general d'un *Smart Meter* la podem veure a la Figura 2 següent.



**Figura 2.** Estructura d'un Smart Meter.

### 1.3.1. Tipus d'Smart Meter

La diferència principal entre els fabricants és el disseny electrònic que s'empra on hi trobem:

- Games bàsiques formades per un processador del senyal digital (DSP) o un MPU (*Multiple Process Unit*) i els convertidors analògics digitals (ADC) amb PGA (*Programable-Gain Amplifier*) on els càlculs de potència i energia es tenen que realitzar externament mitjançant un port de comunicacions RS232.
- Games mitges on s'inclou tot el de la gama bàsica i s'hi afegeix un LCD i un processador de gama mitja (MPU) amb capacitats de càlcul per hardware a més de unes memòries.
- Games altes o avançades que inclouen tot el d'una gama mitja però la diferència escau en que els MPU que munten són més adients per a ser programats facilitant aquesta tasca i essent més eficients.

### *1.3.2. Principi de funcionament*

El valor de l'energia que es vol calcular segueix un procés abans de visualitzar-se al LCD del comptador:

1. Condicionament i mesura del senyal. Es converteix el senyal analògic a digital de la corrent i de la tensió mitjançant un ADC d'alta resolució. Normalment solen ser Sigma-Delta de 16 a 24 bits.

Per detectar el senyal de tensió és necessari atenuar-lo amb un divisor de tensió o un transformador per tal d'adaptar l'amplitud als valors del PGA. Les mesures es poden realitzar entre fase i neutre o entre les tres fases.

La mesura del corrent es realitza mitjançant una tensió per transformador de corrent, resistència shunt o bobines de Rogowski. Aquesta mesura pot ser d'una fase, dos fases, tres fases amb neutre o sense depenent sempre del comptador a utilitzar i el nombre d'ADC's que es disposi.

2. Processament i càlcul de dades. Càlcul del producte de les variables per obtenir la potència instantània.
3. Integració de les variables calculades al llarg del temps per trobar l'energia.

### *1.3.3. Comunicacions i complements*

Com hem vist els dispositius de gama mitja i alta tenen una memòria a la que es possible accedir i transmetre a l'exterior. Ja sigui un altre comptador o un ordinador per exemple.

Les comunicacions s'estableixen mitjançant enllaços HAN i emprant els ports sèrie que disposa l'MPU com a perifèrics. Es tracta d'una comunicació local *Machine to Machine* amb altres dispositius.

Els elements complementaris que es poden incloure en un *Smart Meter* són sensors de temperatura interns, un rellotge en temps real, gestió d'energia del sistema, actualitzacions o canvis al firmware o detecció de fuites de corrent.

## 1.4. Exemple d'*smart meter*

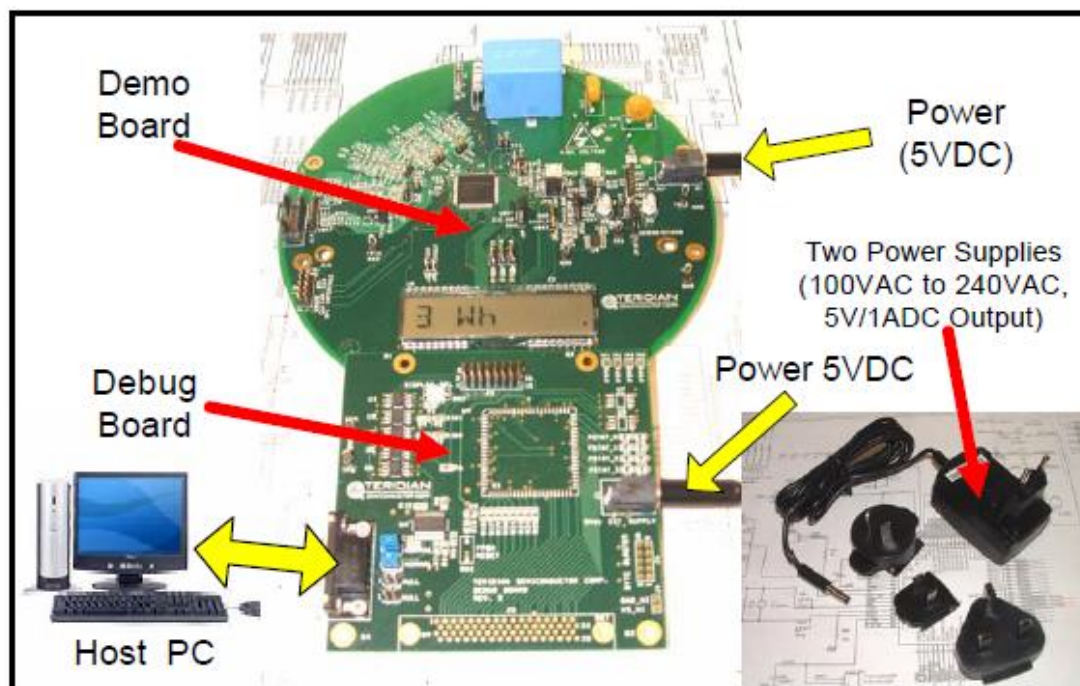
Es disposa d'un comptador electrònic intel·ligent amb el circuit integrat 71M6533 i el firmware predeterminat de fàbrica. Preparat per a mesurar tres fases, amb un LCD per visualitzar les dades sense la necessitat d'un sistema extern.

El contingut del kit es el següent:

- *Debug Board*.
- Dos fonts d'alimentació externes 230 V en AC a 5 V en DC a 1A.
- Un cable serial.
- CD-ROM amb la documentació necessària.

La Figura 3 mostra com realitzar les connexions del *meter* amb la *Debug Board* per tal de fer-la funcionar i connectar-nos amb l'ordinador per a poder consultar tota la informació que calcula. Aquesta connexió es realitzarà mitjançant un port sèrie RS232.

En absència de la xarxa elèctrica és necessari connectar les fonts d'alimentació externes incloses en el kit.



**Figura 3.** Contingut del kit [2]

Una vegada realitzat el muntatge de la figura superior podem veure com al panell LCD ens apareixerà la paraula "HELLO":

		H	E	L	L	O	
--	--	---	---	---	---	---	--

**Figura 4.** LCD a l'inici [2]

Seguidament hauria d'aparèixer l'energia acumulada:

3.				0.	0	0	1
----	--	--	--	----	---	---	---

**Figura 5.** LCD en el menú tres [2]

I alternant el text següent:

3.			W	h			
----	--	--	---	---	--	--	--

**Figura 6.** LCD en el menú tres mostrant l'etiqueta [2]

Com es pot veure apareix un "3." seguit de l'energia acumulada o la paraula "Wh". El programa incorporat ofereix una sèrie de menús als quals es pot accedir o navegar polsant el selector "Display" situat a la part superior dreta de la placa circular. En aquest cas mostra el menú 3 que diu el total de l'energia acumulada.

En total té 17 menús, Figura 7, accessibles amb el polsador. Una vegada ss'arriba al 17 saltarà fins al primer automàticament.

Step	Display in left-most digit(s)	Text display	Corresponding CLI command	Displayed Parameter
1	1	Δt C	M1	Temperature difference from calibration temperature. Displayed in 0.1°C
2	2	Hz	M2	Frequency at the VA_IN input [Hz]
3	3	Wh	M3	Accumulated real energy [Wh]. The default display setting after power-up or reset.
4	4	Wh	M4	Accumulated exported real energy [Wh].
5	5	VARh	M5	Accumulated reactive energy [VARh].
6	6	VARh	M6	Accumulated exported reactive energy [VARh].
7	7	VAh	M7	Accumulated apparent energy [VAh].
8	8	HOURS	M8	Elapsed time
9	9	TIME	M9	Time of day (hh.mm.ss)
10	--	DATE	M10	Date (yyyy.mm.dd)
11	11	PF	M11	Power factor
12	12	--	M12	V/V phase angle [degrees]
13	13	EDGES	M13	Zero crossings of the mains voltage
14	14	PULSES	M14	Pulse counter
15	15	A	M15	RMS current
16	16	V	M16	RMS voltage
17	17	BAT V	M17	Battery voltage

**Figura 7.** Menús del programa [2]

### **1.4.1. Connexió mitjançant serial port**

Per poder accedir als registres de les mesures que calcula el xip es necessari connectar-se amb una connexió RS232.

Una vegada tenim connectat amb el cable l'ordinador i el *meter* s'haurà de iniciar una trucada amb *HyperTerminal* amb els següents paràmetres:

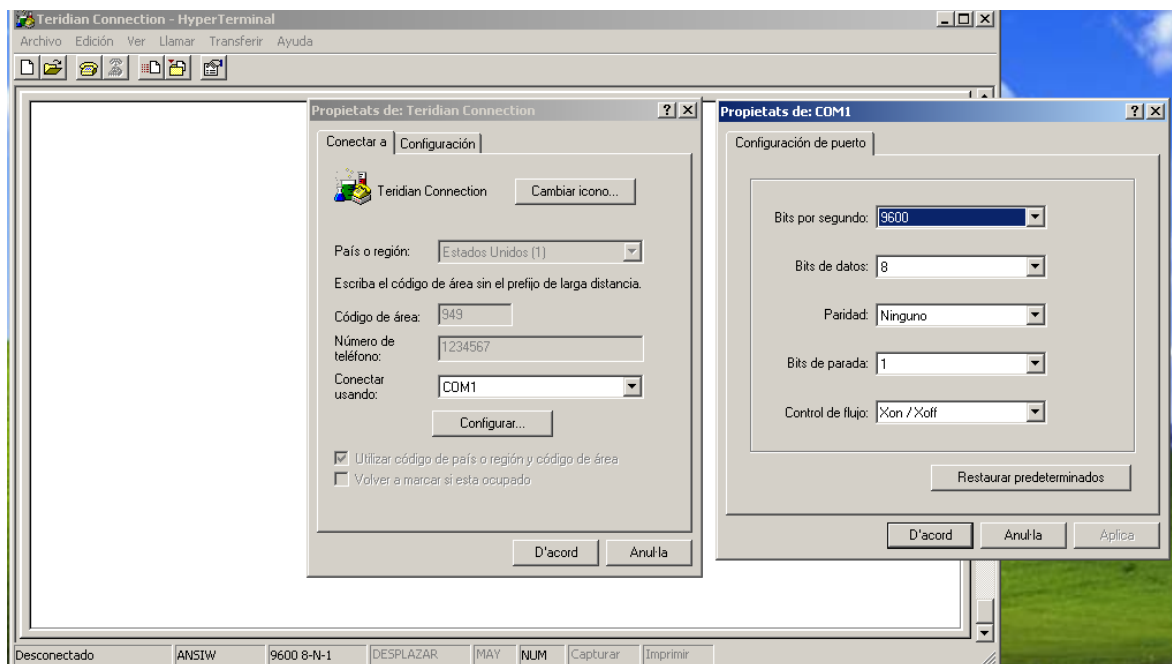
**Port Speed: 9600bd or 300bd (see below)**

**Data Bits: 8**

**Parity: None**

**Stop Bits: 1**

**Flow Control: XON/XOFF**



**Figura 8.** Connexió via Hyper Terminal.

Una vegada s'hagi establert la connexió hauria d'aparèixer el caràcter ➤.



### 1.4.2. Control mitjançant ordres

Realitzada la connexió podem escriure ?? i prémer *enter*. Aquesta comanda és l'ajuda i apareixerà el menú d'usuari del *smart meter*:

```

TSC 71M6533A5 (c)2007 Teridian Semiconductor Corp. All Rights Reserved
>??
INVALID COMMAND. TYPE '??' FOR HELP
>>??

??      : Command Line Interpreter On-line help
Usage: ?<char> or ?? to get this help page
Where <char> is an uppercase letter of the command.
The following commands/<char> are available:
, - Repeat last command      : / - Ignore rest of line
] - Access CE Data RAM      : ) - Access MPU Data RAM
C - Control metering         : I - Information message
M - Meter Display Control    : PS - Power Save
R - SFR and I/O Control      : RT - RTC Control
T - Trim Controls           : W - Wait for watchdog reset
Z - Soft reset
B - Battery mode commands
EE - EEPROM Control
ER - Error Recording
/ - Rest of line is a comment

For Example: ?C to get help on Compute Engine Control.
NO HELP AVAILABLE.
>

```

**Figura 9.** Llenguatge serial.

Es pot accedir a totes les comandes individualment tant a la seva configuració com l'ajuda. Per consultar l'ajuda de cada submenú haurem d'escriure les comandes d'aquesta manera:

?	HELP	Comment
Description:	Command help available for each of the options below.	
Command combinations:	?	Command line interpreter help menu.
	?]	Display help on access CE data RAM
	?)	Display help on access MPU RAM
	?,	Display help on repeat last command
	?/	Display help on ignore rest of line
	?C	Display help on compute engine control.
	?CL	Display help on calibration.
	?EE	Display help on EEPROM control
	?ER	Display help on error recording
	?I	Display help on information message
	?M	Display help on meter display control
	?MR	Display help on meter RMS display control
	?R	Display help on SFR control
	?RT	Display help on RTC control
	?T	Display help on trim control
	?W	Display help on the wait/reset command
	?Z	Display help on reset
Examples:	??	Display the command line interpreter help menu.
	?C	Displays compute engine control help.

**Figura 10.** Menú d'ajuda [2]

Per a navegar per el display i consultar les dades relacionades es pot prémer el botó físic integrat en la placa del circuit imprés.

No obstant interessa una manera més ràpida de consulta vers estar prement la tecla i es per això que al connectar-se via serial tenim la possibilitat de navegar a través dels menús via comandes com es mostra a la Figura 11 següent:

M	METER DISPLAY CONTROL (LCD)	Comment
Description:	Allows user to select internal variables to be displayed.	
Usage:	M [option]. [option]	
Command combinations:	M	Wh Total Consumption (display wraps around at 999.999)
	M0	Wh Total Consumption (display wraps around at 999.999)
	M1	Temperature (C° delta from nominal)
	M2	Frequency (Hz)
	M3. [phase]	Wh Total Consumption (display wraps around at 999.999)
	M4. [phase]	Wh Total Inverse Consumption (display wraps around at 999.999)
	M5. [phase]	VARh Total Consumption (display wraps around at 999.999)
	M6. [phase]	VARh Total Inverse Consumption (display wraps around at 999.999)
	M7. [phase]	VAh Total (display wraps around at 999.999)
	M8	Operating Time (in hours)
	M9	Real Time Clock
	M10	Calendar Date
	M11. [phase]	Power factor
	M13	Mains edge count for the last accumulation interval
	M13.1	Main edge count (accumulated) – zero transitions of the input signal
	M13.2	Main edge count for the last accumulation interval
	M14.1	Absolute count for Wh pulses. Reset with CPC command.
	M14.2	Absolute count for VARh pulses. Reset with CPC command.
	M15.[phase]	I RMS display
	M16.[phase]	V RMS display
Example:	M3.3	Displays Wh total consumption of phase C.
	M5.0	Displays VARh total consumption for all phases.

**Figura 11.** Navegació mitjançant comandes [2]

# CAPÍTOL 2:

## DESCRIPCIÓ DE

## FUNCIONAMENT I

## HARDWARE

L'energia consumida per una càrrega en una xarxa de potència es pot expressar com a l'equació (8) de la introducció, que és recorda a continuació.

$$E = \int_0^T v(t) \cdot i(t) \cdot dt \quad (8^*)$$

On:

*E; energia*

*v(t); voltatge respecte del temps*

*i(t); corrent respecte del temps*

*T; període de temps*

Si es suposa que els angles de fase són constants apliquem les fórmules (5), (6) i (7), ja vistes i les multipliquem per el temps:

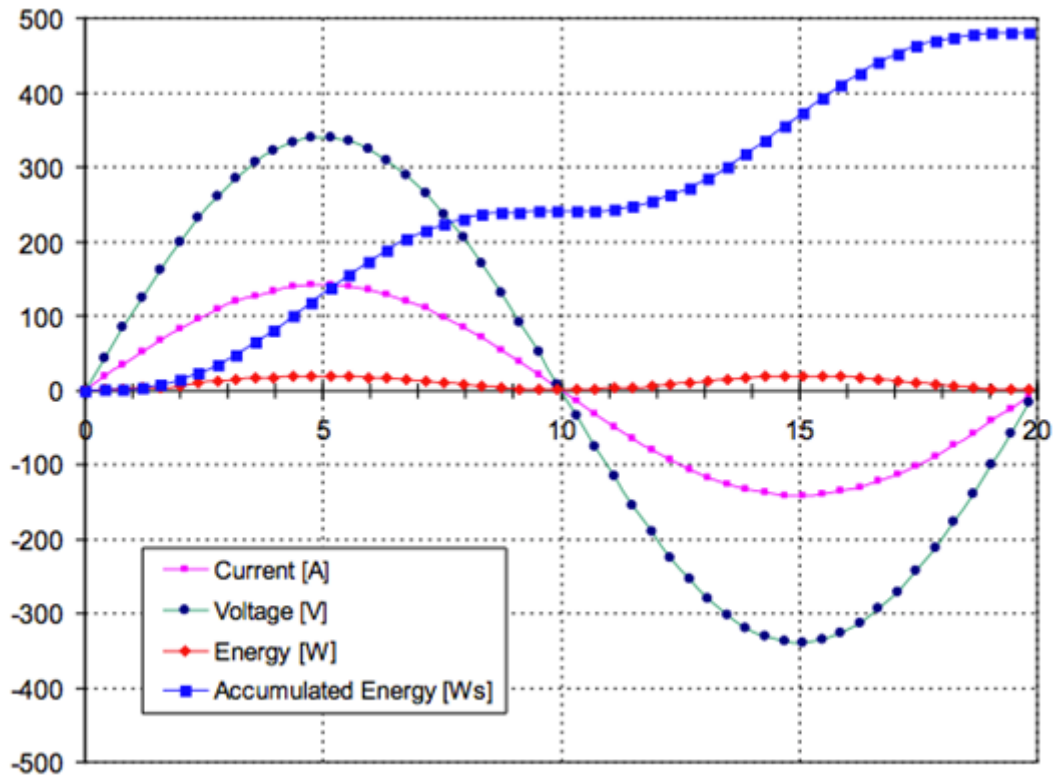
$$P = \text{Energia Activa } Wh = V \cdot A \cdot \cos \varphi \cdot t \quad (5^*)$$

$$Q = \text{Energia Reactiva } VARh = V \cdot A \cdot \sin \varphi \cdot t \quad (6^*)$$

$$S = \text{Energia Aparent } VAh = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (7^*)$$

I el que es fa és resoldre mitjançant mètodes numèrics l'integral (8) anterior processant, per exemple, el corrent i el voltatge a través de l'ADC a una freqüència constant per sota del llindar harmònic que interressi. El que s'obté es el producte de la corrent i la tensió en un interval de temps petit donant una mostra d'energia.

La suma de les mostres d'energia durant el temps resultarà l'energia acumulada.



**Figura 12.** Càlculs del CE [2]

A la Figura 12 anterior s'aprecia el corrent, el voltatge, l'energia de mostra o momentània i l'energia acumulada com a resultat de 50 mostres durant un període de 20 ms.

L'aplicació d'un voltatge de 240 V i 100 A resulta en una acumulada de 480 W que equivalen a 0,133 Wh durant el període de 20 ms, com es pot apreciar en la corba de l'energia acumulada.

Cal destacar que el mètode que empra el Teridian funciona fins i tot durant la presència de canvis de fase dinàmics i distorsió harmònica.



Els sensors de corrent que suporta son el transformadors de corrent (CT) pel qual ve preprogramat, resistències shunts i anelles Rogowski.

En una aplicació típica el bloc computacional (CE) processa seqüencialment els valors de voltatge i calcula l'energia activa (Wh), la reactiva (VARh) i també els valors de  $A^2h$  i  $V^2h$  per saber a quin quadrant pertanyen. Posteriorment aquestes mesures les adreça l'MPU per poder ser accedides mitjançant dispositius externs com LCD o l'ordinador.

### 2.1.1. Quantificador numèric

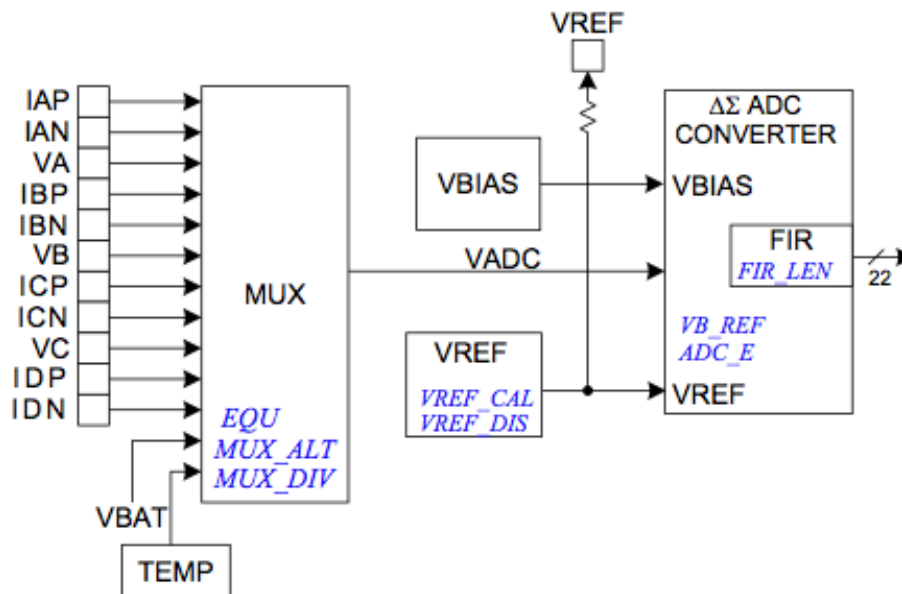
Format per un multiplexor d'entrada, un delta-sigma ADC i un voltatge de referència. El nombre de bits que pugui convertir l'ADC en un temps determinat serà el cicle de treball.

Pins d'entrada

Totes les entrades son de voltatge. VA, VB i VC son pins que es connecten en mode comú. Els pins IAP/IAN, IBP/IBN, ICP/ICN i IDP/IDN poden programar-se individualment per ser en mode comú o diferencials. En el nostre cas els programarem en mode diferencial.

El multiplexor aplica els senyals d'entrada als pins esmentats directament a l'ADC. Aquest usa el senyal de referència per anar tallant el senyal i poder enviar-lo.

L'ADC te un rang de funcionament de 18 bits fins a 24 bits depenent de la freqüència de treball.



**Figura 14.** ADC de tipus Delta-Sigma [2]

### *2.1.2. Bloc computacional de processament del senyal o Digital Computation Engine (CE)*

El CE es un processador dedicat de 32 bit que realitza els càlculs amb la resolució necessària per a mesurar energia.

Càlculs realitzats:

- Multiplicació de cada mostra de corrent amb el seu valor associat de voltatge per obtenir l'energia per mostra.
- Un sensor de freqüència per solucionar els problemes de retard entre càlculs.
- 90° fase *shifter* per els càlculs d'energia reactiva.
- Un generador de polsos.
- Monitorització de la freqüència d'entrada per la informació de fase i control de l'amplitud.
- Escalat de les mostres segons els factors de calibratge.

### *2.1.3. Processador de propòsit múltiple o Multiple Process Unit (MPU)*

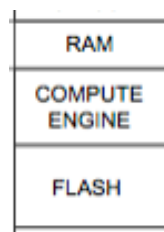
Es un processador 8051 MPU de 8 bits encarregat de processar les instruccions en cada cicle de rellotge i enviar-les a les comunicacions.

### *2.1.4. Emmagatzematge de dades*

L'IC incorpora dos tipus de memòria. RAM i FLASH.

La memòria RAM es volàtil i s'encarrega de guardar tots els valors instantanis per als càlculs matemàtics que realitza el CE. Son variables que es van canviant al llarg del temps. Per accedir-hi hem d'emprar claudàtors a la finestra de *l'hyper terminal* o LabView de la següent manera:

> ]000? on 000 és una direcció de la memòria vàlid.



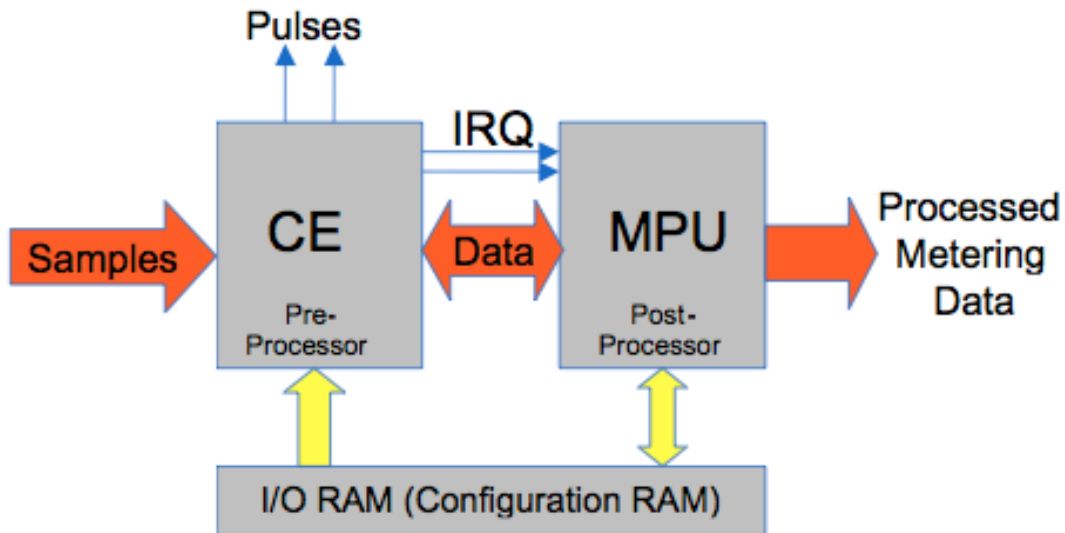
**Figura 15.** Memòries de l'IC [2]

La memòria FLASH no és volàtil i queda guardada si s'apaga el *meter*. És on es trobem tots els valors d'energia acumulada, configuració i altres paràmetres de calibratge. Com per exemple la corrent màxima que mesura, el voltatge o el calibratge individual per fase en cas d'utilitzar transformadors de corrent.

### 2.1.5. Flux de dades entre el CE i l'MPU

El flux de dades entre el CE i l'MPU es mostra a la Figura 16 següent. En una típica aplicació, la seqüència del CE de 32 bits processa les mostres procedents de les entrades de tensió en els pins  $IA$ ,  $VA$ ,  $IB$ , i  $VB$ , la realització dels càlculs per mesurar la potència activa ( $Wh$ ), potència reactiva ( $VARh$ ),  $A^2h$  i  $V^2H$  per al mesurament de quatre quadrants.

Aquestes mesures són llavors accessibles pel MPU, processats addicionalment i enviant-los als dispositius perifèrics disponibles.



**Figura 16.** Diagrama de flux entre el CE i l'MPU [2]



## 2.2. Descripció operativa

Totes les paraules que empra el CE son de 4 bytes (32 bits). Els paràmetres de calibratge estan definits en la memòria flash i copiats en la memòria del CE mitjançant l'MPU abans d'engegar-lo.

Per als càlculs s'usen variables i constants seguint la metodologia explicada en l'apartat anterior. Les variables d'entrada serveixen per controlar el funcionament del codi dins del CE i les de sortida son els càlculs que ha realitzat.

### 2.2.1. Valors màxims absoluts

Per garantir el correcte funcionament i prevenir qualsevol fallida per causes elèctriques s'han de garantir que no es sobrepassin els valors de tensió mostrats en la Figura 17.

Voltage and Current	
<b>Supplies and Ground Pins</b>	
V3P3SYS, V3P3A	-0.5 V to 4.6 V
VBAT	-0.5 V to 4.6 V
GNDD	-0.5 V to +0.5 V
<b>Analog Output Pins</b>	
V3P3D	-10 mA to 10 mA, -0.5 V to 4.6 V
VREF	-10 mA to +10 mA, -0.5 V to V3P3A+0.5 V
V2P5	-10 mA to +10 mA, -0.5 V to 3.0 V
<b>Analog Input Pins</b>	
IA, VA, IB, VB, IC, VC, V1	-10 mA to +10 mA -0.5 V to V3P3A+0.5 V
XIN, XOUT	-10 mA to +10 mA -0.5 V to 3.0 V
<b>All Other Pins</b>	
Configured as SEG or COM drivers	-1 mA to +1 mA, -0.5 to V3P3D+0.5
Configured as Digital Inputs	-10 mA to +10 mA, -0.5 to 6 V
Configured as Digital Outputs	-15 mA to +15 mA, -0.5 V to V3P3D+0.5 V
All other pins	-0.5 V to V3P3D+0.5 V
<b>Temperature and ESD Stress</b>	
Operating junction temperature (peak, 100ms)	140 °C
Operating junction temperature (continuous)	125 °C
Storage temperature	-45 °C to +165 °C
Solder temperature – 10 second duration	250 °C
ESD stress on all pins	4 kV

**Figura 17.** Valors de tensió màxims que suporta el circuit integrat [2]

### 2.2.2. Paràmetres de configuració operativa.

Per fer els càlculs mostrats al principi del capítol es necessiten una sèrie de paràmetres que es troben a la memòria del CE:

- Freqüència de mostra, *sampling frequency*:  $F_S = \frac{32768 \text{ Hz}}{13} = 2520,62 \text{ Hz}$
- $F_0$  és la freqüència fonamental a les fases principals.
- $IMAX$  és la corrent externa en rms corresponent a 250 mV de pic a les entrades IA, IB i IC.
- $VMAX$  és el voltatge extern en rms corresponent a 250 mV de pic a les entrades VA, VB i VC.
- $N_{ACC}$  és el comptador d'energia acumulada per les mesures d'energia. Que també s'usa pera mesurar el desfasament de fases.
- La duració d'un interval per a mesurar energia es  $PRE\_SAMPS \cdot SUM\_CYCLES / F_S$ .
- $In\_8$  es el guany constant e un canal de corrent. Es un valor 1 o 8 controlat per  $In\_SHUNT$ .
- $Voltatge \text{ LSB} = VMAX \cdot 7,879810^{-9} \text{ V}$

Es recorda que el valor de la tensió o corrent en valor eficaç és [4] :

$$V_{RMS} \text{ ó } I_{RMS} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt \quad (9)$$

0x09	6000	<i>VMAX</i>	The nominal external RMS voltage that corresponds to 250mV peak at the ADC input. The meter uses this value to convert internal quantities to external. LSB=0.1V
0x0A	2080	<i>IMAX</i>	The nominal external RMS current that corresponds to 250mV peak at the ADC input for channel A. The meter uses this value to convert internal quantities to external. LSB=0.1A

**Figura 18.** Registres de VMAX i IMAX [2]

El fons d'escala és de 250 mV de pic a les entrades del xip.

### 2.2.3. Càlculs

Els càlculs que realitza es veuen en la taula adjunta

**Taula 2.** Càlculs que realitza el CE [2]

EQU	Watt & VAR Formula (WSUM/VARSUM)	W0SUM/ VAR0SUM	W1SUM/ VAR1SUM	W2SUM/ VAR2SUM	I0SQ SUM	I1SQ SUM	I2SQ SUM
0*	VA IA (1 element, 2W 1φ)	VA*IA	–	–	IA	–	–
1*	VA*(IA-IB)/2 (1 element, 3W 1φ)	VA*(IA-IB)/2	–	–	IA-IB	IB	–
2*	VA*IA + VB*IB (2 element, 3W 3φ Delta)	VA*IA	VB*IB	–	IA	IB	–
3*	VA*(IA-IB)/2 + VC*IC (2 element, 4W 3φ Delta)	VA*(IA-IB)/2	–	VC*IC	IA-IB	IB	IC
4*	VA*(IA-IB)/2 + VB*(IC-IB)/2 (2 element, 4W 3φ Wye)	VA*(IA-IB)/2	VB*(IC-IB)/2	–	IA-IB	IC-IB	IC
5	VA*IA + VB*IB + VC*IC (3 element, 4W 3φ Wye)	VA*IA	VB*IB	VC*IC	IA	IB	IC

\* Only EQU = 5 is supported by CE code version CE34A02D.

### 2.2.4. Variables de transferència pels càlculs

Les variables de transferència són les recollides en un període o pols de mesura, que posteriorment es sumaran a les acumulades. I poden ser:

- **Variables fonamentals de mesura d'energia**

La Taula 3 descriu cada variable de transferència per a mesures d'energia. Són variables enteres de 32-bits. Per evitar *overflow* s'escalen les variables internament.

**Taula 3.** Variables de transferència del CE [2]

CE Ad- dress	Name	Description
0x85	WSUM_X	The signed sum: W0SUM_X+W1SUM_X+W2SUM_X.
0x86	W0SUM_X	The sum of Wh samples from each wattmeter element. LSB = $9.4045 \cdot 10^{-13} V_{MAX} I_{MAX} / \ln_8 Wh$ .
0x87	W1SUM_X	
0x88	W2SUM_X	
0x8A	VARSUM_X	The signed sum: VAR0SUM_X+VAR1SUM_X+VAR2SUM_X.
0x8B	VAR0SUM_X	The sum of VARh samples from each wattmeter element. LSB = $9.4045 \cdot 10^{-13} V_{MAX} I_{MAX} / \ln_8 VARh$ .
0x8C	VAR1SUM_X	
0x8D	VAR2SUM_X	

WxSUM\_X i VARSUM\_X on la \_X vol dir que son variables de transferència. Són el sumatori de cada fase en Wh o VARh.

- **Valors instantanis en RMS**

$IxSQSUM\_X$  i  $VxSQSUM$  són les mostres de la corrent i el voltatge al quadrat adquirides durant el darrer període de mostra.  $INSQSUM\_X$  s'empra per computar la corrent per el neutre.

**Taula 4.** Variables per a la mesura d'energia [2]

CE Ad-dress	Name	Description
0x8F	$I0SQSUM\_X$	The sum of squared current samples from each element. LSB = $9.4045 \cdot 10^{-13} \cdot I_{MAX}^2 / \ln\_8^2 A^2h$
0x90	$I1SQSUM\_X$	
0x91	$I2SQSUM\_X$	
0x92	$INSQSUM\_X$	The sum of squared current samples from the calculated neutral: $\sum (I_0 + I_1 + I_2)^2$ LSB = $9.4045 \cdot 10^{-13} \cdot I_{MAX}^2 / \ln\_8^2 A^2h$
0x99	$I0SQRES\_X$	Residual current measurements with double-precision accuracy. The exact current is: $ISQn = I_{nSQSUM\_X} + I_{nSQRES\_X}$
0x9A	$I1SQRES\_X$	
0x9B	$I2SQRES\_X$	
0x9C	$INSQRES\_X$	
0x93	$V0SQSUM\_X$	The sum of squared voltage samples from each element. LSB = $9.4045 \cdot 10^{-13} \cdot V_{MAX}^2 V^2h$
0x94	$V1SQSUM\_X$	
0x95	$V2SQSUM\_X$	

L'MPU és l'encarregat de computar els valors en RMS des dels valors al quadrat de voltatge i corrent adquirits.

$$I_{x_{RMS}} = \frac{IxSQSUM \cdot LSB \cdot 3600 \cdot F_s}{N_{ACC}}; \text{ essent } LSB = 9,4045 \cdot 10^{-13} \cdot \frac{I_{MAX}^2}{\ln\_8^2} A^2h \quad (10)$$

$$V_{x_{RMS}} = \frac{VxSQSUM \cdot LSB \cdot 3600 \cdot F_s}{N_{ACC}}; \text{ essent } LSB = 9,4045 \cdot 10^{-13} \cdot V_{MAX}^2 V^2h \quad (11)$$

- **Altres paràmetres**

La freqüència es calcularia de la següent manera:

**Taula 5.** Altres paràmetres [2]

CE Ad-dress	Name	Description
0x82	$FREQ\_X$	Fundamental frequency: $LSB \equiv \frac{F_s}{2^{32}} \approx 0.587 \cdot 10^{-6} Hz$

### 2.2.5. Generació de polsos

Aquest kit de desenvolupament va ser dissenyat per funcionar amb transformadors de corrent (CT) de rati 2000:1 amb un factor de  $K_h$  predeterminat de 3,2. Si es vol canviar aquest valor es calcula amb la fórmula 11 següent:

$$WRATE = \frac{IMAX \cdot VMAX \cdot 66,1782}{Kh \cdot In\_8 \cdot N_{ACC} \cdot X} \quad (12)$$

on:

$$N_{ACC} = 2520$$

$$X = 1,5$$

$$In\_8 = 1$$

són constants, i  $IMAX$ ,  $VMAX$ ,  $WRATE$ ,  $K_h$  són els valors que s'han de modificar.

$IMAX$  serà el valor màxim de corrent que pot mesurar d'acord amb el divisor de tensió que es posi i recordant que s'ha de reduir la tensió fins 250mV de pic a pic perquè és el fons d'escala del dispositiu.

$VMAX$  és el valor màxim de tensió que pot mesurar i respectant el divisor de tensió i els 250 mV de pic per el mateix motiu.

$WRATE$  és la variable del registre que s'ha de modificar per obtenir el valor de pols desitjat.

$K_h$  és el valor de pols desitjat que relaciona la potència i el número de polsos per aquesta potència.

La taula següent descriu els paràmetres de la generació de polsos. Els polsos en un comptador electrònic equivaldria a una volta sencera de una anella en els comptadors mecànics.

Com no hi ha elements mecànics es posa un LED que va pampalluguejant.

**Taula 6.** Registres de la generació de polsos [2]

CE Address	Name	Default	Description
0x21	<i>WRATE</i>	171	$Kh = V_{MAX} \cdot I_{MAX} \cdot 66.1782 / (ln\_8 \cdot WRATE \cdot N_{ACC} \cdot X)$ Wh/pulse.
0x22	<i>KVAR</i>	6448	Scale factor for VAR measurement.
0x23	<i>SUM_PRE</i>	2520	$PRE\_SAMPS \cdot SUM\_CYCLES (N_{ACC})$
0x41	<i>APULSEW</i>	0	Wh pulse (WPULSE) generator input to be updated by the MPU when using external pulse generation. The output pulse rate is: $APULSEW \cdot F_S \cdot 2^{-32} \cdot WRATE \cdot X \cdot 2^{-14}$ . This input is buffered and can be updated by the MPU during a conversion interval. The change will take effect at the beginning of the next interval.
0x38	<i>PULSEWIDTH</i>	12	Register for pulse width control of XPULSE and YPULSE. The maximum pulse width is $(2 \cdot PULSEWIDTH + 1) \cdot (1/FS)$ . The default value will generate pulses of 10 ms width at $FS = 2520.62$ Hz.
0x42	<i>APULSER</i>	0	VARh (RPULSE) pulse generator input.
0x43	<i>APULSEX</i>	0	Pulse generator input for XPULSE output.
0x44	<i>APULSEY</i>	0	Pulse generator input for YPULSE output.
0x45	<i>WSUM_ACCUM</i>	0	Roll-over accumulator for WPULSE.
0x46	<i>VSUM_ACCUM</i>	0	Roll-over accumulator for RPULSE.
0x47	<i>SUM2_ACCUM</i>	0	Roll-over accumulator for the XPULSE pulse output.
0x48	<i>SUM3_ACCUM</i>	0	Roll-over accumulator for the YPULSE pulse output.

La combinació de *PULSE\_SLOW* i *PULSE\_FAST* serveix per controlar la velocitat dels polsos.

*WRATE* controla el nombre de polsos que es generen per mesurar els *Wh* i *VARh*. A menor valor de *WRATE* serà menor el pols per a mesurar energia.

La constant *Kh* deriva de *WRATE* com la quantitat d'energia mesurada en cada pols. Això vols dir que si  $Kh = \frac{1Wh}{pols}$ , un voltatge de 120 V i 30 A resulta un pols per segon. Si la càrrega es 240 V a 150 A llavors es generaran 10 polsos per segon.

El valor màxim per pols es  $3 \cdot F_S = 7,5$  kHz

### 2.2.6. Paràmetres de calibratge del CE

A la Taula 7 es poden veure els paràmetres que s'usen per calibrar cada una de les fases que disposa el dispositiu. És recomanable emprar-ho en cas d'haver un petit error entre la mesura real i la que mostra el *meter*.

També es útil per mesurar sobretensions o sobrecorrents fins el valor desitjat prèviament dimensionats els divisors de tensió procurant no sobrepassar el fons d'escala de 250 mV de pic.

**Taula 7.** Possible calibratge del dispositiu [2]

CE Address	Name	Default	Description
0x10	<i>CAL_IA</i>	16384	These constants control the gain of their respective channels. The nominal value for each parameter is $2^{14} = 16384$ . The gain of each channel is directly proportional to its CAL parameter. Thus, if the gain of a channel is 1% slow, CAL should be increased by 1%.
0x11	<i>CAL_VA</i>	16384	
0x12	<i>CAL_IB</i>	16384	
0x13	<i>CAL_VB</i>	16384	
0x14	<i>CAL_IC</i>	16384	
0x15	<i>CAL_VC</i>	16384	
0x18	<i>PHADJ_A</i>	0	These constants control the CT phase compensation. No compensation occurs when <i>PHADJ_X</i> = 0. As <i>PHADJ_X</i> is increased, more compensation (lag) is introduced. The range is $\pm 2^{15} - 1$ . If it is desired to delay the current by the angle $\Phi$ , the equations are:  $PHADJ\_X = 2^{20} \frac{0.02229 \cdot TAN\Phi}{0.1487 - 0.0131 \cdot TAN\Phi} \text{ at 60Hz}$ $PHADJ\_X = 2^{20} \frac{0.0155 \cdot TAN\Phi}{0.1241 - 0.009695 \cdot TAN\Phi} \text{ at 50Hz}$
0x19	<i>PHADJ_B</i>	0	
0x1A	<i>PHADJ_C</i>	0	

El valors de 16384 no apliquen cap ajust a la mesura. És guany unitari i el *meter* mostrarà únicament el valor de la corrent i tensió màxima definida com a *VMAX* i *IMAX*.

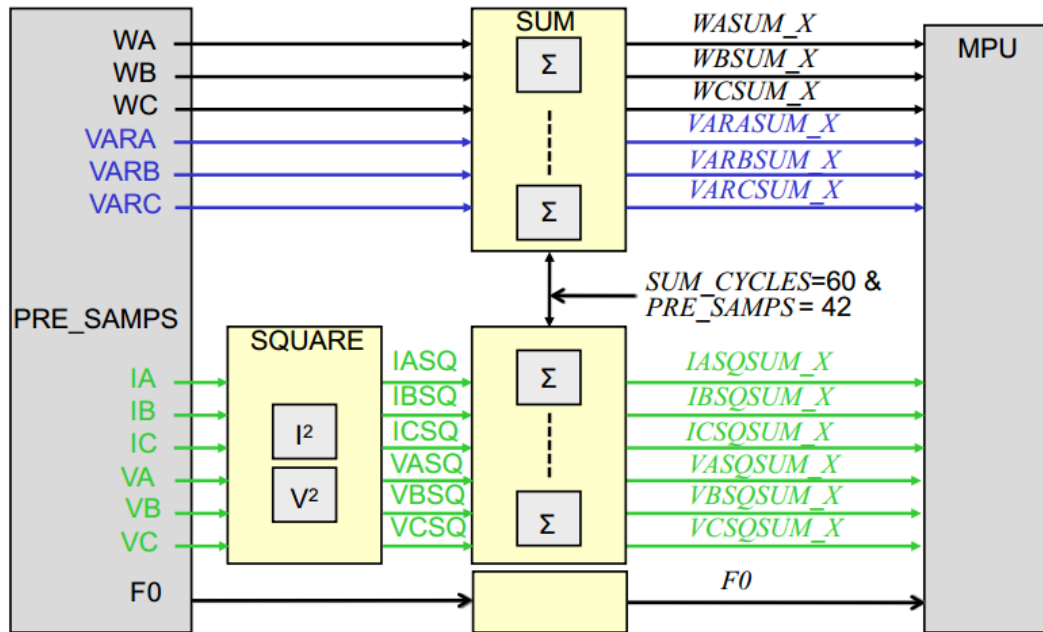
Per ajustar el valor mostrat al LCD simplement s'ha d'efectuar una petita regla de tres. Coneixent la mesura real del valor que volem ajustar.

$$\frac{16384}{X} = \frac{\text{Tensió que mostra el meter}}{\text{Valor de tensió real}} \quad (13)$$

$$\frac{16384}{X} = \frac{\text{Corrent que mostra el meter}}{\text{Valor de corrent real}} \quad (14)$$

### 2.2.7. Diagrama de flux de les operacions i càlculs que realitza el meter

En la Figura 19 es veu el procés que segueixen les dades en les etapes de quadrat i suma. El senyal es convertit per l'ADC en paraules digitals IA, IB, IC, VA, VB i VC, s'eleva al quadrat i es realitzen les operacions citades anteriorment.



**Figura 19.** Diagrama de flux dels quadrats i les etapes de suma [2]



### 2.2.8. Variables acumulades

La metodologia de mesura del dispositiu és anar fent petits càlculs en períodes curts de temps i acumular-los en una altra variable per no patir problemes d'overflow. En aquest apartat es mostren els registres on es guarden aquets valors acumulats.

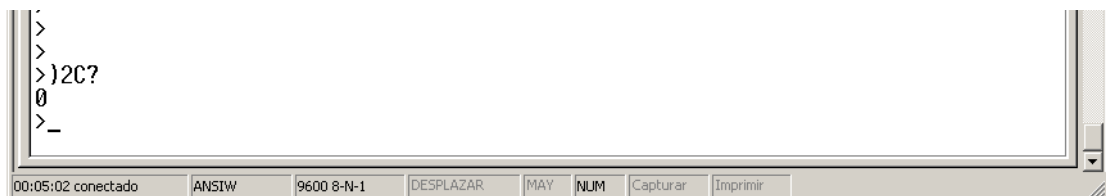
XRAM Word Address	Name	Description
0x2C	Whi	Total Watt hours consumed (imported)
0x44	Whe	Total Watt hours generated (exported)
0x34	VARhi	Total VAR hours consumed
0x4C	VARhe	Total VAR hours generated (inverse consumed)
0x3C	VAh	Total VA hours
0x2E	Whi_A	Total Watt hours consumed through element 0
0x46	Whe_A	Total Watt hours generated (inverse consumed) through element 0
0x36	VARhi_A	Total VAR hours consumed through element 0
0x4E	VARhe_A	Total VAR hours generated (inverse consumed) through element 0
0x3E	VAh_A	Total VA hours in element 0
0x30	Whi_B	Total Watt hours consumed through element 1
0x48	Whe_B	Total Watt hours generated (inverse consumed) through element 1
0x38	VARhi_B	Total VAR hours consumed through element 1
0x50	VARhe_B	Total VAR hours generated (inverse consumed) through element 1
0x40	Vah_B	Total VA hours in element 1
0x32	Whi_C	Total Watt hours consumed through element 2
0x4A	Whe_C	Total Watt hours generated (inverse consumed) through element 2
0x3A	VARhi_C	Total VAR hours consumed through element 2
0x52	VARhe_C	Total VAR hours generated (inverse consumed) through element 2
0x42	VAh_C	Total VA hours in element 2

**Figura 20.** Llista dels registres que contenen les variables acumulades [2]

### 2.2.9. Com consultar valors de la memòria.

Si volem consultar qualche valor del registre l'hem de cridar amb la comanda ">" o ">]" seguit de la direcció i un interrogant "?" si volem la contestació en decimal o un dolar "\$" si la volem en hexadecimal.

Per exemple per consultar el valor dels watts consumits en la sessió serà ">)2C?".



**Figura 21.** Resposta del IC al demanar una dada de memòria.

# **CAPÍTOL 3:**

## **EXEMPLE PER LA**

### **VERIFICACIÓ DE**

#### **MESURES AMB EL**

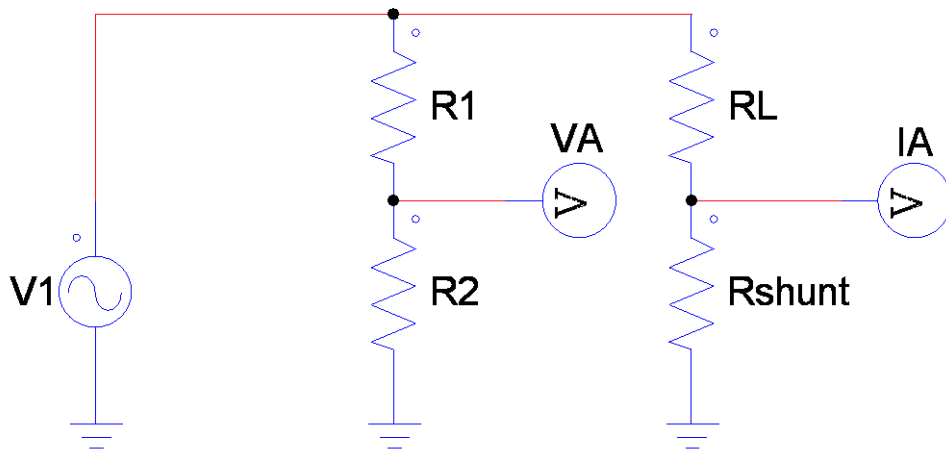
##### ***METER***

Al tractar-se d'un sistema molt complex amb una gran quantitat de variables i subsistemes era necessari realitzar una prova de mesura en un entorn controlat i bàsic.

Per entendre el funcionament del comptador intel·ligent es realitzà un circuit senzill sobre el que treballar (Figura 22). Amb dos divisors de tensió per mesurar el voltatge i la corrent a la càrrega.

Fou necessari per entendre el sistema de consulta de registres a les memòries del comptador i tractar-los. Primer es va fer manualment mitjançant fulles de càlcul en *excel* comprovant que els resultats, exposats en aquest apartat, foren correctes. Posteriorment es realitzà un programa primari en LabView per realitzar de forma automàtica tots els càlculs i consultes necessàries.

La senyal que s'utilitzarà és sinusoidal de 20 V de pic a pic monofàsic donant 7 V de valor eficaç. Aquesta senyal servirà per provar i desenvolupar l'aplicació, a priori, sense necessitar la xarxa elèctrica.



**Figura 22.** Esquema del primer circuit per verificar les mesures.

### 3.1. Dimensionament del circuit per verificar les mesures

Per fer els divisors de tensió necessaris per a cada part s'han de buscar valors normalitzats de resistències.

Càlculs per al voltatge:

$$V_{MAX} = 7 \text{ V} \quad (15)$$

$$R_R = \frac{V_{MAX}}{\text{Fons d'escala (V)}} = \frac{7 \text{ V}}{177 \text{ mV}} = 39,548 \quad (16)$$

$$R_1 = R_R \cdot R_2 = 39,548 \cdot 1 \text{ k}\Omega \approx 39 \text{ k}\Omega \quad (17)$$

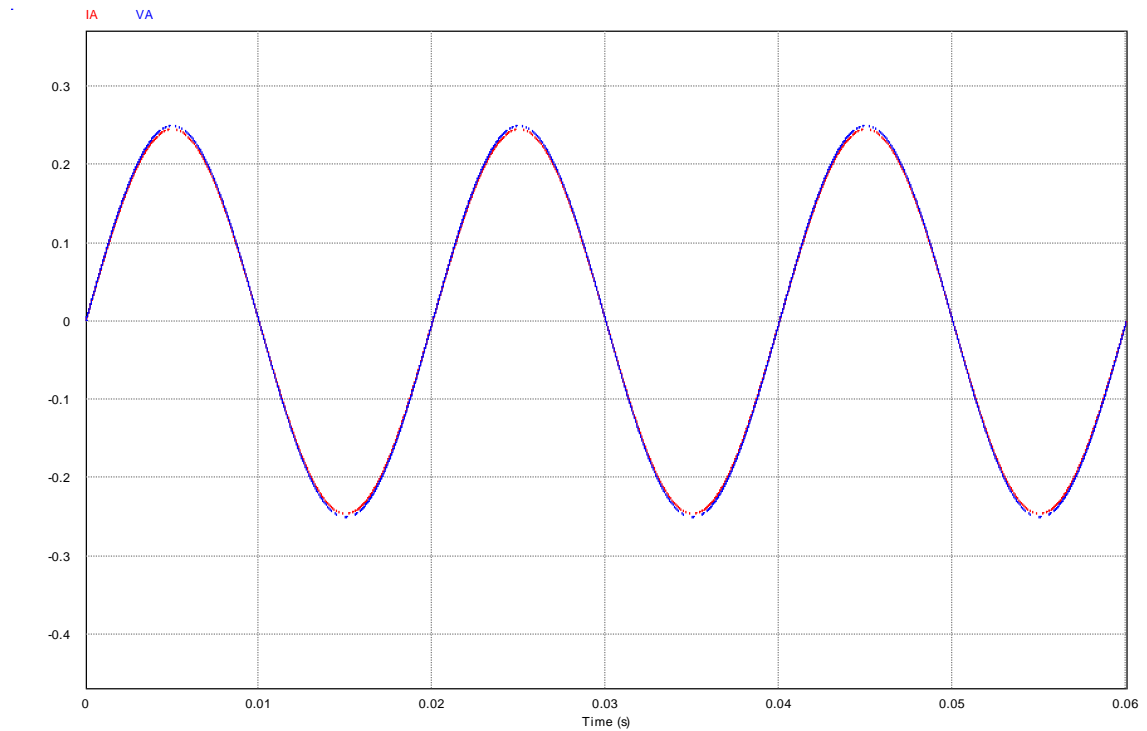
$$R_2 = 1 \text{ k}\Omega \quad (18)$$

Càlculs per la corrent:

$$I_L = \frac{7 \text{ V}}{2,7 \text{ k}\Omega} = 2,6 \text{ mA} \quad (19)$$

$$I_{MAX} = 2,6 \text{ mA} \quad (20)$$

$$\text{Fons d'escala mV} = R_{Shunt} \cdot 2,6 \text{ mA} \rightarrow R_{Shunt} = \frac{177 \text{ mV}}{2,6 \text{ mA}} = 68 \Omega \quad (21)$$



**Figura 23.** Senyals de tensió atenuades a l'entrada del IC.

$IA = 173,71120 \text{ mV}$  de valor eficaç

$VA = 176,77670 \text{ mV}$  de valor eficaç

La Figura 23 assegura que no es sobrepassarà el fons d'escala de 177 mV.

En aquest cas notis que no s'han emprat els valors de calibratge de la Taula 7 perquè al tractar-se de una senyal regulable i de molt baixa potència no caldrà fer un sobre dimensionament per poder registrar possibles pics de tensió. I protegir el circuit integrat.

## 3.2. Càlcul del valor de pols

Com que l'IC no està pensat per fer mesures tan petites de corrent dóna problemes i existeix una tensió mínima per al valor de la variable IMAX. Es soluciona escalant els valors de corrent i voltatge. Mitjançant LabView s'aplica el mateix factor corrector per ajustar fins a la corrent/voltatge real.

Esmentar que també es pot realitzar amb els paràmetres de calibratge interns de la màquina de la Taula 7 però en aquest cas es va optar per fer-ho mitjançant LabView.

El valor de tensió el multiplicarem per 10 i el valor de corrent per 10000 tenint:

$$2,6 \text{ mA} \cdot 10000 = 26 \text{ A} \quad (22)$$

$$7 \text{ V} \cdot 10 = 70 \text{ V} \quad (23)$$

Si agafem la fórmula del Kh ara sí que podem calcular-lo.

$$WRATE = \frac{IMAX \cdot VMAX \cdot 66,1782}{Kh \cdot In_8 \cdot N_{ACC} \cdot X} = \frac{26 \cdot 70 \cdot 66,1782}{2 \cdot 1 \cdot 2520 \cdot 1,5} = 16 \quad (24)$$

Per tant per tenir un pols de 2 Wh s'ha d'escriure al registre WRATE el valor de 16 a més dels valors IMAX i VMAX respectivament. Com es pot veure a la Figura 18.

$IMAX \rightarrow )A = +260$

$VMAX \rightarrow )9 = +700$

$WRATE \rightarrow ]21 = +16$

Per guardar els valors i no tenir que modificar-se cada vegada que s'apaga i es torna a encendre s'han de teclejar les següents ordres, Taula 8.

**Taula 8.** Ordres per guardar les dades a la memòria.

>CE0	Apaga el CE
>]U	Guarda els valors
>CE1	Encén el CE

### 3.3. Crida de registres, adquisició de dades

Per accedir als valors que calcula el xip s'ha de cridar el registre apropiat. Un registre es una direcció física de la memòria RAM o XRAM del circuit integrat.

Al primer programa que es va realitzar es buscava poder representar gràficament en temps real els valors de corrent, voltatge i potència instantània. Perquè les dades d'energia acumulada son variables no volàtils que només s'han de consultar i no necessiten cap tractament, mentre que les dades instantànies si. Les direccions del registre (memòria) per al corrent i voltatge instantanis son les de la Taula 9 següent.

**Taula 9.** Direccions a la memòria.

Adreça al CE	Nom	Tipus de dada
0x8F	<i>I0SQSUM_X</i>	Suma de les mostres de corrent al quadrat de cada element
0x93	<i>V0SQSUM_X</i>	Suma de les mostres de tensió al quadrat de cada element

Aquest registres prenen uns valors que per saber-los s'han d'utilitzar les fórmules (24) i (25) del apartat 3.2.3, Variables de transferència, que recordem a continuació:

$$I_{X_{RMS}} = \frac{I_{xSQSUM} \cdot LSB \cdot 3600 \cdot F_s}{N_{ACC}}; \text{ essent } LSB = 9,4045 \cdot 10^{-13} \cdot \frac{I_{MAX}^2}{I_{n\_8^2}} A^2h \quad (25)$$

$$V_{X_{RMS}} = \frac{V_{xSQSUM} \cdot LSB \cdot 3600 \cdot F_s}{N_{ACC}}; \text{ essent } LSB = 9,4045 \cdot 10^{-13} \cdot V_{MAX}^2 V^2h \quad (26)$$

El procediment en ambdós casos es similar. Per exemple per calcular la corrent en RMS s'hauria de fer el següent. Sabem:

$F_S$	2520,62 Hz
$N_{ACC}$	2520
$I0SQSUM\_X$	4263657
$ln\_8$	1
$V_{MAX}$	70 V
$I_{MAX}$	26 A

On  $I0SQSUM\_X$  és el valor del registre  $0x8F$  de la memòria consultat en un instant.

Primer s'ha de calcular el LSB amb l'equació (27) i seguidament apliquem la fórmula (25) anterior per obtenir el resultat (28).

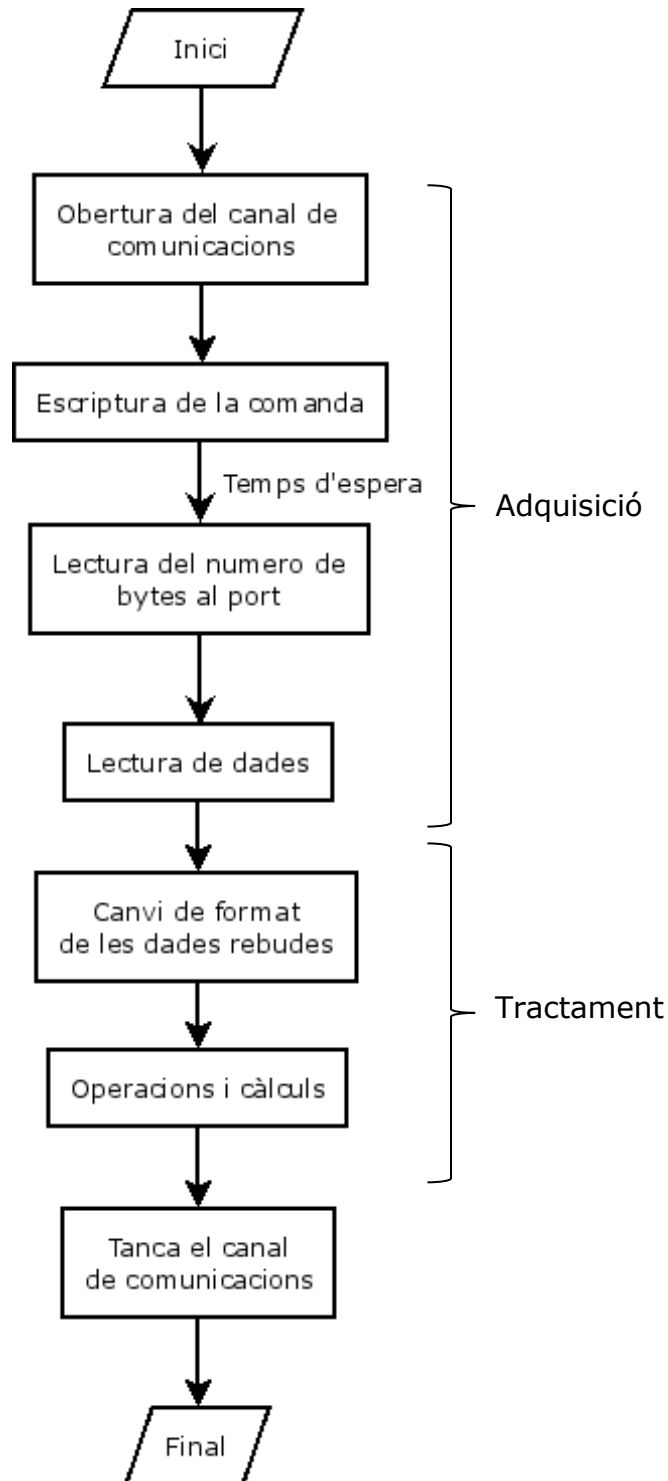
$$LSB = 9,4045 \cdot 10^{-13} \cdot \frac{I_{MAX}^2}{ln\_8^2} = 9,4045 \cdot 10^{-13} \cdot \frac{70^2}{1^2} = 6,35744 \cdot 10^{-10} A^2h \quad (27)$$

$$I_{X_{RMS}} = \frac{I_{X_{SQSUM}} \cdot LSB \cdot 3600 \cdot F_S}{N_{ACC}} = \frac{4263657 \cdot 6,35744 \cdot 10^{-10} \cdot 3600 \cdot 2520,62}{2520} = 3,1241 A \quad (28)$$

En el cas del voltatge el procediment es igual però emprant les fórmules de tensió.

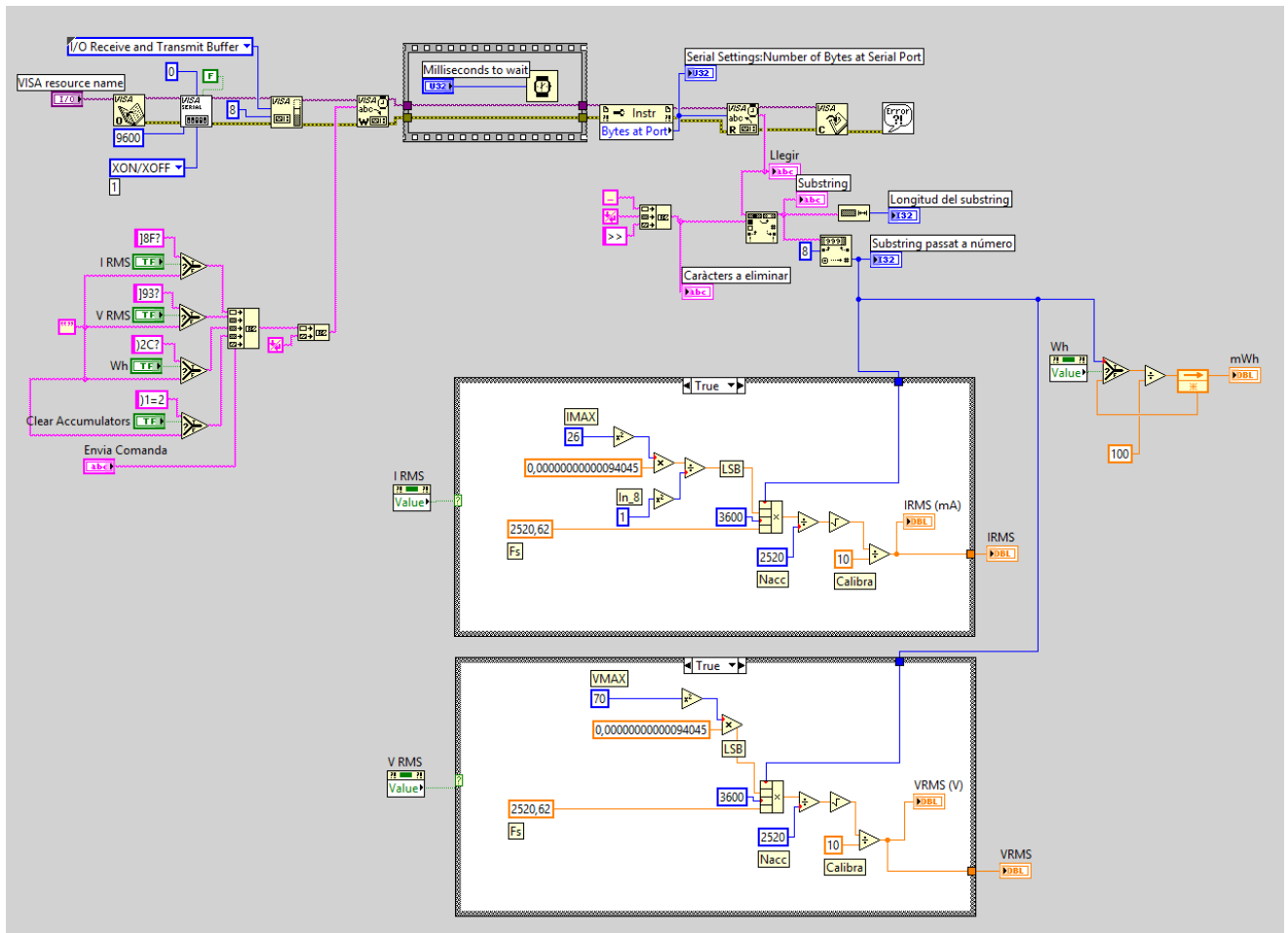
### 3.4. Adquisició i tractament de dades en LabView

Per a agilitzar tot el procés d'adquisició de dades i càlculs s'ha fet un programa senzill en LabView. Que segueix el diagrama de flux següent:



**Figura 24.** Diagrama de flux del programa en LabView.



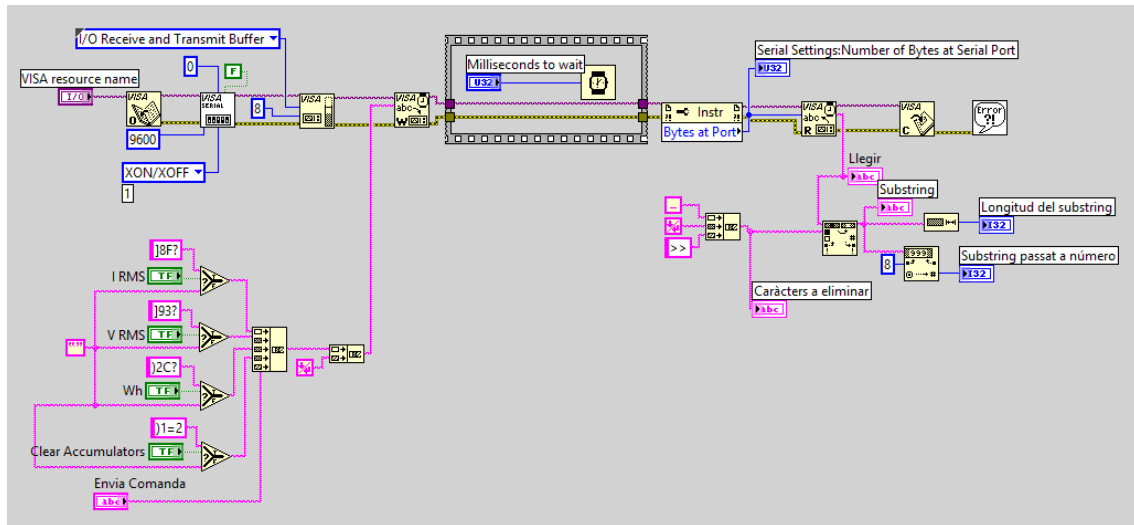


**Figura 25.** Programa en LabView per al càlcul de corrent i voltatge.

En la figura anterior es veu tot el diagrama de blocs que conforma el programa en LabView descrit en la figura de la pàgina anterior.

Per entendre'l –el diagrama de blocs– el dividim en dues parts: adquisició de dades mitjançant el canal de comunicacions RS232 i el tractament d'aquestes.

### 3.4.1. Adquisició de dades



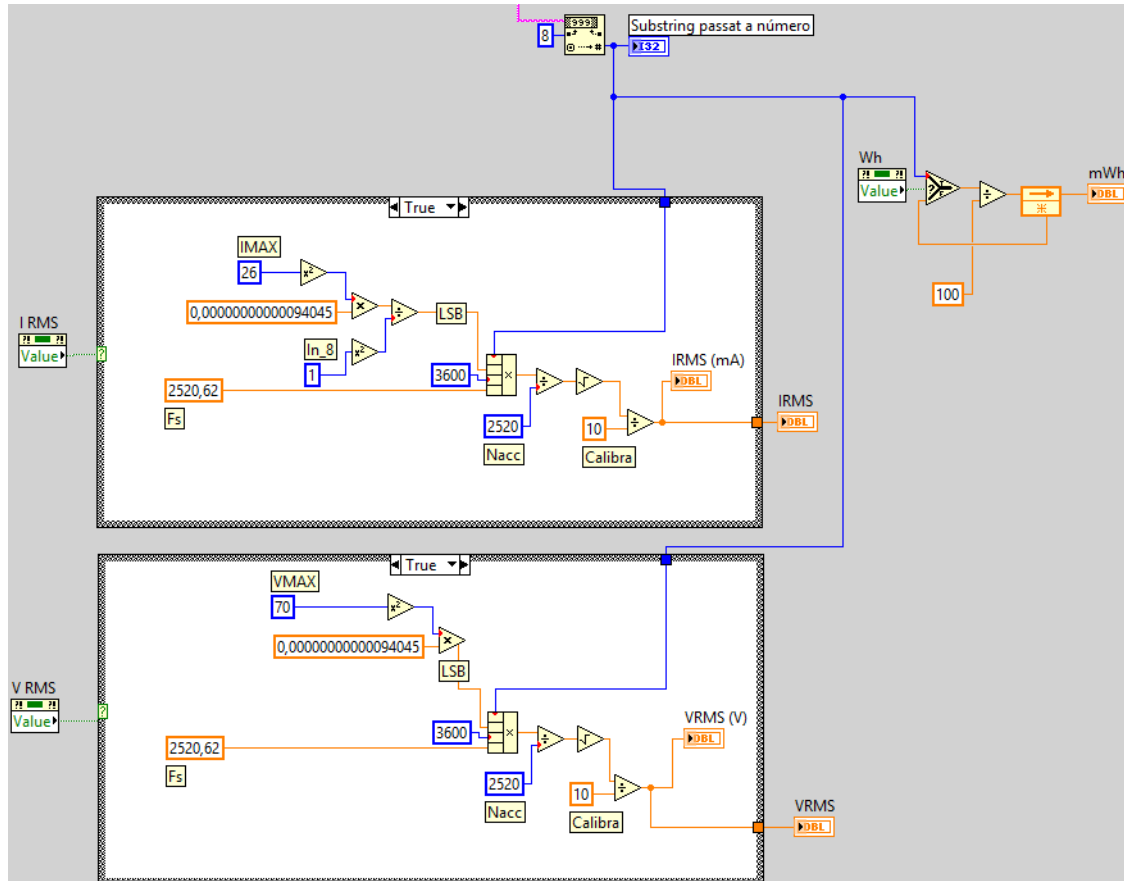
**Figura 26.** Diagrama de blocs de comunicacions.

El primer que es fa es obrir el canal de comunicacions mitjançant un VISA al port COM que es necessiti i es configura. Posteriorment s'escriu al buffer del port RS232 la comanda del registre de la memòria de l'IC que es vulgui consultar i s'espera un temps mort perquè viatgin les dades. Passat el temps d'espera llegim la nova informació que ha arribat al port i la convertim a dada de tipus enter per tal de realitzar les operacions de corrent i potència instantània com s'ha vist anteriorment.

Una vegada podem començar operar amb les dades entrem a l'etapa de càlculs i tractament de la informació.

### 3.4.2. Tractament de dades

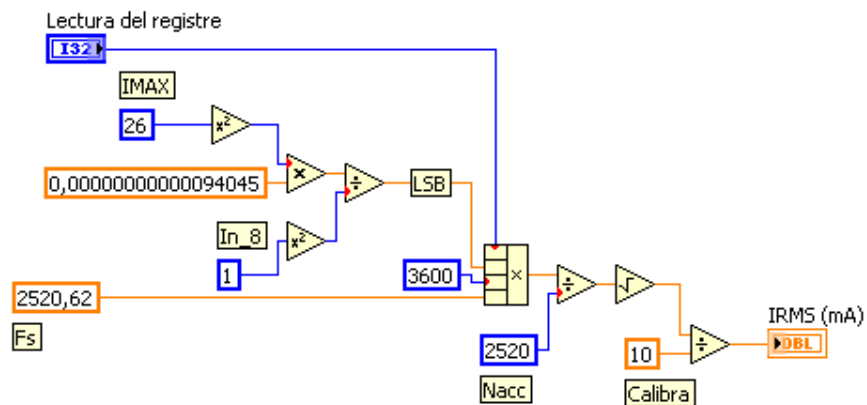
En aquest cas es senzill ja que només es realitza un càlcul a la vegada: de corrent, voltatge o consulta el valor de l'energia acumulada que es troba en el registre )2C? de la memòria flash del circuit integrat.



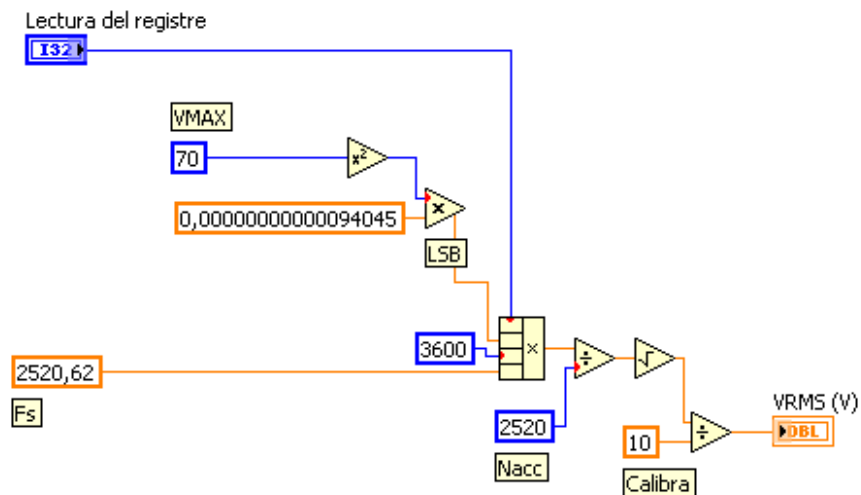
**Figura 27.** Part del programa de tractament i càlcul de dades.

En les figures de la pàgina següent es pot apreciar com es realitzen en les operacions i càlculs automàticament tot i també que s'han fet a mà.

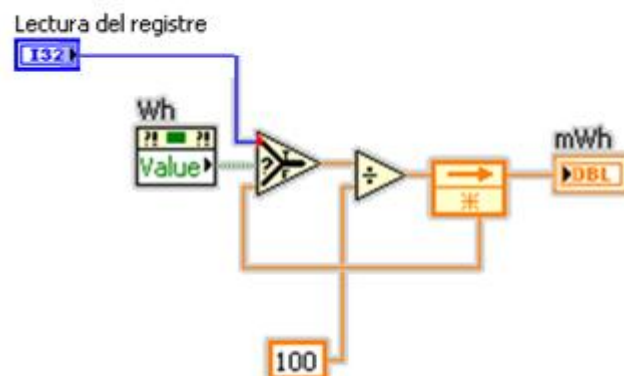
Si mirem amb detall tenim les tres operacions que són:



**Figura 28.** Càlcul de la corrent en RMS.



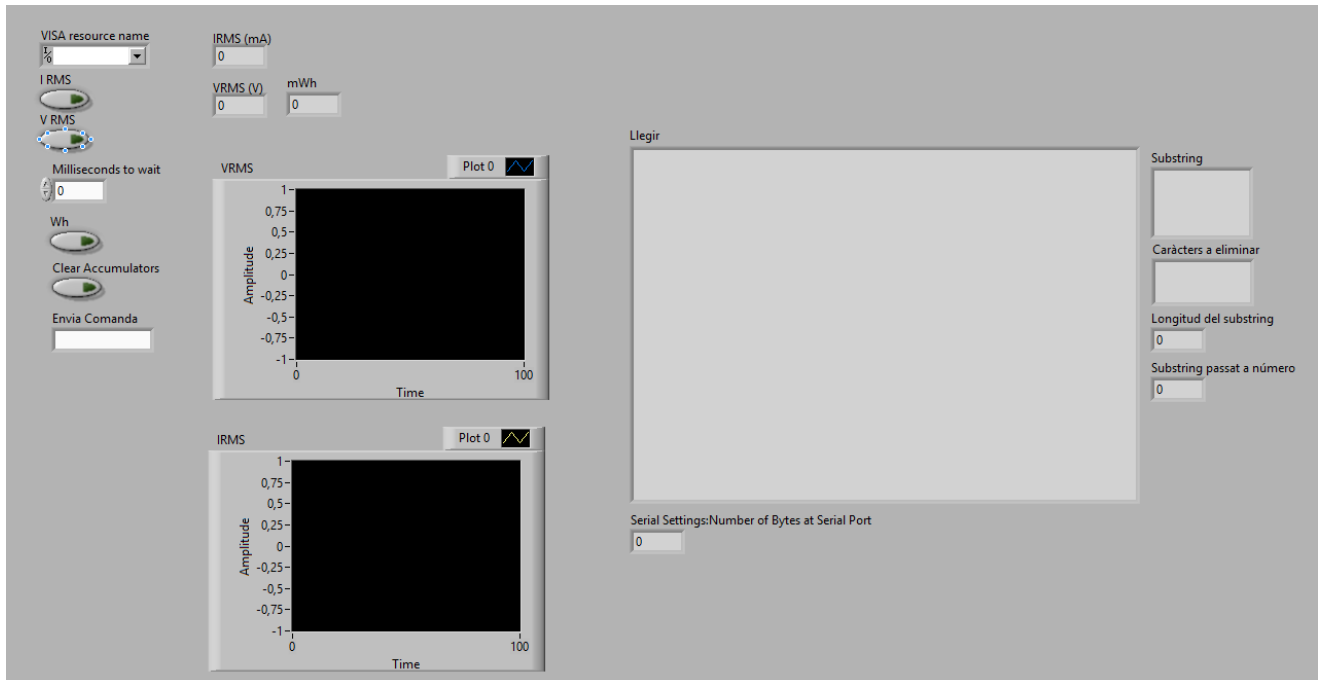
**Figura 29.** Càlcul del voltatge en RMS.



**Figura 30.** Consulta del valor de l'energia consumida acumulada.

El panell frontal es la interfície gràfica que fa de *front-end* amb l'usuari. Es mostren totes les dades que utilitza el programa y es té el control. Figura 31.

S' aprecia que genera unes gràfiques de la corrent i voltatge a més de consultar els valors.

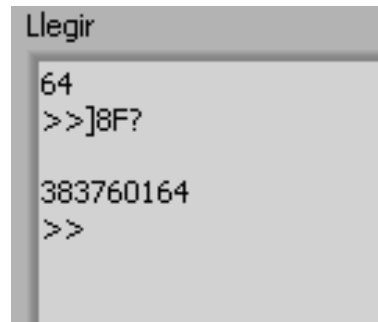


**Figura 31.** Panell frontal.

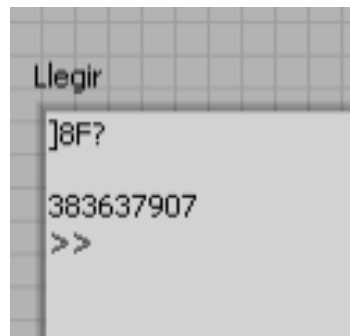
### 3.5. Limitacions del programa

A nivell de comunicacions la restricció d'aquest programa es troba a l'hora de consultar dades simultàniament perquè el temps d'espera redueix la velocitat d'enllaç i causa problemes al buffer del port com es pot veure a la Figura 32.

Al baixar el temps d'espera fins als 200 ms comença a solapar la informació que rep i que envia l'ordinador produint errades a l'hora de llegir el port.



**Figura 32.** Errades al buffer de lectura.



**Figura 33.** Buffer de lectura correcte.

A més de falten moltes opcions que pot realitzar l'IC com: el factor de potència, l'energia reactiva acumulada, la freqüència del sistema, etc. Per tant el programa final diferirà bastant sobre el que s'ha presentat fins ara.

Els valors que mostra el *meter* no estan ajustats perquè es fa amb LabView, cosa que inutilitza les lectures directes des del LCD només essent correctes les dades mostrades al panell frontal del programa.

La part del circuit és simple i la tensió varia a la mateixa vegada que la corrent. A la xarxa elèctrica hi ha un valor de tensió constant i el que varia es la càrrega (corrent). Per tant s'ha de fer un circuit amb aquesta possibilitat.

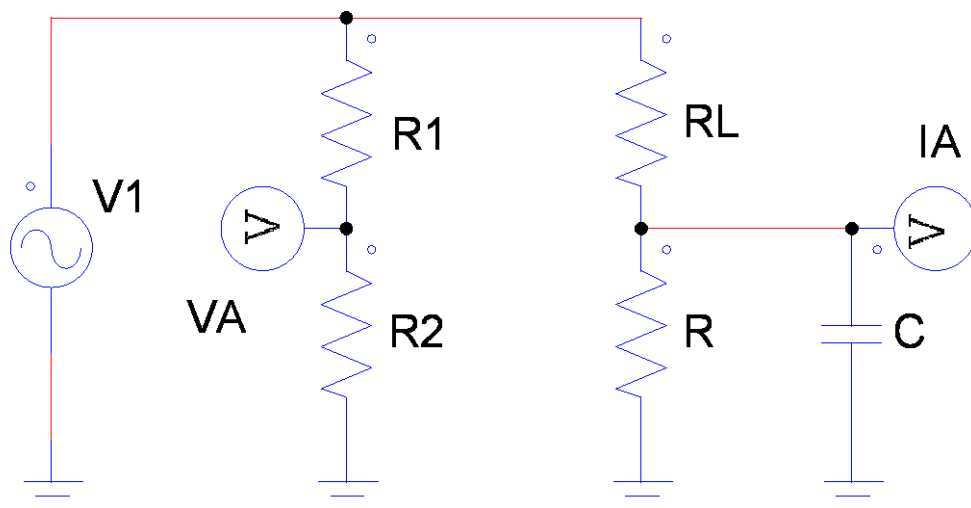
El realitzat fins ara serveix per conèixer el funcionament de la màquina i poder fer un programa nou amb totes les opcions possibles.

# CAPÍTOL 4:

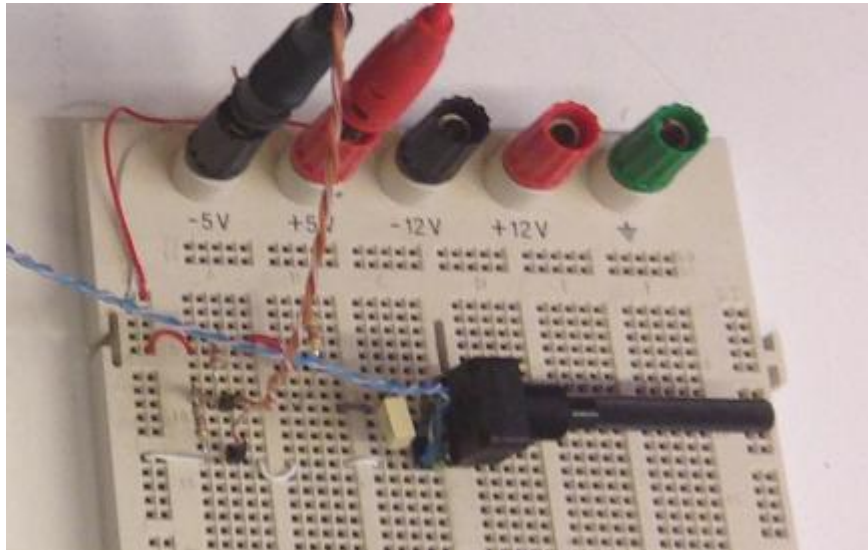
## PROGRAMA FINAL EN

## LABVIEW

El segon circuit (Figura 34) que es montà té la possibilitat de desfasar el senyal de corrent respecte el de la tensió i la capacitat de variar la corrent per tal d'actuar com a càrrega variable. La senyal segueix sent sinusoidal de 7 V de valor eficaç (10 V de pic).



**Figura 34.** Circuit amb càrrega variable i desfasament del senyal per verificar el programa (I).



**Figura 35.** Circuit amb càrrega variable i desfasament del senya per verificar el programa (II).

El factor de pols, la corrent màxima, tensió màxima i els valors d'ajust al LabView es mantenen com a l'apartat anterior ja que interessa fer un programa sòlid i que sigui la base per a realitzar qualsevol tipus de modificació.

$$2,6 \text{ mA} \cdot 10000 = 26 \text{ A} \quad (29)$$

$$7 \text{ V} \cdot 10 = 70 \text{ V} \quad (30)$$

$$Kh = 2 \quad (31)$$

Els components que s'inclouen són un condensador per al desfasament i un potenciòmetre de 10 k $\Omega$  que actua de càrrega variable.

## 4.1. Dimensionament del circuit

Sempre es realitza d'acord amb el fons d'escala de 177 mV de valor eficaç.

Càlculs per al voltatge:

$$V_{MAX} = 7 V_{RMS} \quad (32)$$

$$R_R = \frac{V_{MAX}}{\text{Fons d'escala (V)}} = \frac{7 \text{ V}}{0,177 \text{ V}} = 39,548 \quad (33)$$

$$R_1 = R_R \cdot R_2 = 39,548 \cdot 1 \text{ k}\Omega \approx 39 \text{ k}\Omega \quad (34)$$

$$R_2 = 1 \text{ k}\Omega \quad (35)$$



Càlculs per la corrent:

$$\frac{177 \text{ mV}}{0 \text{ V}} \rightarrow 177 \text{ mV} = 7 \text{ V} \cdot \frac{R}{10 \text{ k}\Omega + R} \quad (36)$$

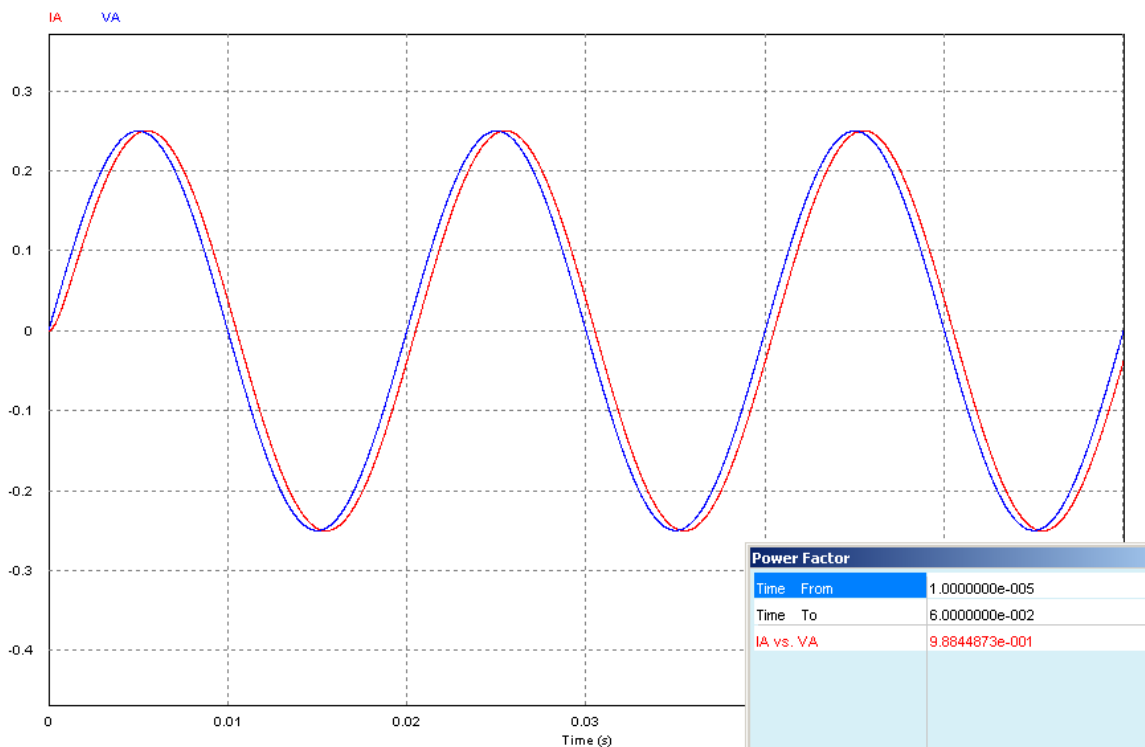
$$\frac{177 \text{ mV}}{7 \text{ V}} \cdot (10 \text{ k}\Omega + R) = R \quad (37)$$

$$\frac{0,177 \text{ V}}{7 \text{ V}} \cdot 10 \text{ k}\Omega = R - R \cdot \frac{0,177 \text{ V}}{7 \text{ V}} \quad (38)$$

$$\frac{0,177 \text{ V}}{7 \text{ V}} \cdot 10 \text{ k}\Omega = R \left( 1 - \frac{0,177 \text{ V}}{7 \text{ V}} \right) \quad (39)$$

$$R = \frac{\frac{0,177 \text{ V}}{7 \text{ V}} \cdot 10 \text{ k}\Omega}{1 - \frac{0,177 \text{ V}}{7 \text{ V}}} = 260 \Omega \quad (40)$$

El condensador que hem posat desfasa el senyal lleugerament com es pot apreciar a la Figura 36. Es el resultat de la simulació mitjançant PSIM.



**Figura 36.** Desfasament (I) teòric.

Notis que tampoc s'han emprat els valors de calibratge de la Taula 7 perquè al tractar-se de una senyal regulable i de molt baixa potència no caldrà fer un sobre dimensionament per poder registrar possibles pics de tensió. I protegir el circuit integrat.



**Figura 37.** Desfasament real (II).

Segons les dades teòriques el condensador de la Figura 34 desfasa la senyal tenint un factor de potència de 0,988. En la figura anterior s'aprecia el mateix número a la pantalla LCD del *meter* que verifica que l'operació la realitza correctament.

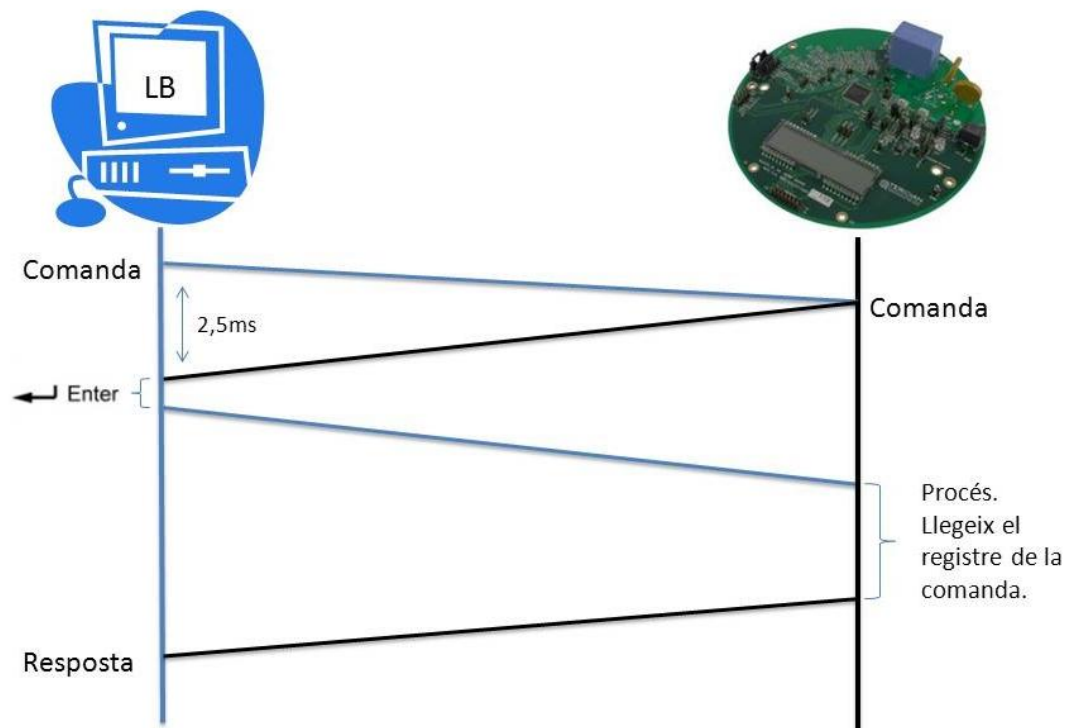
El número 11 del davant fa referència a que es troba en el mode de factor de potència que es descriu en la Figura 7.

## 4.2. Comunicacions

El principi de funcionament alhora de transmetre les dades és el mateix que s'ha emprat anteriorment. Mitjançant la crida de registres es va accedint a la memòria del IC per consultar una a una les dades que es necessitin.

L'interès, ara, passa per fer un programa que sigui capaç de funcionar a màxima velocitat de transferència de dades. Tenint en compte les especificacions del hardware i la velocitat d'enllaç que era de 9600 bauds per segon.

Per fer-ho s'ha fet un programa en LabView capaç de filtrar les dades errònies que puguin aparèixer al bus a causa de l'alta velocitat i només quedar-se amb les que interessin.



**Figura 38.** Datagrama.

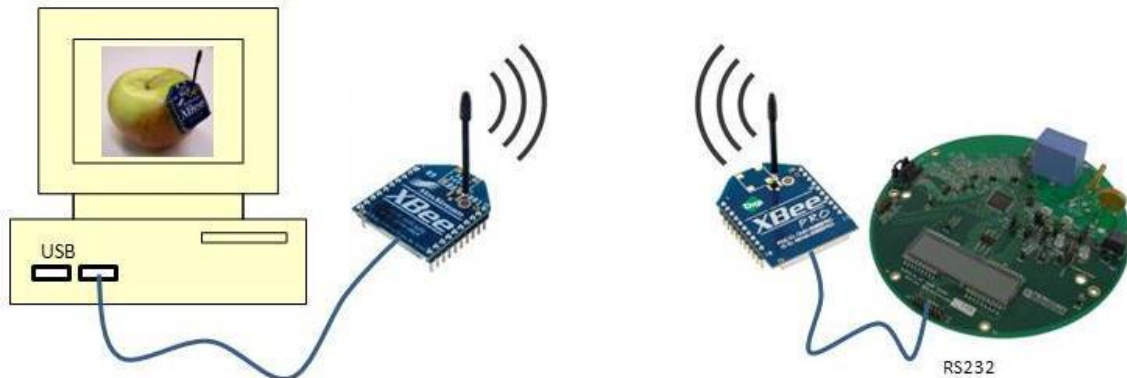
El funcionament de les comunicacions amb el *meter* funciona seguint el datagrama de la Figura 38. Mentre l'usuari escriu la comanda aquesta es transmet i torna ràpidament.

1. Es comprova que el que s'ha escrit concorda amb el que l'usuari té a la pantalla. Si es així es passa al pas 3. Sino es torna a començar. És la capçalera del programa.
2. S'espera l'execució mitjançant la tecla *enter*.
3. Lectura del registre.
4. Resposta.

#### 4.2.1. Aïllament

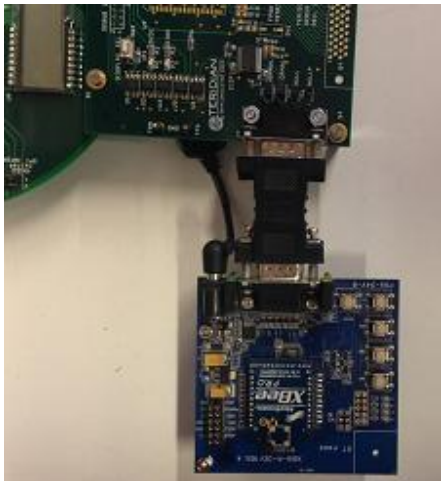
Per aïllar l'ordinador de la xarxa elèctrica i protegir-lo de sobretensions i fluctuacions a la xarxa elèctrica s'ha optat per usar radiofreqüència mitjançant uns mòduls Xbee de Digi.

Un extrem es connecta a l'ordinador mitjançant un port USB 2.0 i l'altre extrem es connecta al *smart meter* mitjançant el port RS232. Simplement s'ha canviat el medi per el qual viatgen les dades.



**Figura 39.** Esquema de connexió amb radiofreqüència i mòduls Xbee.

L'avantatge d'aquest sistema és que és *plug'n'play*. Només s'ha comprovat el funcionament amb un eco i després s'ha muntat com a la Figura 39.



**Figura 40.** Extrem connectat al meter.



**Figura 41.** Extrem connectat per USB amb l'ordinador.

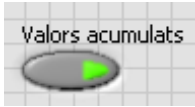

### 4.3. Funcionament del programa en LabView

L'objectiu ara es tenir un programa complet que estigui preparat per a fer mesures en la xarxa elèctrica. S'ha programat de nou el sistema d'adquisició de dades per accelerar el processament i tractament de la informació via LabView. El primer que es troba l'usuari és el panell frontal de la Figura 42. Es pot apreciar en les caselles superiors tots els paràmetres d'energia:

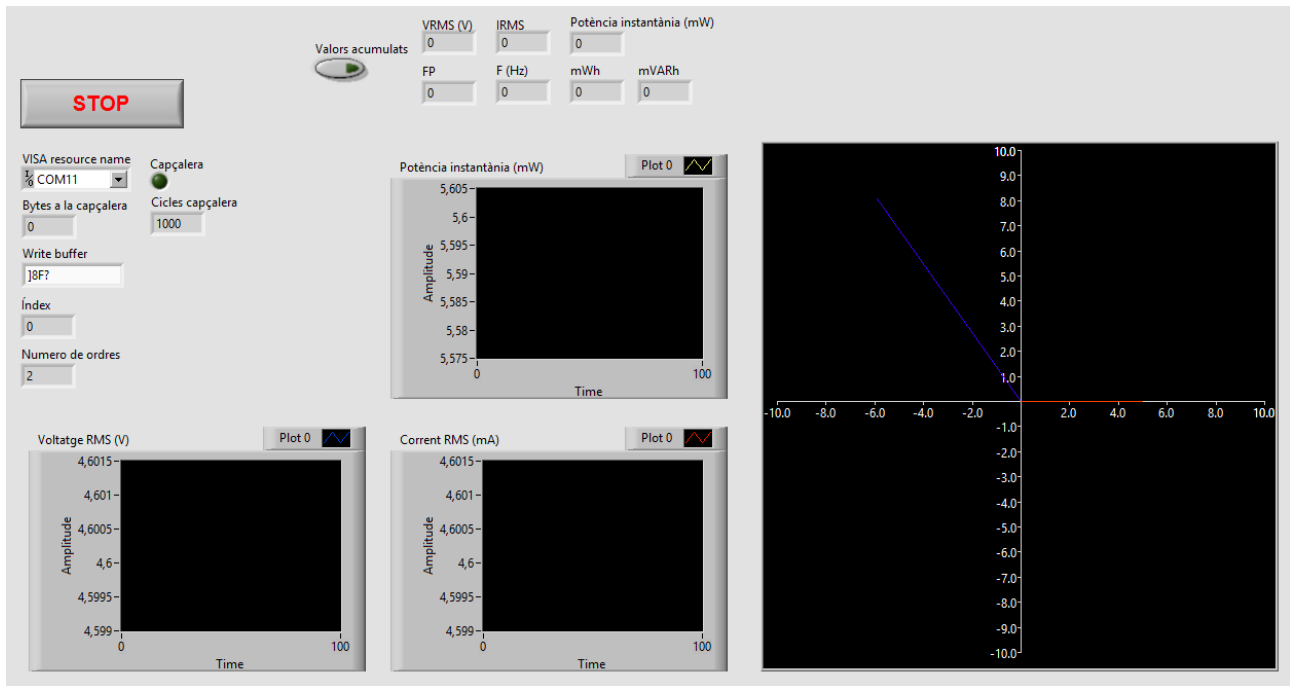
- Voltatge a temps real en valor eficaç.
- Corrent a temps real en valor eficaç.
- Potència instantània.
- Factor de potència.
- Freqüència.
- mWh acumulats al llarg del temps.
- mVARh acumulats al llarg del temps.

A més de comptar amb un diagrama de fasors i tres gràfiques en temps real de la potència instantània, corrent i tensió.

**Taula 10.** Modes d'operació.

Modes de funcionament	Operacions
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltatge a temps real en valor eficaç.</li> <li>- Corrent a temps real en valor eficaç.</li> <li>- Potència instantània.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltatge a temps real en valor eficaç.</li> <li>- Corrent a temps real en valor eficaç.</li> <li>- Potència instantània.</li> <li>- Factor de potència.</li> <li>- Freqüència.</li> <li>- mWh acumulats al llarg del temps.</li> <li>- mVARh acumulats al llarg del temps.</li> </ul>

La icona de valors acumulats, ens permet canviar entre dos modes de funcionament segons els nostres interessos. Un mode pensat per adquirir la corrent, tensió i potència instantània el més ràpid possible, quan esta apagat el led. I un segon mode pensat per adquirir, a més dels valors instantanis, els demès paràmetres d'energia esmentats i el diagrama de fasors. Com a contrapartida l'adquisició de dades de corrent i tensió serà una mica més lent.

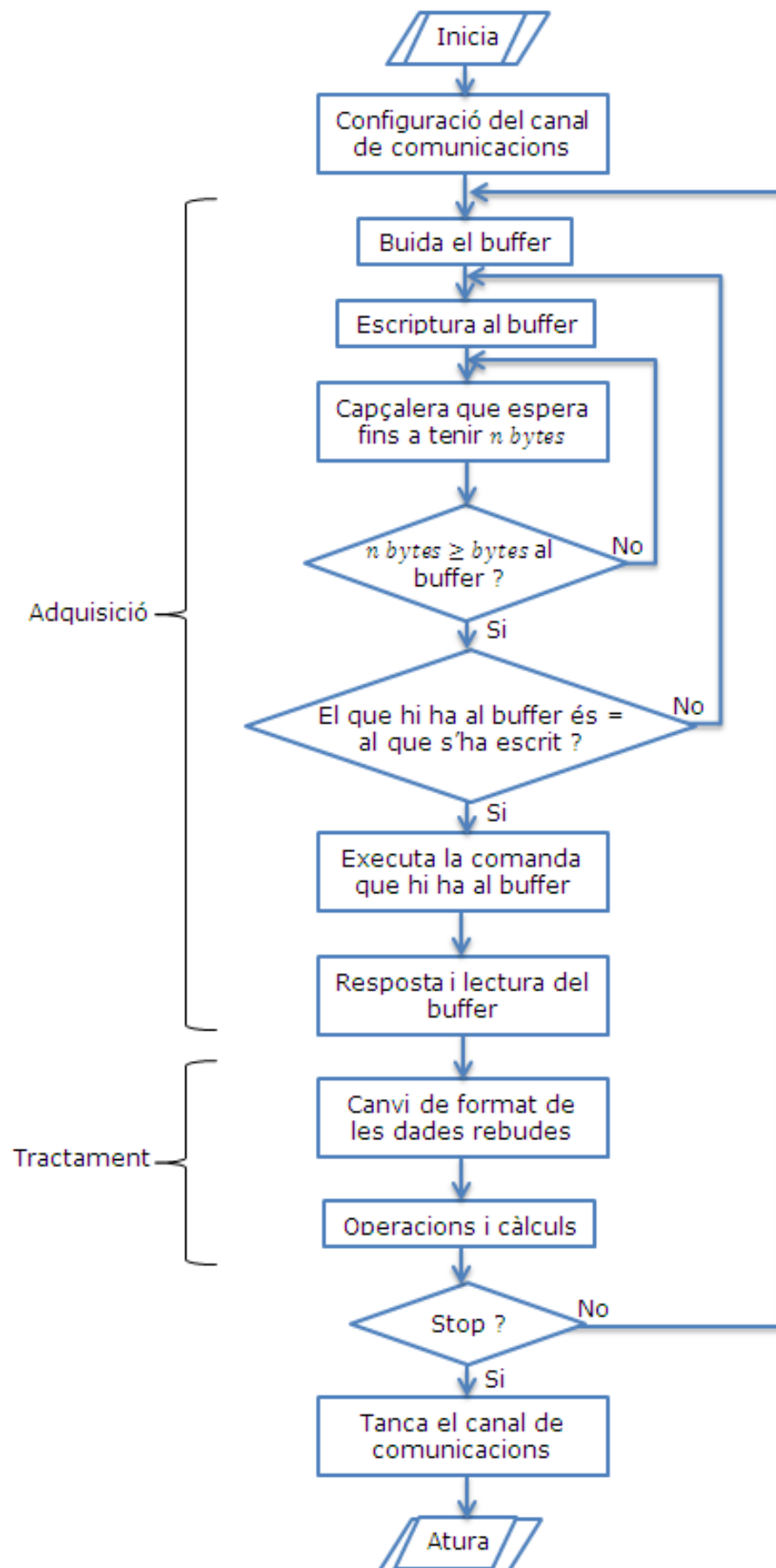


**Figura 42.** Panell frontal.

El panell frontal es la interfície gràfica que fa de *front-end* amb l'usuari. Es mostren totes les dades que utilitza el programa y es té el control.

#### 4.3.1. Diagrama de flux del programa

Per esquematitzar el funcionament s'ha fet un diagrama de flux dels passos que realitza el programa que es mostra a la pàgina següent.



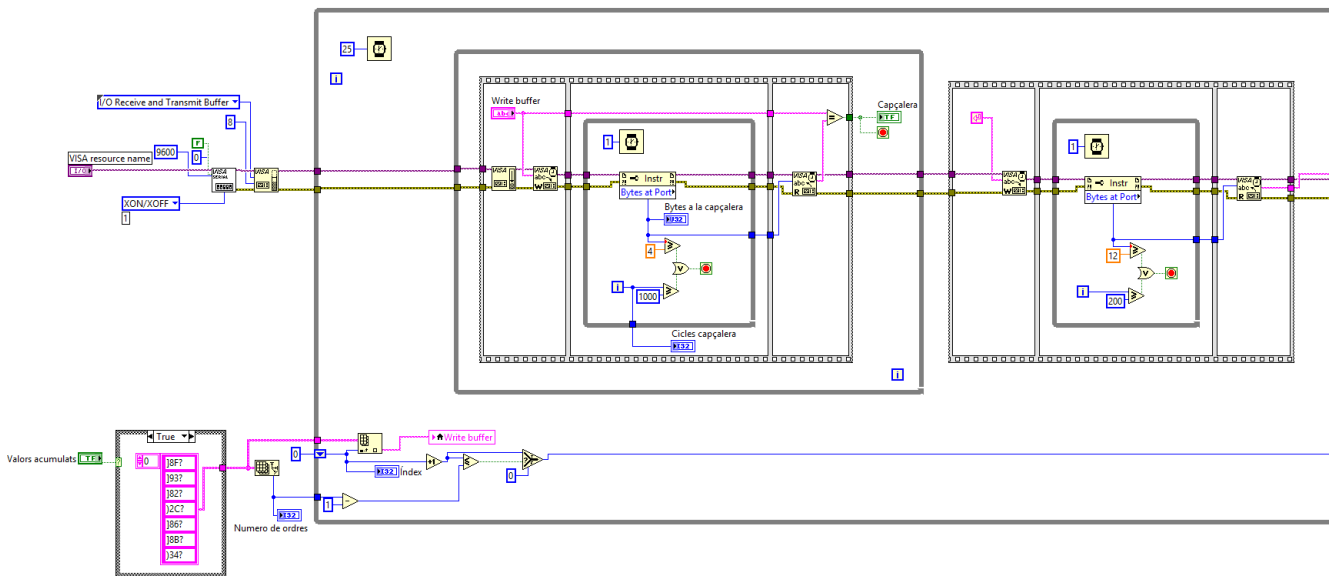
**Figura 43.** Diagrama de flux del programa definitiu.

## 4.4. Diagrama de blocs, estructura del programa

L'estructura del programa esta formada per dos parts. Una part d'adquisició de dades i de comunicacions amb el *meter* i una segona part de tractament de dades on es realitzen els càlculs necessaris.

### 4.4.1. Adquisició de dades

La primera operació és obrir i configurar el canal de comunicacions RS232. Com es pot apreciar a dalt a l'esquerra de la Figura 44.



**Figura 44.** Adquisició de dades.

Per comunicar-se amb el *meter* s'ha vist que es necessari conèixer on es troben les dades a la memòria del mateix. És a dir es necessita saber la direcció de cada registre en particular.

En aquesta aplicació els registres que es consulten són els que s'aprecien a la Taula 11, d'acord amb els modes d'operació abans esmentats a la Taula 10.

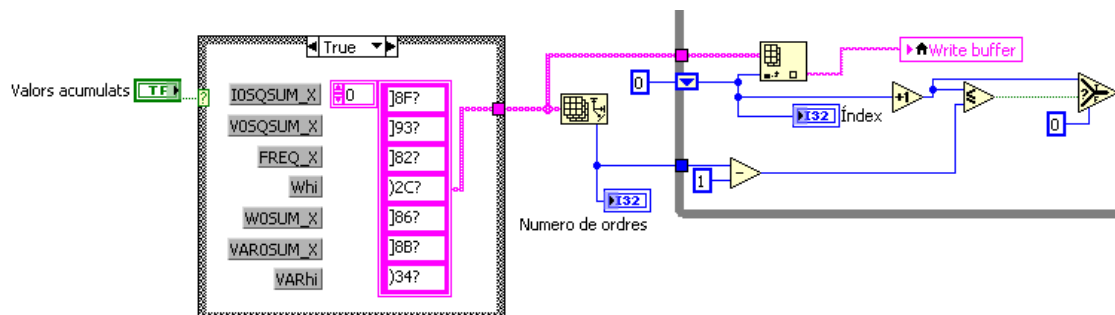


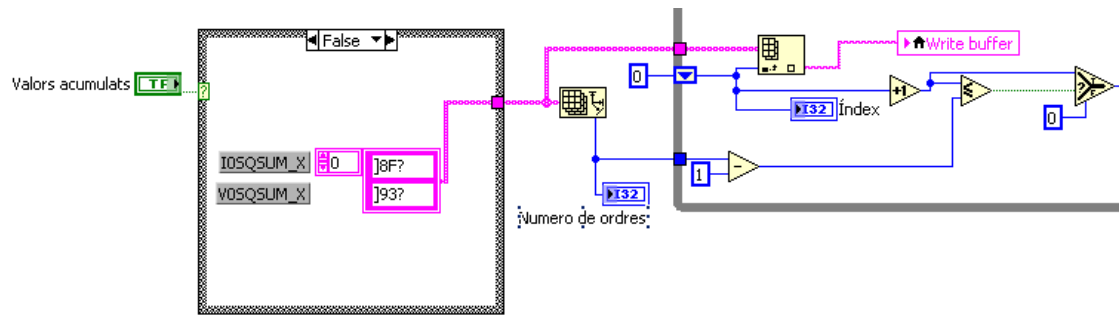
**Taula 11.** Direccions del registre que es consultaran.

Adreça al CE	Nom	Tipus de dada	Índex LabView
0x8F	<i>IOSQSUM_X</i>	Suma de les mostres de corrent al quadrat de cada element	1
0x93	<i>VOSQSUM_X</i>	Suma de les mostres de tensió al quadrat de cada element	2
0x82	<i>FREQ_X</i>	Freqüència fonamental	3
0x2C	<i>Whi</i>	Watts hora total consumits	4
0x86	<i>WOSUM_X</i>	Suma de les mostres de Wh de cada batímetre	5
0x8B	<i>VAROSUM_X</i>	Suma de les mostres de VARh de cada batímetre	6
0x34	<i>VARhi</i>	VARs hora total consumits	7

L'eina que va enviant els registres un per un es localitza a la part inferior esquerra. D'acord amb els modes d'operació canviarà entre tots els registres o només els que siguin necessaris.

Per saber que es cada registre s'ha optat per fer una taula indexada essent l'índex l'eina que emprarà la part del processament de dades per fer un tipus de càlcul o un altre.

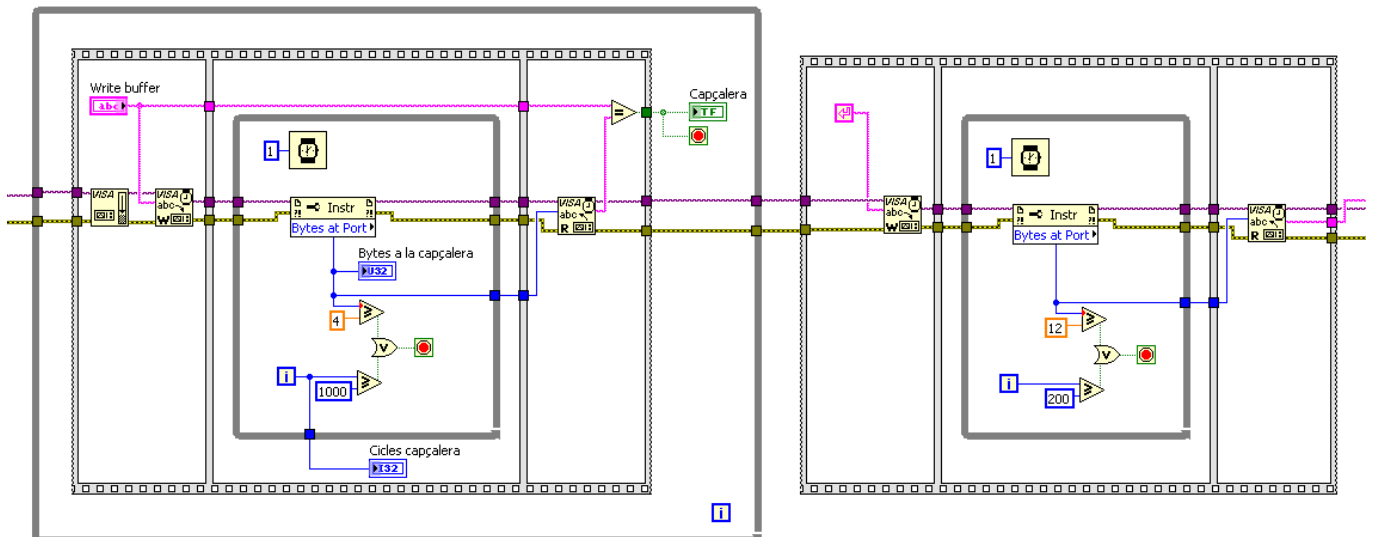
**Figura 45.** Crida de registres on.



**Figura 46.** Crida de registres off.

En les Figura 45 i Figura 46 es veu com afecta el canvi del mode d'operació als registres que envia cap al *meter*.

El següent pas seria aplicar el filtre que s'ha explicat en l'apartat de comunicacions. Es veu il·lustrat en la Figura 38 i aplicat en LabView en la Figura 47.



**Figura 47.** Filtres del programa.

El bloc de l'esquerra s'encarrega de comprovar que el que s'ha escrit concorda amb el que l'usuari té a la pantalla. Se li introdueix el nombre de bytes que s'espera que es rebin i aquest espera fins a tenir-los. Si arriben més o menys no deixa continuar fins que passa la capçalera.

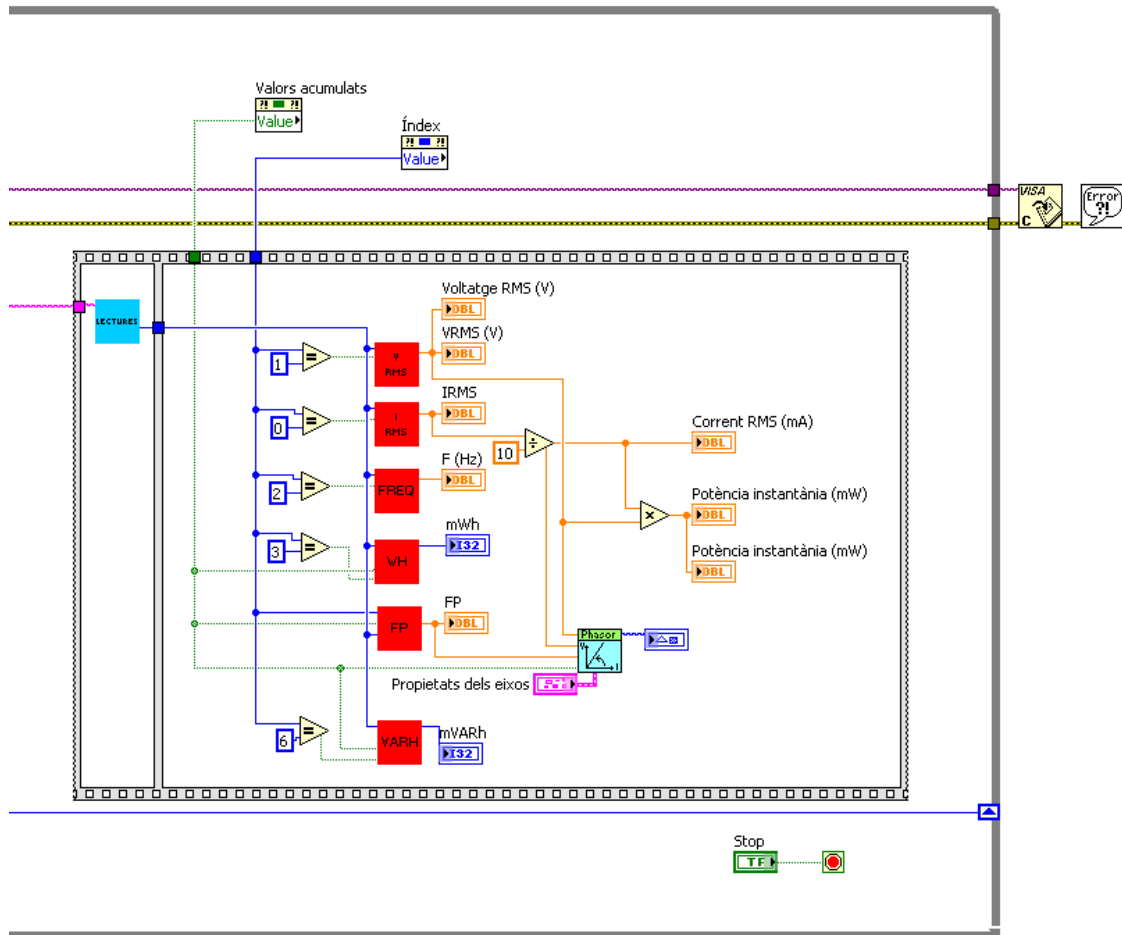
En tot cas si hi ha algun tipus de problema s'ha posat un comptador per si s'encalla el programa. Al superar els 1000 intents surt i es desencalla automàticament.

Finalment, si tot es correcte, passa al bloc de l'esquerra que envia un *intro* i executa l'ordre. Passat aquest punt comença el tractament de dades.

#### 4.4.2. Tractament de dades

La darrera part del programa s'encarrega de llegir la informació nova que va arribant al port i realitzant els càlculs de voltatge, corrent, potència instantània, factor de potència, energia activa acumulada, energia reactiva acumulada i el diagrama de fasors.

En la Figura 48 que es mostra a continuació es pot veure la part restant del programa.

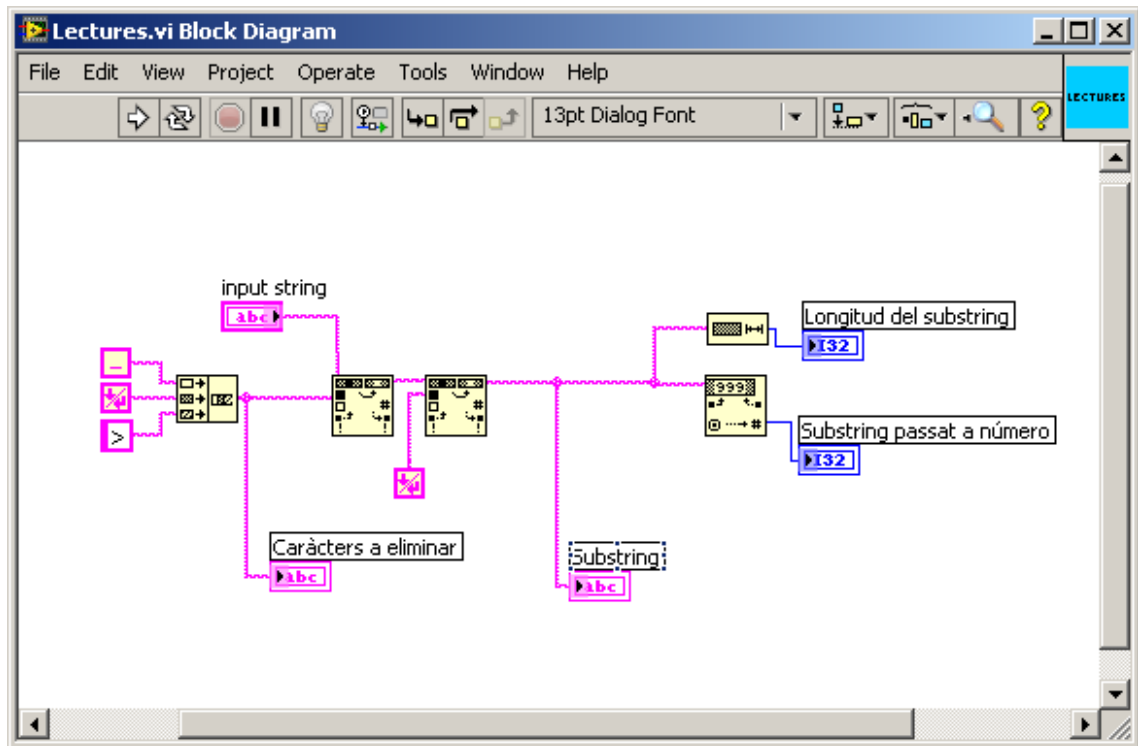


**Figura 48.** Tractament i càlcul de dades.

Cada icona de color vermell es un subprograma del principal encarregat de fer els càlculs que diu el títol de cada casella. En funció l'índex del registre i del mode d'operació les dades es van processant automàticament. Per exemple: quan arriba el registre corresponent al voltatge instantani, que es el segon valor de la taula mostrada en la Figura 45 ocupant l'índex 1, aquest s'envia automàticament cap al càlcul del voltatge.

El primer pas de les dades és la lectura. Es converteixen les dades de tipus *string* en nombres reals per a poder realitzar les operacions necessàries.

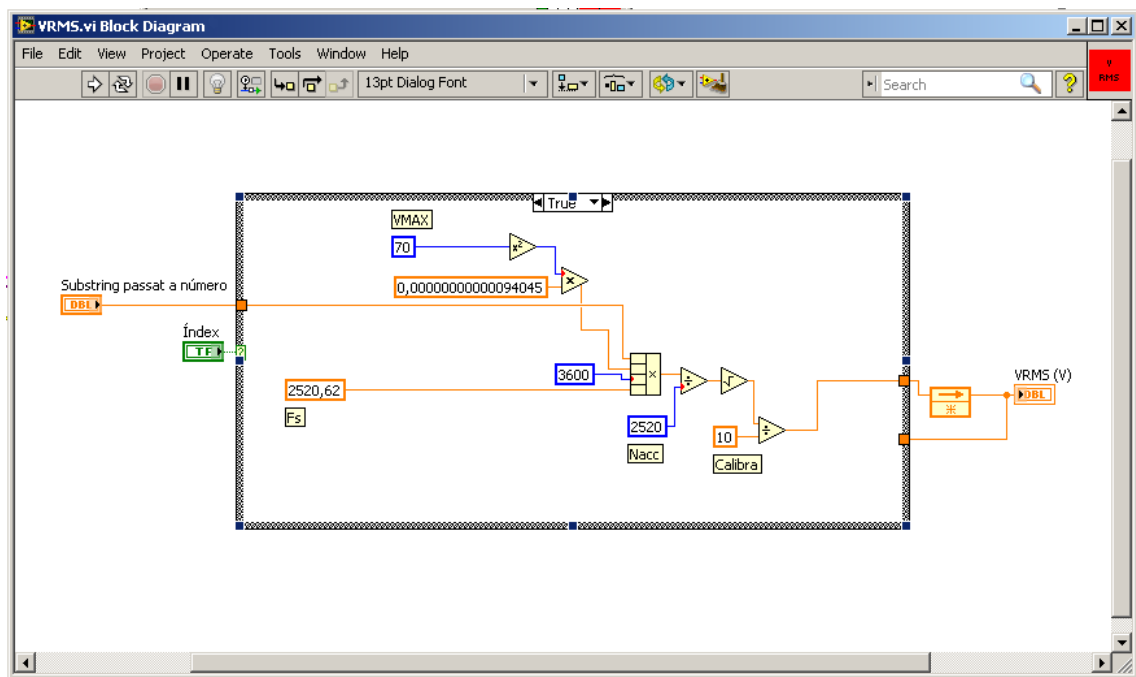
La icona i el programa el veiem a la Figura 49.



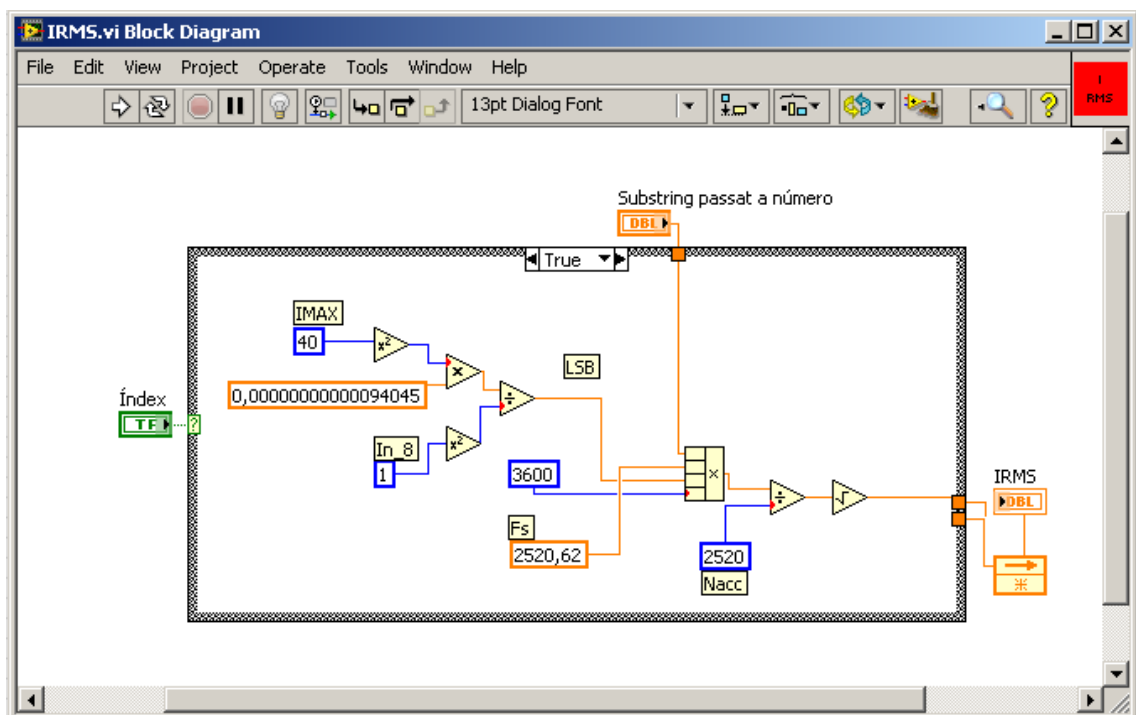
**Figura 49.** Canvi de string a real.

Una vegada tenim les dades en el format que ens interessa podem començar a fer els càlculs. En el cas del voltatge i la corrent es realitza de la mateixa manera que s'ha explicat en les primeres proves. Es consulten els valors al registre i es calculen mitjançant les equacions que proporciona el fabricant. De les taules Taula 2, Taula 3 i Taula 4 i emprant les equacions 9 i 10 de l'apartat 3.2.

A continuació es veuen tots els càlculs que realitza el programa.

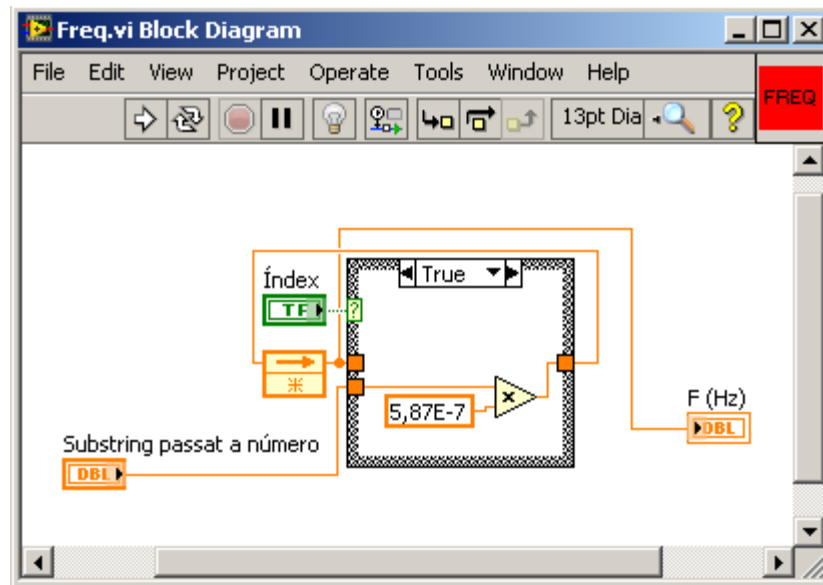


**Figura 50.** Càlcul del voltatge en RMS.



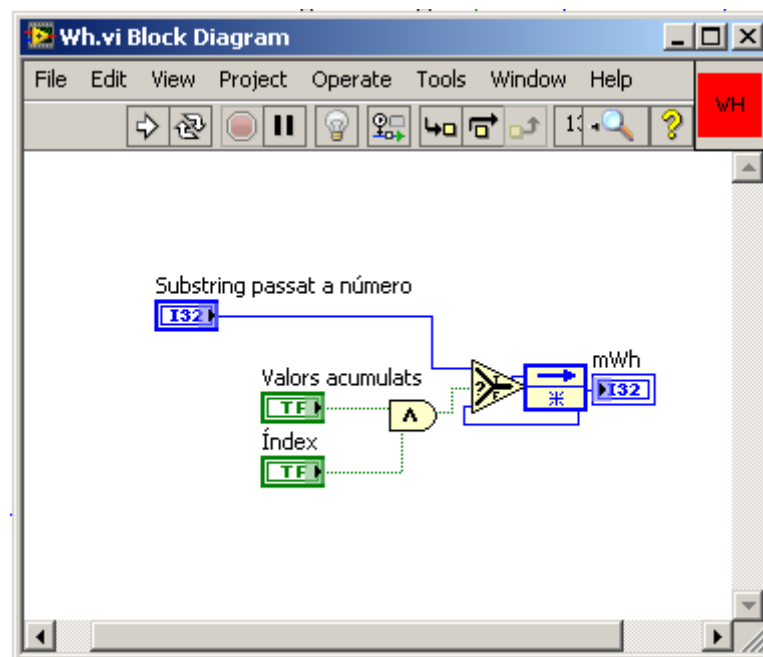
**Figura 51.** Càlcul de la corrent.

Per a la freqüència s'ha d'emprar el que es veu a la Taula 5.

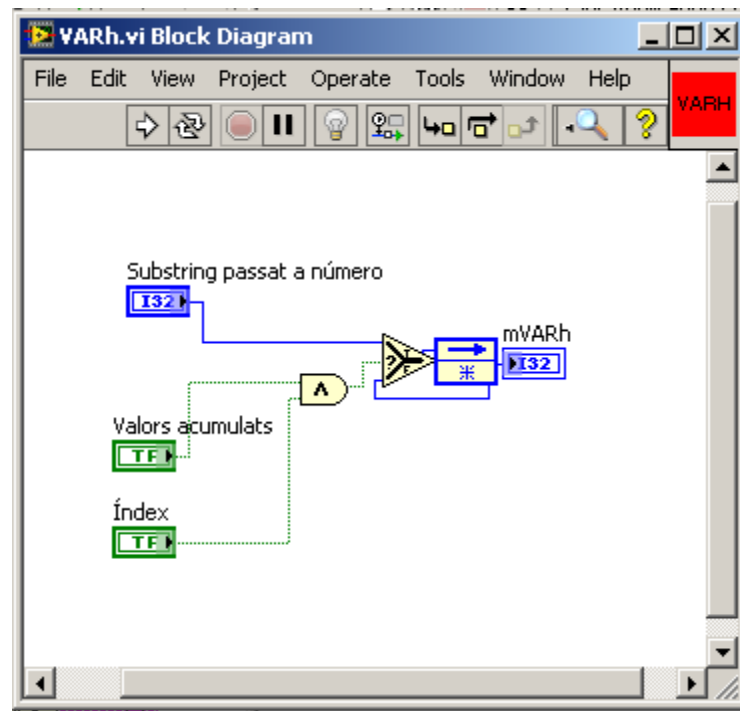


**Figura 52.** Càlcul de la freqüència.

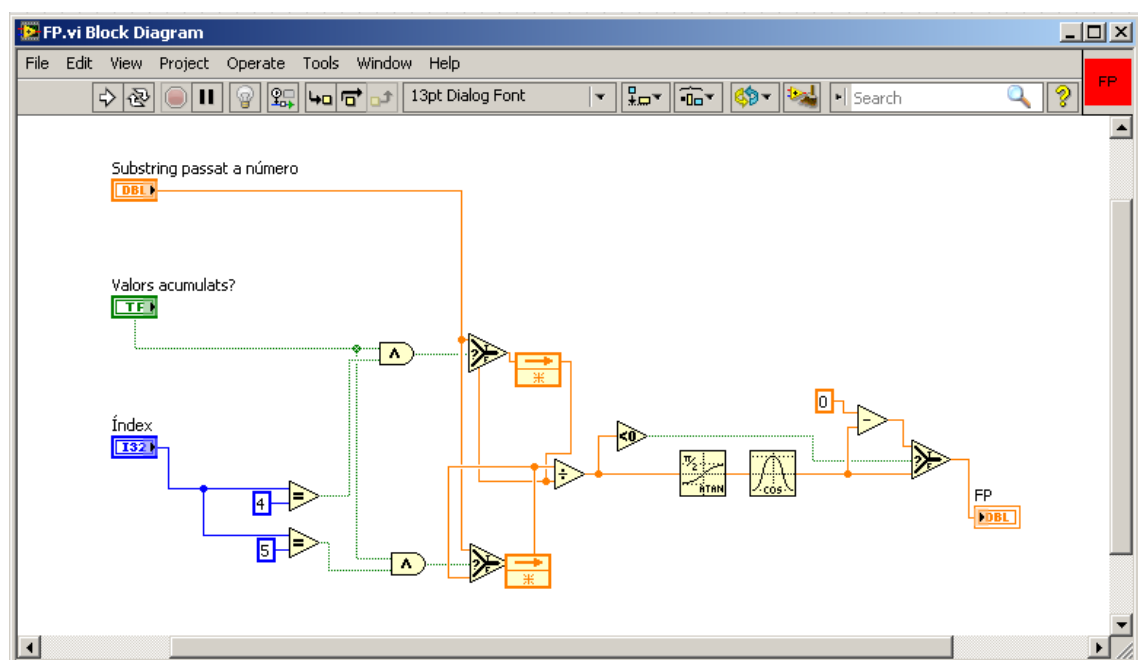
Per l'energia activa i reactiva és directe perquè només s'han de consultar els valors de la memòria. Taula 11.



**Figura 53.** Consulta del valor acumulat de l'energia activa.



**Figura 54.** Consulta del valor acumulat de l'energia reactiva.

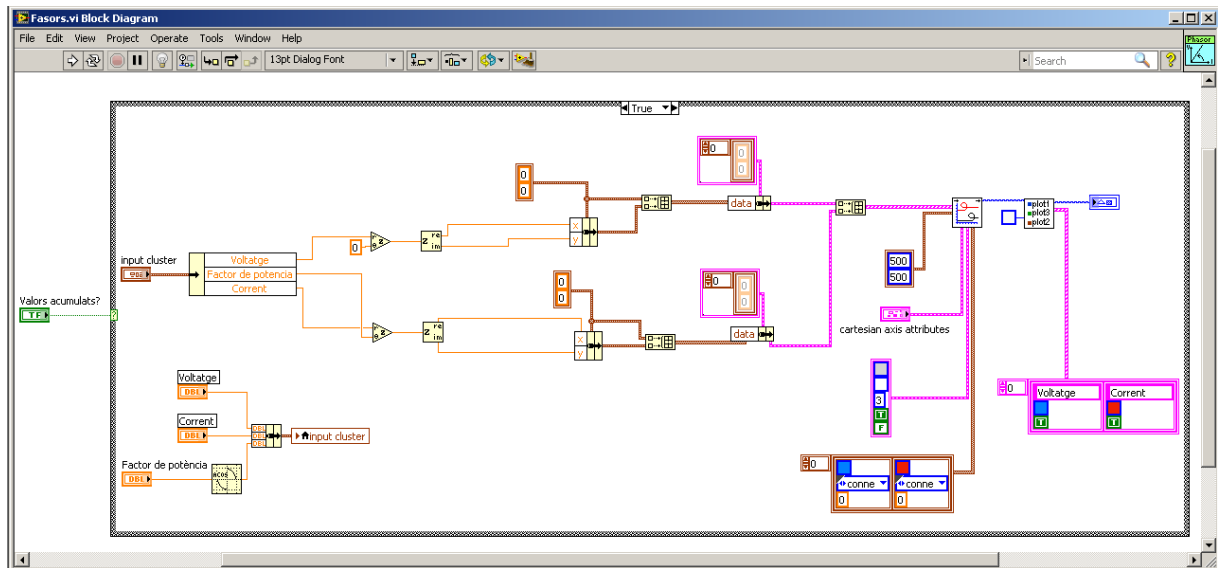


**Figura 55.** Factor de potència.

Per a factor de potència s'han de consultar els valors de les variables de transferència d'energia activa i reactiva de la Taula 3. I es divideixen per aconseguir el factor de potència.

$$\frac{WOSUM\_X}{VAROSUM\_X} = FP \quad (41)$$

Per al diagrama de fasors s'entren els valors de tensió, corrent i factor de potència obtinguts mitjançant els càlculs de les figures Figura 50, Figura 51 i Figura 55 respectivament. I es representen al diagrama de la Figura 42.



**Figura 56.** Diagrama de fasors.

Aquest programa en LabView ja queda preparat per a poder utilitzar-se amb la xarxa elèctrica i realitzar totes les operacions d'un sistema de mesura. A més de representar en un diagrama de fasors les potències activa i reactiva.



# CAPÍTOL 5:PROVES DE CAMP

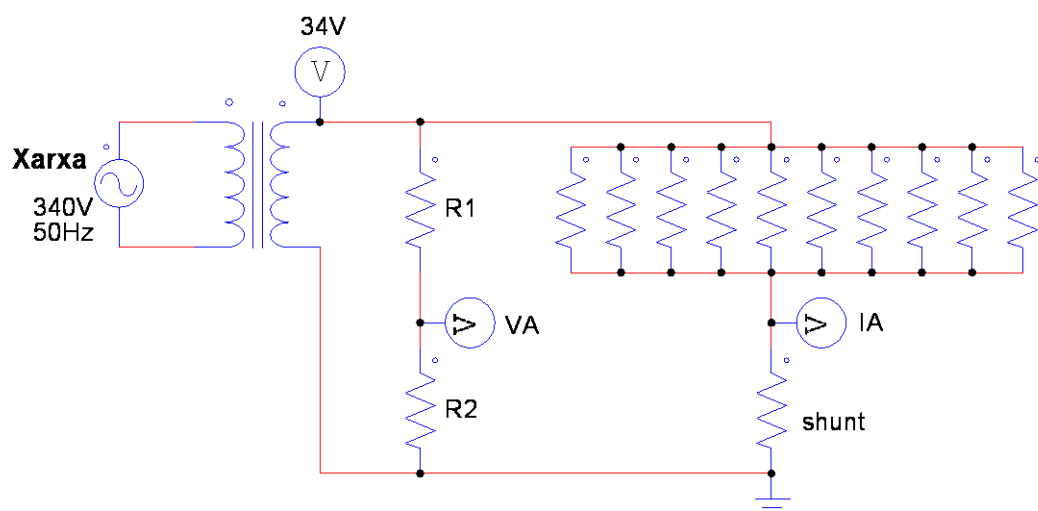
Arribat aquest punt es compta amb un programa sòlid i depurat que es pot utilitzar d'ara endavant per a fer qualsevol tipus de les mesures proposades. A més de garantir la seguretat dels equips gràcies a la connexió per radiofreqüència mostrada a la Figura 39.

No té sentit posar captures del codi de LabView perquè serà el mateix que l'apartat 5.

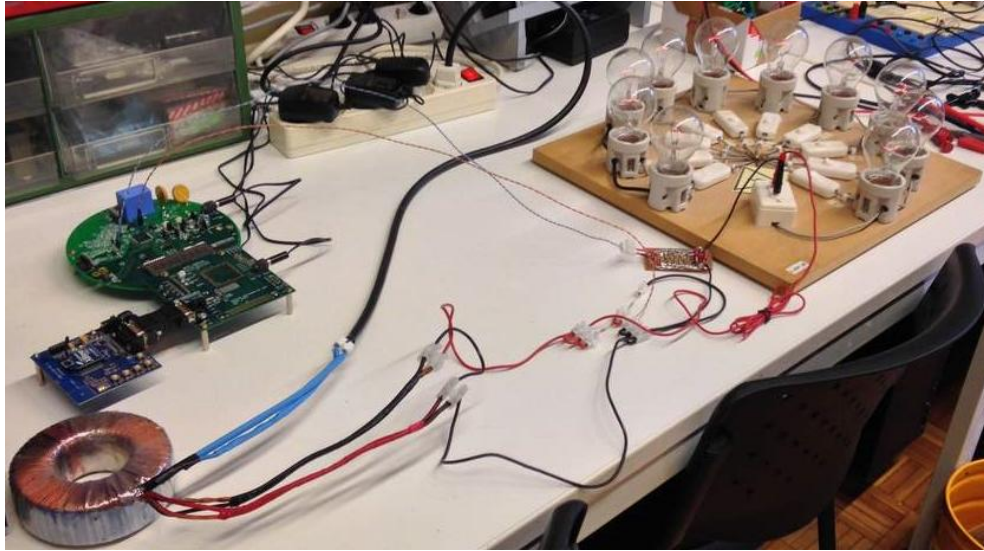
El següent pas és fer un circuit a més potència a veure com respon. S'ha posat un transformador de 230 V a 34 V de valor eficaç i una càrrega de 10 bombetes que es poden anar apagant i encenent a plaer.

Cal esmentar que també s'ha disposat d'un parell de condensadors per provar la mesura del factor de potència.

La figura següent mostra l'esquema del que s'ha muntat.



**Figura 57.** Circuit a 34 V. A l'esquerra el divisor de tensió corresponent a la mesura de tensió i a l'esquerra el corresponent a la mesura de la corrent.



**Figura 58.** Circuit real a 34 V.

## 5.1. Dimensionament del circuit

Es disposa de 10 Bombetes de 100 W cadascuna connectades en paral·lel. És dir que cada bombeta veu la mateixa tensió.

S'ha mesurat la resistència nominal de una bombeta donant aproximadament  $40\Omega$ . També sabem la tensió i la corrent que proporciona el transformador que serà de 34 V de valor eficaç i 6 A respectivament. Aquestes seran les dades de partida per el dimensionament del circuit, tenint en compte que no s'ha de sobrepassar el fons d'escala de 177 mV de valor eficaç.

$$R_{Bombeta} = 40 \Omega \quad (42)$$

$$V_{RMS} = 34 V \quad (43)$$

$$I_{m\acute{a}x.transformador} \approx 6A \quad (44)$$

$$R_{Equivalent 10 Bombetes} = \frac{1}{R_{Bombeta}} \cdot n^{\circ}. bombetes^{-1} = \frac{1}{40} \cdot 10^{-1} = 4 \Omega \quad (45)$$

Càlculs per la part de tensió:

$$V_{MAX} = 34 V_{RMS} \quad (46)$$

$$R_R = \frac{34 V}{177 mV} = 192,09 \approx 192,1 \quad (47)$$

$$R_1 = R_R \cdot R_2 = 192,1 \cdot 20 \approx 3900 \Omega \quad (48)$$

$$R_2 = 20 \Omega \quad (49)$$

Càlculs per la part de corrent:

En aquest cas s'ha de dimensionar correctament la resistència de shunt.

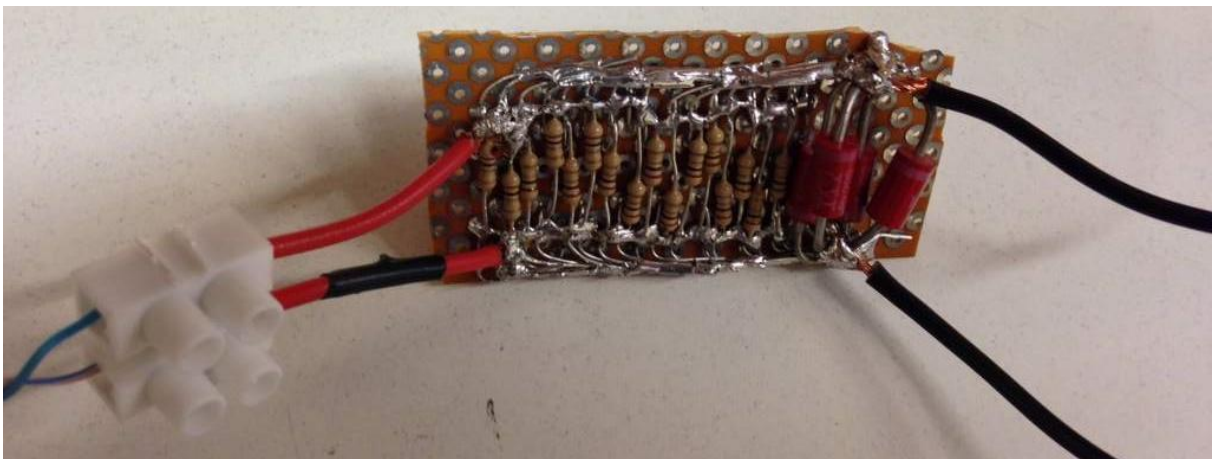
$$R_{Shunt} = \frac{\text{Fons d'escala (V)}}{\text{Corrent màxima (A)}} = \frac{0,177 V}{6 A} = 0,03 \Omega \quad (50)$$

$$P_{Shunt} = V \cdot I = 0,177 \cdot 6 \approx 1 W \quad (51)$$

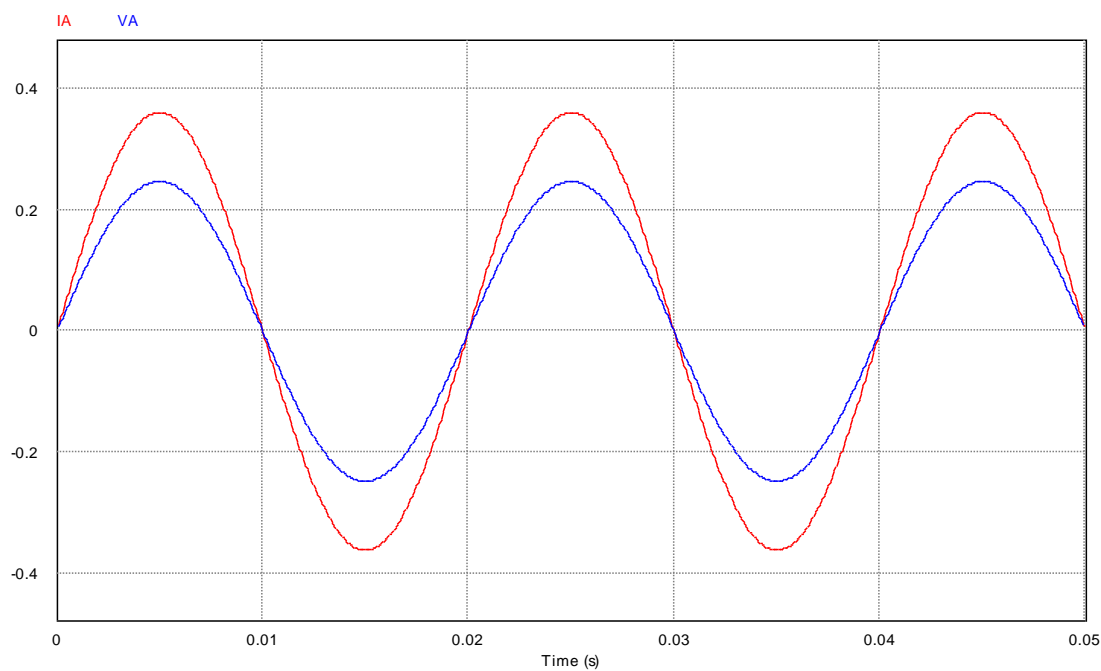
Com no es tenia una shunt d'aquest valor se n'ha fet una associat resistències del valor més petit que es disposava (1  $\Omega$ ) en paral·lel.

$$R_{Shunt} = \frac{1}{num \cdot 1 \Omega} = 0,03 \Omega$$

$$num = \frac{1}{0,03 \cdot 1} = 33 \text{ resistències} \quad (52)$$



**Figura 59.** Resistència de shunt empleada.



**Figura 60.** Gràfica dels valors de tensió en IA i VA.

RMS Value			
Time	From	1.0000000e-004	
Time	To	5.0000000e-002	
	IA	2.5567136e-001	
	VA	1.7523054e-001	

**Figura 61.** Valors de tensió en IA i VA.

Com es pot apreciar queda per baix del fons d'escala.

## 5.2. Càlcul del factor de pols

Com s'han incrementat els valors de  $IMAX$  i  $VMAX$  cal ajustar el valor de pols altra vegada. Amb la fórmula (12) del Kh.

Si:

$F_s$	2520,62 Hz
$N_{ACC}$	2520
$IOSQSUM_X$	4263657
$In_8$	1
$VMAX$	34 V
$IMAX$	60 A

Llavors:

$$WRATE = \frac{IMAX \cdot VMAX \cdot 66,1782}{Kh \cdot In_8 \cdot N_{ACC} \cdot X} = \frac{34 \cdot 60 \cdot 66,1782}{2 \cdot 1 \cdot 2520 \cdot 1,5} \approx 18 \quad (12^*)$$

Per tant per tenir un pols de 2 Wh hem d'escriure a la memòria d' $WRATE$  el valor de 18 a més dels valors  $IMAX$  i  $VMAX$  respectivament.

$IMAX \rightarrow )A = +600$

$VMAX \rightarrow )9 = +340$

$WRATE \rightarrow ]21 = +18$

És necessari recordar que els valors d' $IMAX$  i  $VMAX$  cal canviarlos al programa de LabView i guardar-los (Taula 8).

### 5.3. Calibratge del dispositiu

Ara s'usen valors relativament grans de tensió i corrent comparant-los amb els assajos anteriors. Si volem visualitzar al LCD les mesures correctament convé calibrar el dispositiu mitjançant els registres de la Taula 7.

El *meter* comença a llegir energia acumulada si el valor mínim d'IMAX és superior a 6 A i se li ha posat un valor de 60.

Si es deixés així llegiria una corrent 10 vegades superior a la real i erraria en els resultats, es per això que utilitza el registre *CAL\_IA*. Que és per ajustar digitalment el valor que veu el dispositiu per a fer els càlculs.

En el cas de la tensió s'ajusta amb el registre *CAL\_VA*. Com funciona en monofàsic només farà falta canviar aquets dos.

El procediment ahora de calibrar el dispositiu és el següent.

1. Escriure el valor per defecte *CAL\_IA* i *CAL\_VA* als registres 0x10 i 0x11 respectivament, que és 16384.



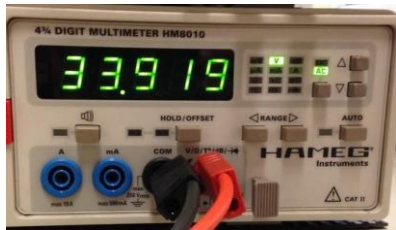

**Taula 12.** Comandes per escriure els valors per defecte d'ajust.

>]10=+16384
>]11=+16384

2. Mesurar els valors reals de tensió i corrent i anotar els valors que mesura el *meter*. Per exemple consultant-los al LCD, menús 15 i 16.

En aquest cas són els de la taula següent.

**Taula 13.** Valors reals i al meter de tensió i corrent.

	Tensió (V)	Corrent (A)
Valors al <i>meter</i>		
Mesura real		

3. Calcular els nous valors del registre. Amb les equacions 13 i 14 referents a la Taula 7.

$$CAL_{VA} = \frac{16384 \cdot \text{Valor de tensió real}}{\text{Tensió que mostra el meter}} = \frac{16384 \cdot 33,919}{33,025} \approx 16828 \quad (13^*)$$

$$CAL_{IA} = \frac{16384 \cdot \text{Valor de corrent real}}{\text{Corrent que mostra el meter}} = \frac{16384 \cdot 16,34}{1,634} \approx 1638 \quad (14^*)$$

4. Escriure els valors calculats al registre corresponent. I comprovar que les lectures al *meter* són correctes.

**Taula 14.** Comandes per escriure els valors de calibratge.

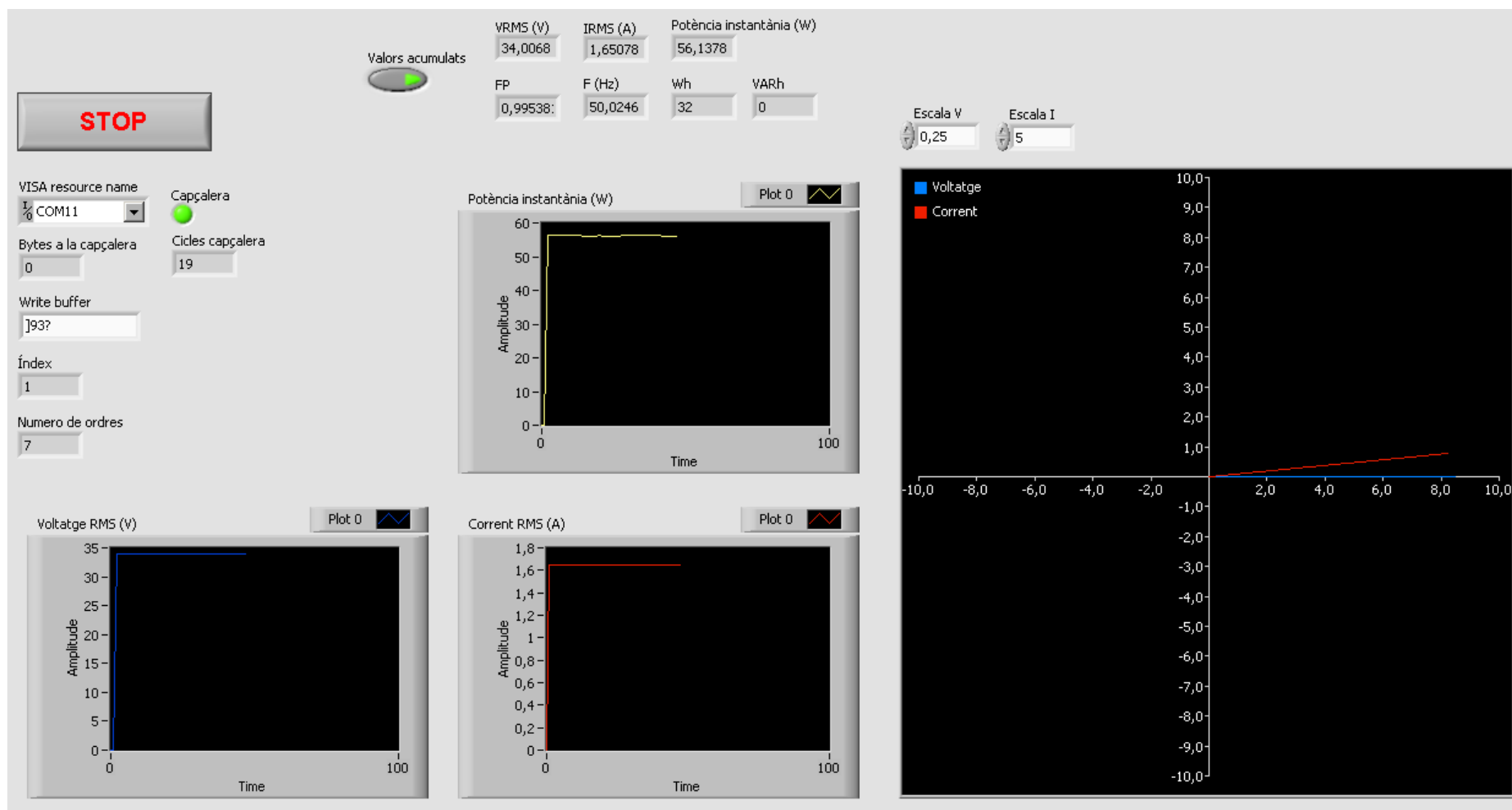
>]10=+1638
>]11=+16828

5. Guardar a la memòria no volàtil seguint les comandes següents:

**Taula 15.** Ordres per a guardar les configuracions.

>CE0	Apaga el CE
>]U	Guarda els valors
>CE1	Encén el CE

## 5.4. Captures LabView del funcionament



**Figura 62.** Funcionament del programa a 34V.



# CAPÍTOL 6:

## CONCLUSIONS

Els *smart meters* son equips que poden realitzar moltes funcions les quals no són accessibles a la seva totalitat per l'usuari domèstic. Aquest treball s'ha estudiat un sistema de mesura complet amb un únic instrument controlat per radiofreqüència que és capaç de mostrar simultàniament totes les funcions que s'han proposat vers una única opció que mostra el LCD del *meter*. És un equip que pot i realitza una infinitat més d'opcions més que qualsevol altre sistema de mesura d'energia elèctrica anterior.

Un dels primers efectes de caire personal i d'aquest estudi és que tenint en compte el pes important de caire electrònic que ha tingut la feina i que he cursat el grau en energia he arribat a la conclusió que són sistemes d'un grau de complexitat molt elevat i que costa d'entendre el funcionament. No obstant coordinant aquestes dos banques de coneixement s'ha desenvolupat el treball i aportaria dos observacions:

- La primera: els *smart meters*. Tot i que és un equip preparat per fer mesures polifàsiques s'ha utilitzat per treballar en monofàsic fent el més difícil i important que és el programa de telemesura.
- La segona: el programa que s'ha fet en LabView ha donat moltes dificultats perquè mancava el datagrama de comunicacions al manual d'usuari del *meter*. Per això es va tenir que deduir experimentalment amb els oscil·loscopis del laboratori, que va ser clau per al desenvolupament del programa final.

S'han realitzat tres assajos donada la complexitat de l'instrument:

- Primer assaig en un entorn controlat bàsic per aprendre el seu funcionament.
- Segon assaig per fer un programa eficient i ràpid tot i estar limitats per el poc ample de banda al canal de comunicacions (9600 bauds) degut a que és un sistema on no interessa la velocitat de comunicacions ni la mesura de valors instantanis sinó valors acumulats al llarg d'un període gran de temps.
- Tercer assaig per provar en un sistema de potència el correcte funcionament del programa realitzat.

Després de les observacions i experimentació, sobre l'objecte del treball es poden concloure les següents afirmacions:

- a) Són sistemes intel·ligents de mesura d'energia d'un grau de complexitat molt elevat i que costa d'entendre el funcionament pels no entesos.
- b) Es assajos han confirmat el seu correcte funcionament i la seva eficiència amb una velocitat d'enllaç relativament baixa (9600 bauds) per a mesures de paràmetres instantanis.
- c) Es podria continuar el projecte amb el fet fins ara per a desenvolupar una aplicació trifàsica. Facilitant-ne la programació donat que el gruix de la feina ja està feta. O és podria re-programar el firmware del dispositiu per tal d'augmentar la velocitat d'enllaç essent una tasca pura de programació.

Finalment es pot dir que el treball ha sigut oportú per observar, comprovar, experimentar i analitzar com funciona un *smat meter*. A més de demostrar que són equips que ofereixen una gran quantitat d'opcions i funcions de mesura.

# CAPÍTOL 7:

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Casellas Beneyto, F., Piqué López, R., Velasco Quesada, G., & Guinjoan Gispert, F. (2000). El concepto de Smart Metering en el nuevo escenario de distribución eléctrica.  
<http://www.recercat.net/handle/2072/221164?show=full>
- [2] Manual d'usuari, *datasheet* i manual de software Teridian-Maxim 71M6533.  
[http://www.maximintegrated.com/en/products/industries/metering-energy-measurement/71M6533-DB.html/tb\\_tab0](http://www.maximintegrated.com/en/products/industries/metering-energy-measurement/71M6533-DB.html/tb_tab0)
- [3] PSIM. <http://powersimtech.com/products/psim/>
- [4] Manual Yokowaga WT1600. <http://tmi.yokogawa.com/products/digital-power-analyzers/digital-power-analyzers/wt1600-digital-power-meter/>
- [5] Smart Meters. [http://en.wikipedia.org/wiki/Smart\\_meter](http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_meter)
- [6] European Smart Metering Landscape Report.  
<http://www.smartregions.net/GetItem.asp?item=digistorefile;253415;1522&params=open;gallery>
- [7] E. Thomson, *Electric Meter*, U.S.Pat. 448280, Filed 20 Nov. 1890.
- [8] Various Authors, December 2000, *Watt-hour meter maintenance and testing*. United States Department Of The Interior Bureau Of reclamation.  
[www.usbr.gov/power/data/fist/fist3\\_10/vol3-10.pdf](http://www.usbr.gov/power/data/fist/fist3_10/vol3-10.pdf)
- [9] Matrix converter applied to energy saving for street lighting Systems. Manuel Román Lumbreras, Guillermo Velasco Quesada, Alfons Conesa Roca (2010). <http://www.recercat.cat/handle/2072/189632>

- [10] Dia Diagram. <http://dia-installer.de>
- [11] Mendeley. <http://www.mendeley.com/dashboard/>
- [12] LabView. <http://spain.ni.com>
- [13] Pikerresearch, *Smart Electrical Meters, Advanced Metering Infrastructure, and Meter Communications: Market Analysis and Forecasts*, 2010, Index Disponible: <http://pikerresearch.com/research/smart-meters>
- [14] European Smart Metering Alliance. [En línea]. Disponible: [www.esma-home.eu/](http://www.esma-home.eu/)