

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO SEDE LATACUNGA



PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

GUSTAVO DE JESÚS LÓPEZ FRÍAS

AÑO 2013



“DISEÑO E
IMPLEMENTACIÓN DE
SOFTWARE Y HARDWARE
DE UN REGISTRADOR DE
VARIABLES ELÉCTRICAS
CON COMUNICACIONES
ETHERNET BASADO EN
TECNOLOGÍA ARDUINO Y
SISTEMA DE
SUPERVISIÓN HMI”



JUSTIFICACIÓN

- En Ecuador el desarrollo de tecnología es escaso, por lo que es conveniente fomentar la investigación en nuevos dispositivos que nos permitan realizar aplicaciones de uso común que permitan cubrir una necesidad en la sociedad como lo es la tecnología ARDUINO.
- El desarrollo de un registrador de variables eléctricas con transmisión de datos a través del protocolo Ethernet permite realizar el monitoreo de dichas variables en cualquier lugar con tan solo acceder a la dirección IP del dispositivo.



JUSTIFICACIÓN

- El costo de los registradores de variables eléctricas es alto ya que poseen Software y Hardware propietario, es por ese motivo que a través de este proyecto se pretende realizar un registrador de bajo costo ya que el Software y el Hardware de ARDUINO es abierto.
- La implementación de este registrador permitirá en un futuro realizar un estudio sobre el comportamiento de la carga en una vivienda rural lo cual permitirá desarrollar proyectos con energías renovables, ya que con los datos obtenidos se puede realizar un dimensionamiento exacto para cubrir las necesidades energéticas de una familia rural.

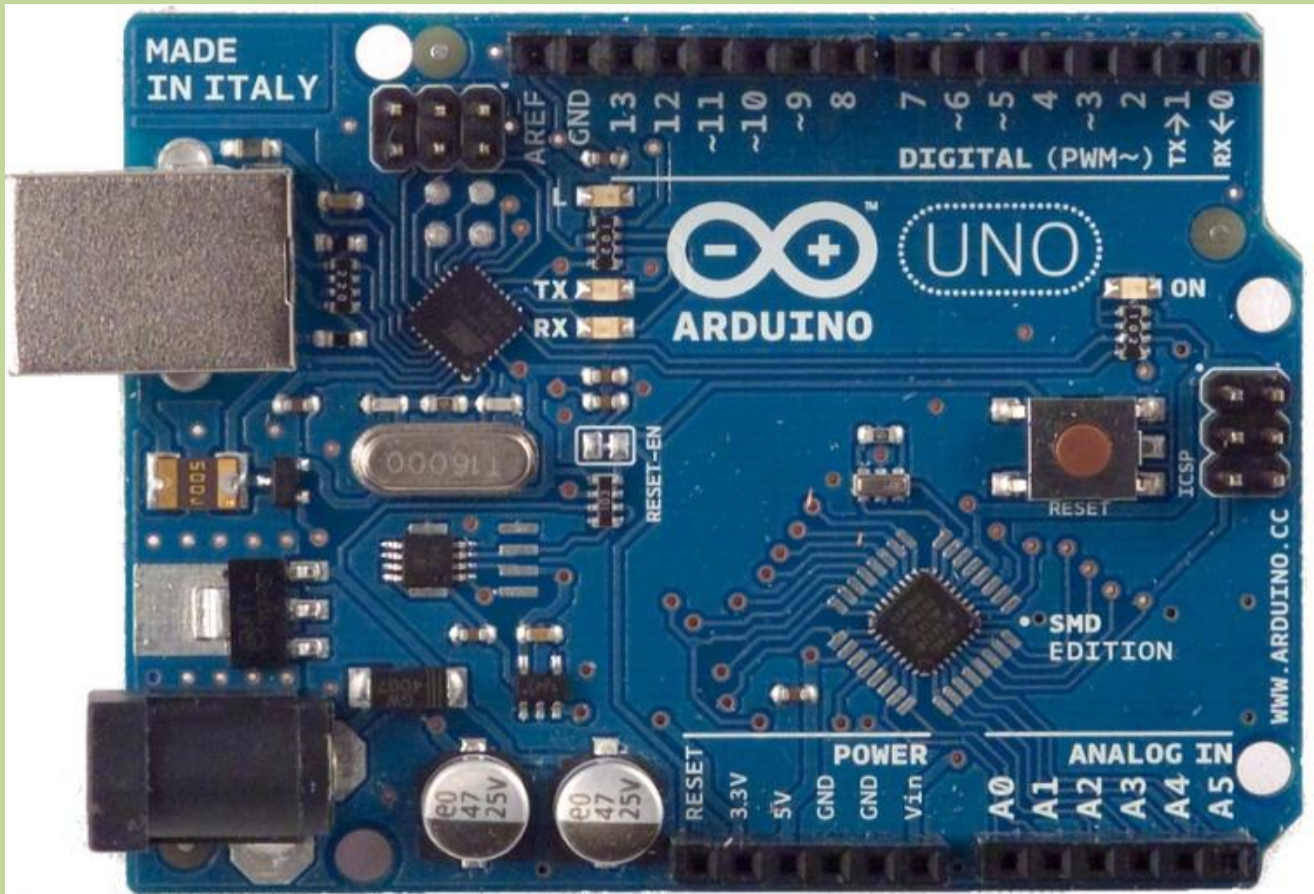


INTRODUCCIÓN

- Las tarjetas utilizadas para el desarrollo del registrador son de tecnología ARDUINO la cual se basa en la filosofía de hardware y software abierto.
- El hardware del registrador se lo realizó con las siguientes tarjetas: Arduino Uno SMD, Arduino Nano v3.0 y Arduino Ethernet Shield.
- La tarjeta Arduino UNO SMD es la encargada de la adquisición de las señales analógicas proporcionadas por los sensores de corriente y del sensor de voltaje, la tarjeta Arduino Nano v3.0 es la que presenta las mediciones realizadas en una pantalla LCD 20x4; y, por último la tarjeta Arduino Ethernet Shield es la que transmite los datos procesados utilizando el protocolo Ethernet.



ARDUINO UNO SMD



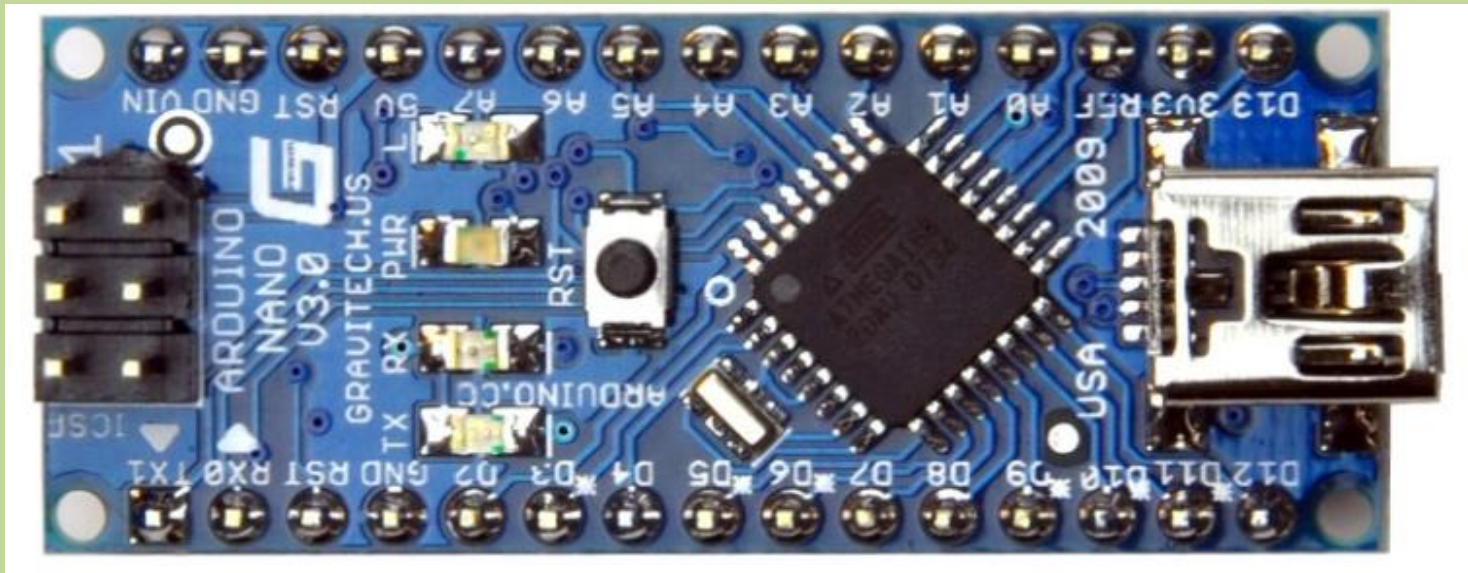


ARDUINO UNO SMD

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz



ARDUINO NANO



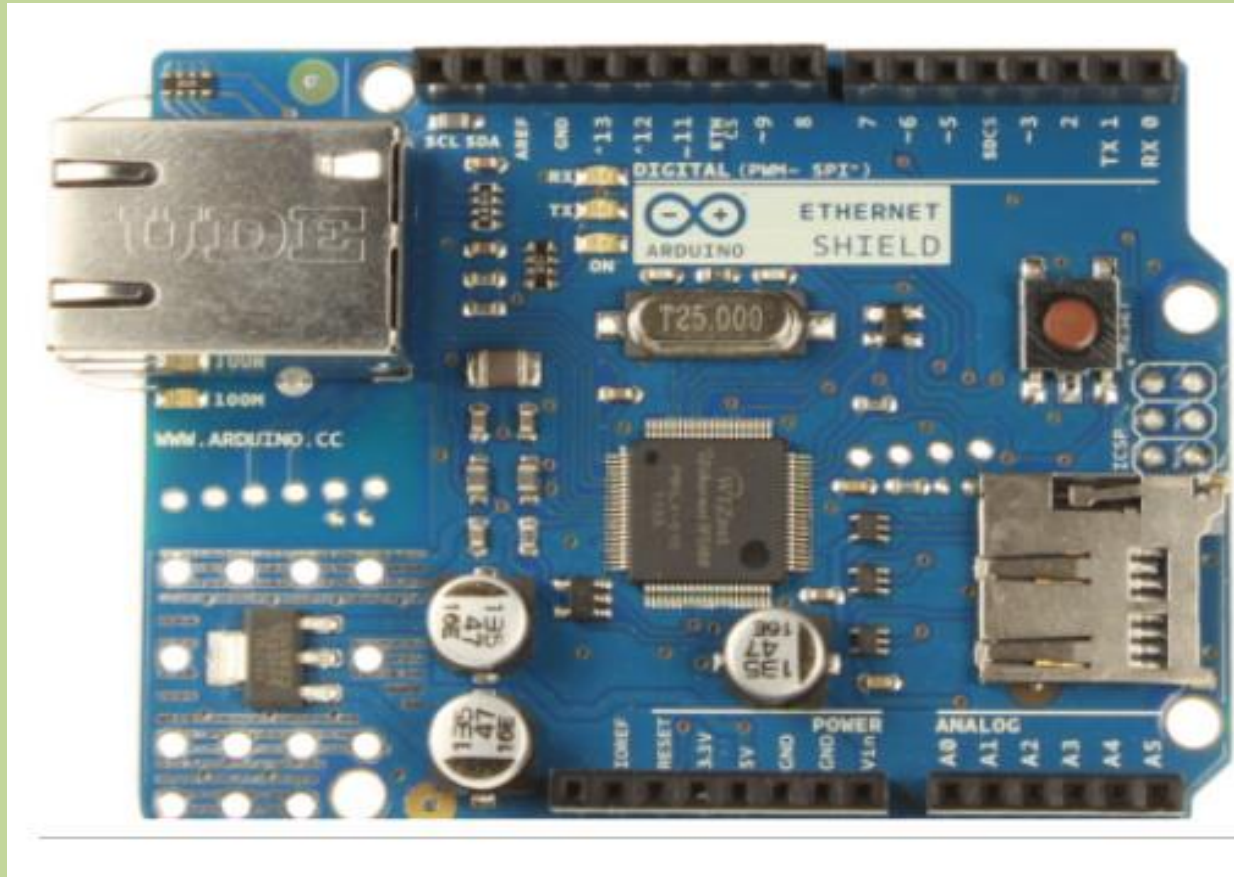


ARDUINO NANO

Microcontroller	Atmel ATmega168 or ATmega328
Operating Voltage (logic level)	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	16 KB (ATmega168) or 32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) or 1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz



ARDUINO ETHERNET SHIELD





ARDUINO ETHERNET SHIELD

- Requiere una tarjeta Arduino (no incluido).
- Tensión de 5 V (suministrados desde la placa Arduino).
- Controlador de Ethernet: W5100 con buffer interno de 16K.
- Velocidad de conexión: 10/100Mb.
- Conexión con Arduino mediante el puerto SPI.



ARDUINO ETHERNET SHIELD

- El Ethernet Shield tiene un estándar de conexión RJ-45, con un transformador de línea integrado y alimentación por Ethernet habilitado.
- Posee una ranura para tarjetas micro SD, que puede ser usada para almacenar archivos para proporcionarlos a través de la red. Es compatible con las tarjetas Arduino Uno y Mega (usando la librería Ethernet). Al lector de tarjetas microSD a bordo se puede acceder a través de la librería SdFat.

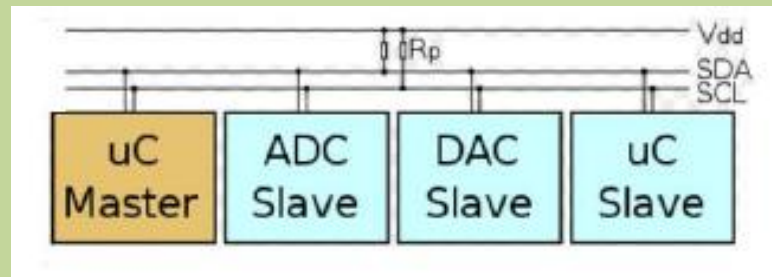


BUS I2C

- Fue diseñado por Philips al inicio de la década de 1980.
- Su nombre viene de Inter Integrated Circuit.
- Este bus tiene una velocidad de transmisión de 100Kbits por segundo en el modo estándar, también permite velocidades de 3.4 Mbit/s.
- La principal característica de I2C es que utiliza dos líneas para transmitir la información: una para los datos y por otra la señal de reloj.



BUS I2C



- SDA: Es la línea de datos serie (Serial Data, en inglés), semibidireccional. Eléctricamente se trata de una señal a colector o drenado abierto. Es gobernada por el emisor, sea este un maestro o un esclavo.
- SCL: Es la señal de sincronía (reloj serie, o Serial Clock en inglés). Eléctricamente se trata de una señal a colector o drenado abierto. En un esclavo se trata de una entrada, mientras que en un maestro es una salida. Esta señal es gobernada única y exclusivamente por el maestro; un esclavo sólo puede retenerla para forzar al maestro a ralentizar su funcionamiento.

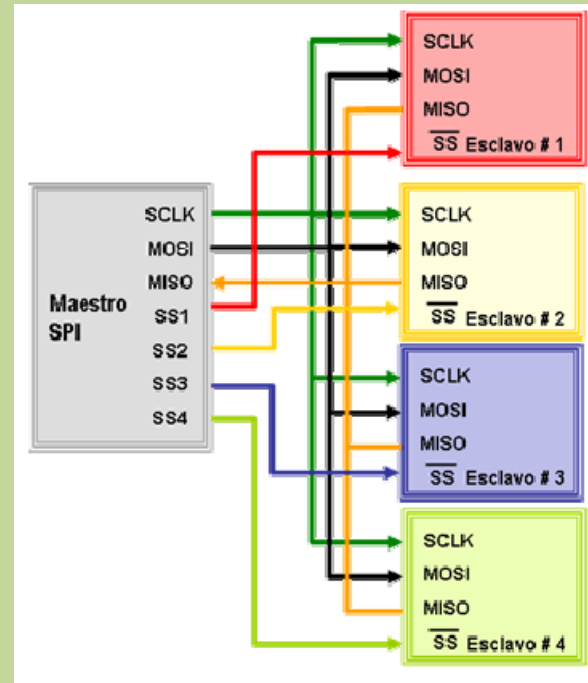


BUS SPI

- Es un estándar establecido por Motorola que utiliza un bus de 4 líneas para interconectar dispositivos periféricos de baja y media velocidad.
- La comunicación se realiza siguiendo un modelo maestro/esclavo donde el maestro selecciona al esclavo y comienza el proceso de transmisión/recepción de información.
- SPI constituye un bus full duplex.



BUS SPI



- SCLK reloj del bus,
- MOSI (Master Output Slave Input) salida de datos del maestro y entrada de datos a los esclavos,
- MISO (Master Input Slave Output) salida de datos de los esclavos y entrada de datos al maestro; y,
- SS (Slave Select) Habilitación del esclavo por parte del maestro.



DIRECCIÓN IP Y MAC

- Una dirección IP es un número que identifica de manera lógica y jerárquica a una interfaz de un dispositivo dentro de una red que utilice el protocolo IP (32 bits que suele ser mostrado en cuatro grupos de números decimales de 8 bits).
- En redes de computadoras la dirección MAC (Media Access Control Address o dirección de control de acceso al medio) es un identificador de 48 bits (6 bytes) que corresponde de forma única a una tarjeta o interfaz de red.



DIFERENCIAS ENTRE UDP Y TCP

UDP	TCP
Servicio sin conexión; no establece una sesión entre los hosts.	Servicio orientado a la conexión; se establece una sesión entre los hosts.
UDP no garantiza ni confirma la entrega, y no secuencia los datos.	TCP garantiza la entrega mediante el uso de confirmaciones y la entrega secuenciada de datos.
Los programas que utilizan UDP son responsables de proporcionar la confiabilidad necesaria para el transporte de datos.	Los programas que utilizan TCP proporcionan la seguridad del transporte de datos confiable.
UDP es rápido, tiene requisitos de carga pequeños y puede admitir la comunicación punto a punto y de un punto a varios puntos.	TCP es más lento, tiene requisitos de carga mayores y sólo admite la comunicación punto a punto.

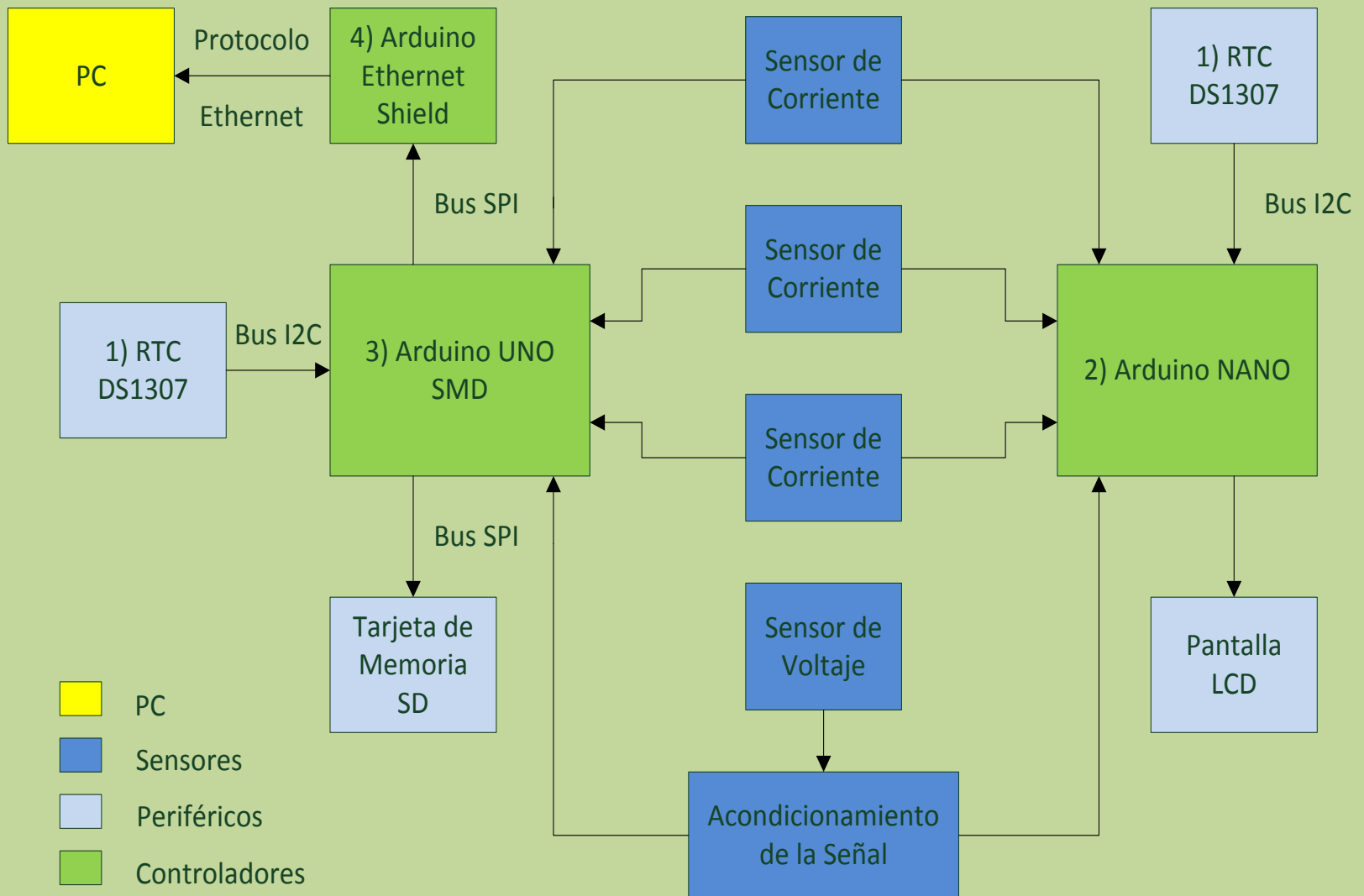


PUERTOS

- El puerto 0 es un puerto reservado, pero es un puerto permitido si el emisor no espera recibir mensajes del receptor.
- Los puertos que van del 1 al 1023 reciben el nombre de puertos “bien conocidos”, y en sistemas operativos tipo Unix es necesario acceder como súper usuario para enlazarse con uno de estos puertos.
- Los puertos que van desde 1024 al 49151 son los llamados puertos “registrados” y son de libre utilización.
- Los puertos del 49152 al 65535 son puertos “efímeros”, de tipo temporal y se utilizan sobre todo por los clientes al conectarse con el servidor.

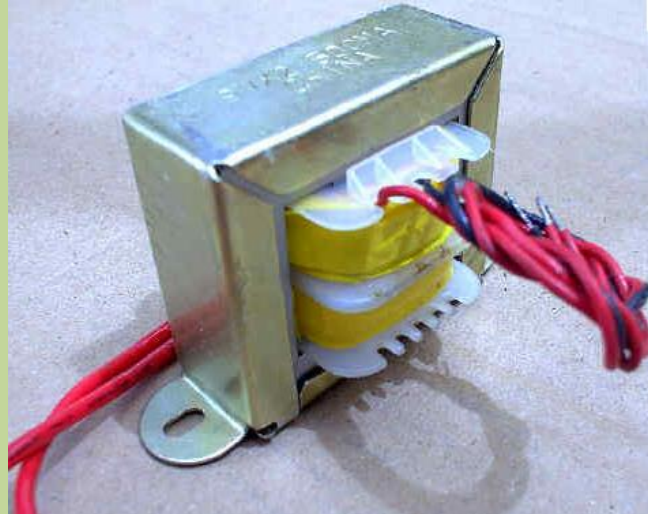


HARDWARE DEL REGISTRADOR





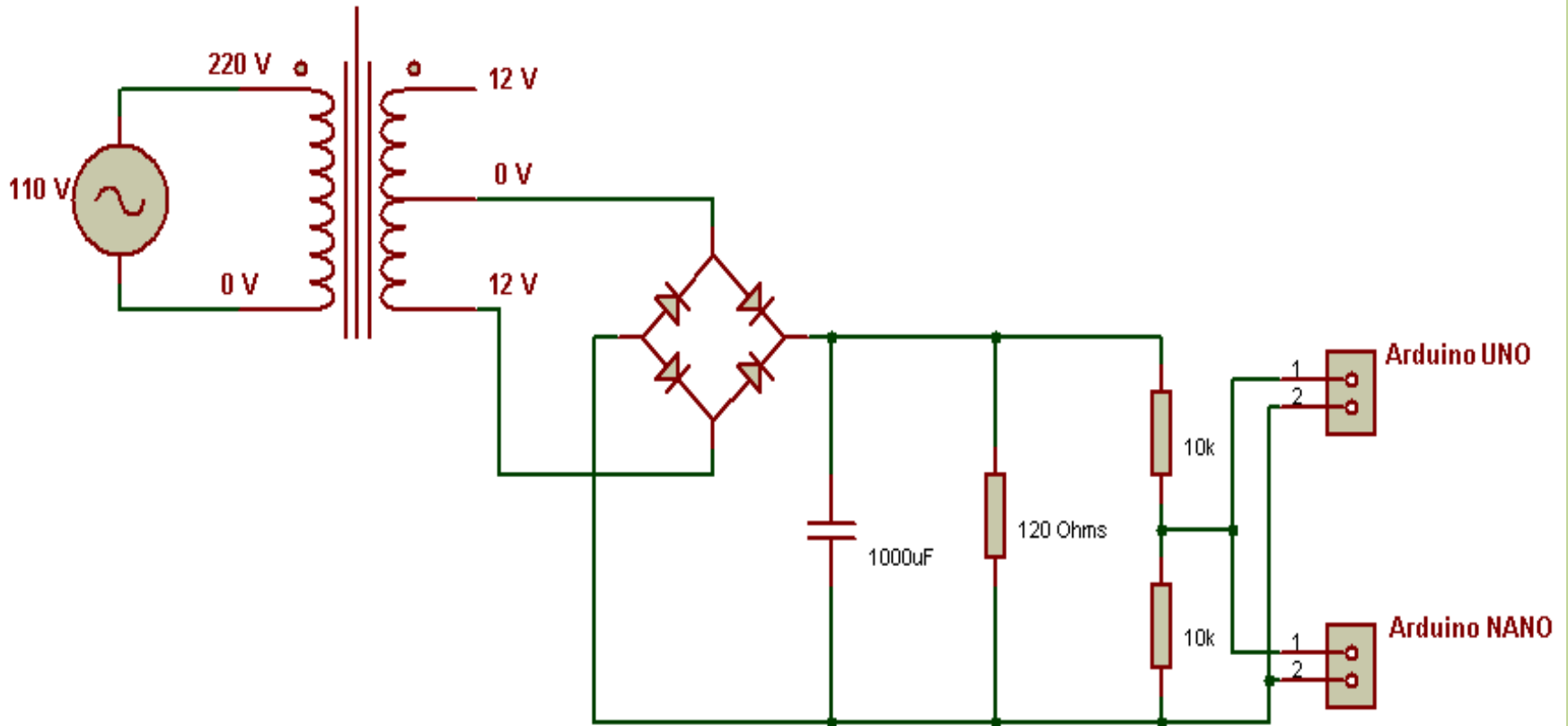
SENSOR DE VOLTAJE



- Voltaje de entrada: 220V/110V
- Voltaje de salida: 12V – 0V – 12V
- Frecuencia: 50/60 Hz.
- Corriente: 300mA.

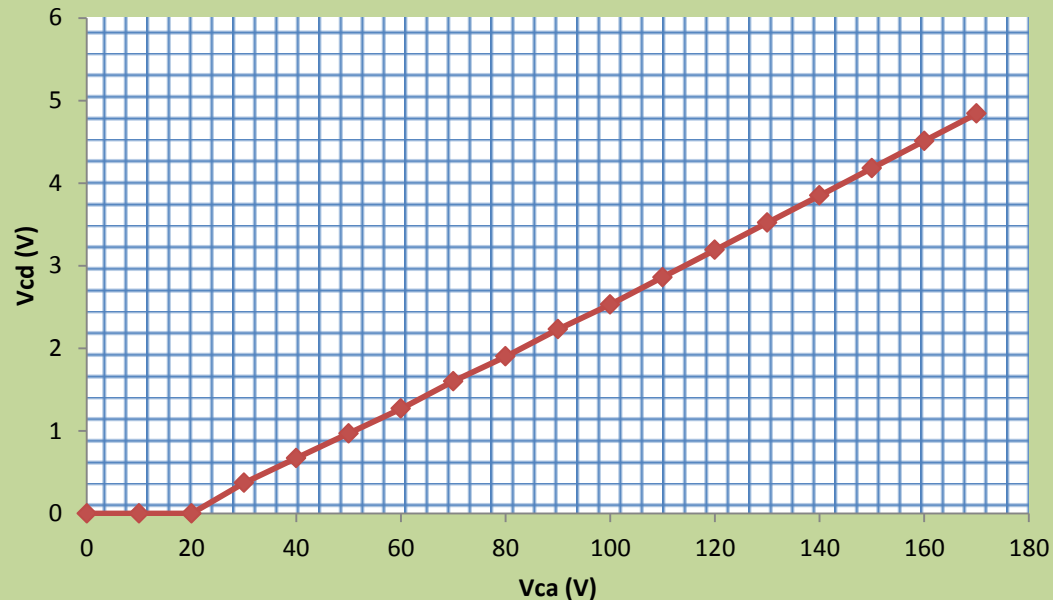


ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE VOLTAJE





ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE VOLTAJE



Con las mediciones realizadas se determinó que la sensibilidad de salida del sensor de voltaje es de $0.3V_{cd}/10V_{ca}$ aproximadamente desde $30V_{ca}$ hasta $100V_{ca}$; y, de $0.33V_{cd}/10V_{ca}$ desde $100V_{ca}$ hasta $170V_{ca}$.



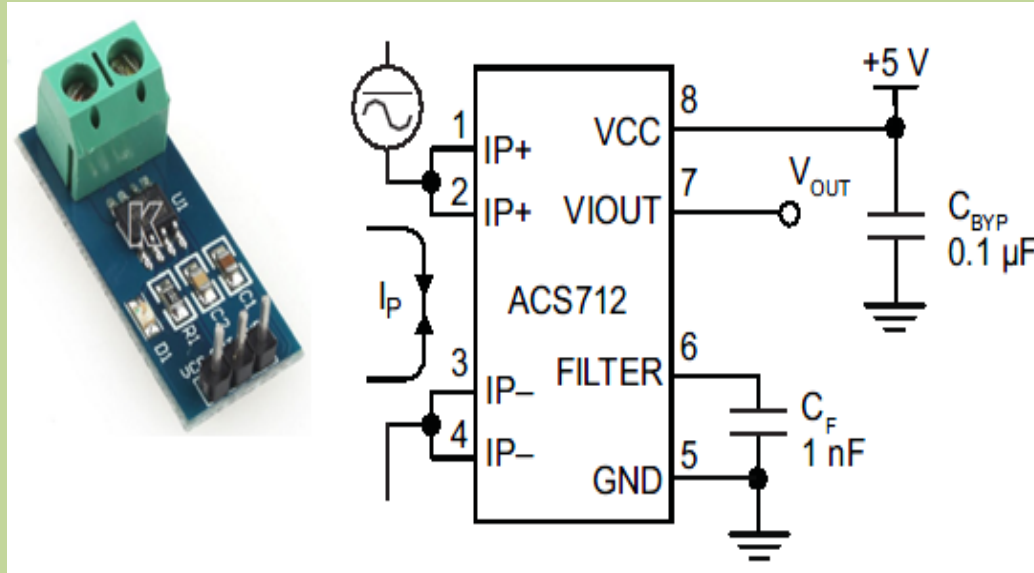
PRUEBA DEL SENSOR DE VOLTAJE

Fluke 117 (V)	Sensor de voltaje (V)	Desviación	Error (%)
30	30,114	0,114	0,38
40	40,067	0,067	0,1675
50	50,021	0,021	0,042
60	59,974	-0,026	-0,0433
70	70,923	0,923	1,3186
80	80,877	0,877	1,0962
90	91,826	1,826	2,0289
100	100,094	0,094	0,094
110	110,023	0,023	0,0209
120	119,952	-0,048	-0,04
130	129,881	-0,119	-0,0915
140	139,81	-0,19	-0,1357
150	149,739	-0,261	-0,174
160	159,669	-0,331	-0,2069
170	169,598	-0,402	-0,2365
		ERROR	0,4051%

ERROR
0,4051%



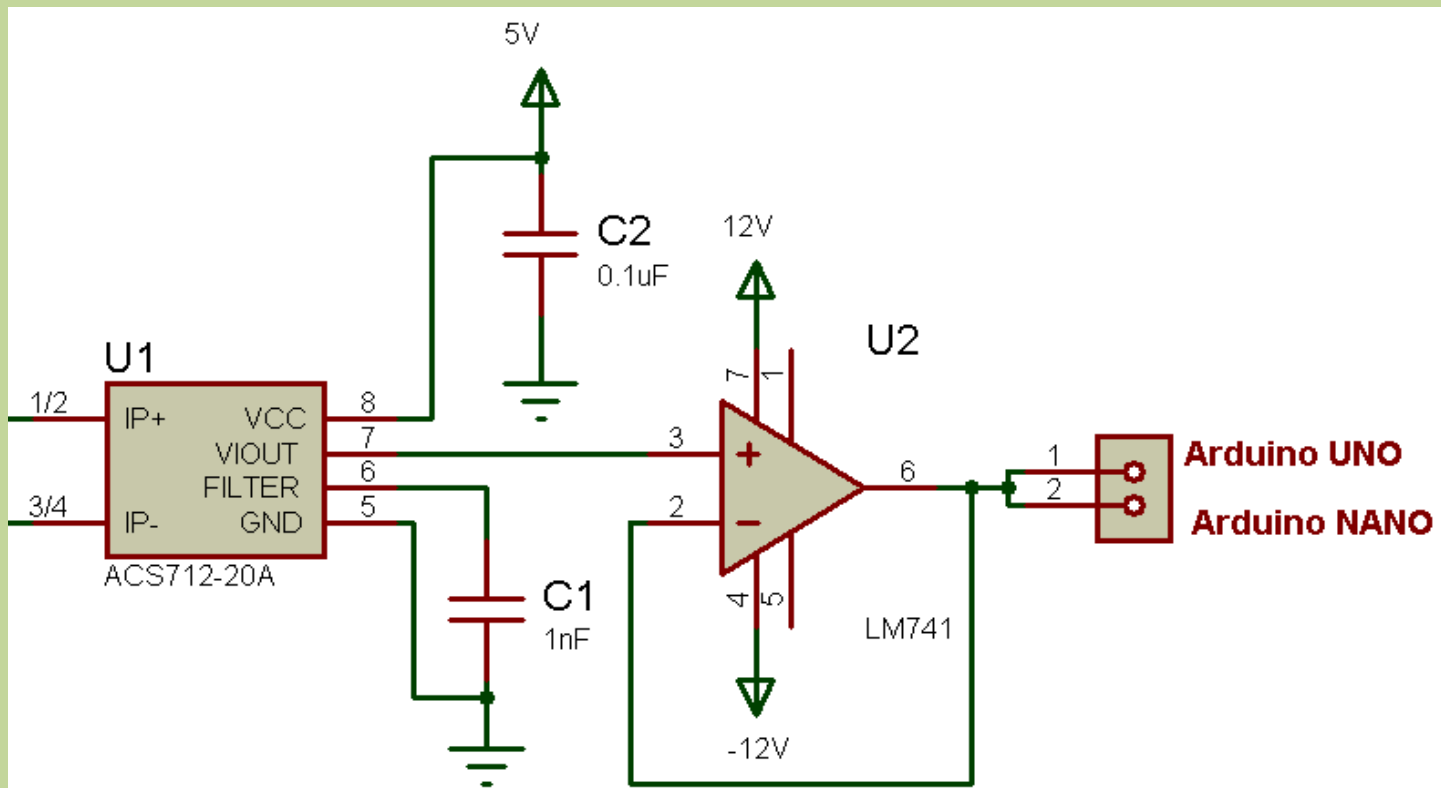
SENSOR DE CORRIENTE



- Pequeño y compacto.
- Rango de medida desde -20 a 20 Aca.
- Voltaje de alimentación 5Vcd.
- Corriente de alimentación 10mA.
- Sensibilidad de salida 100mV/A.

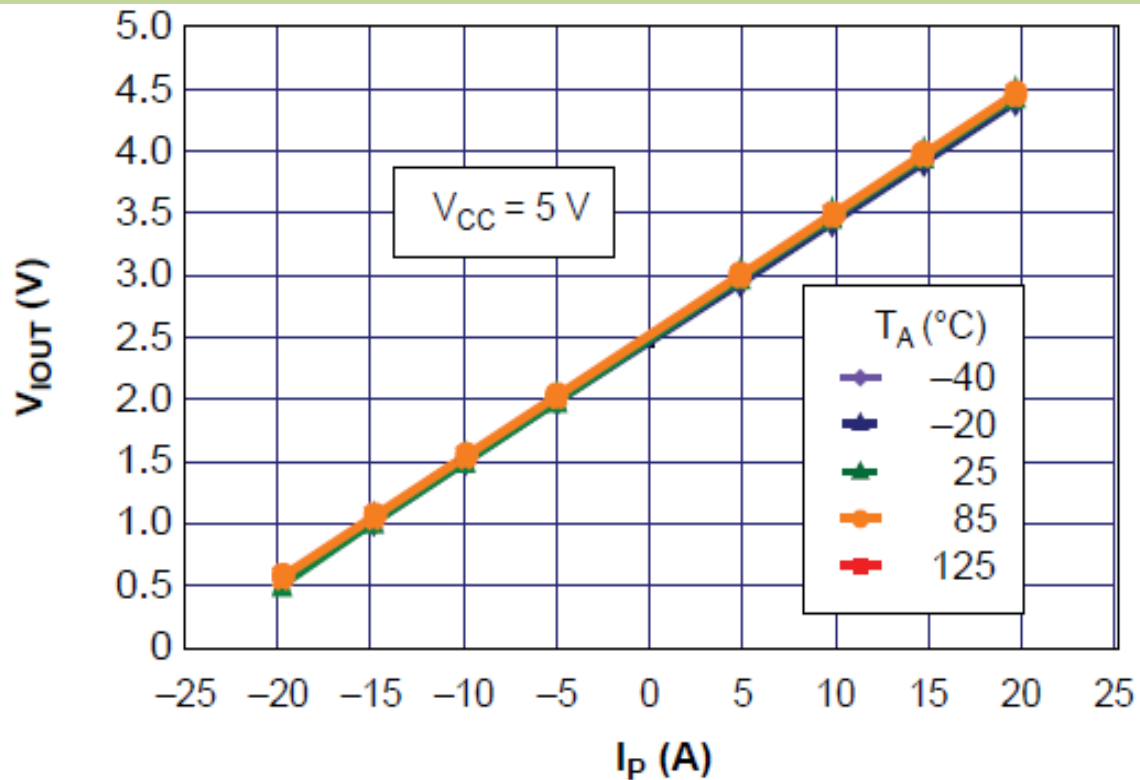


ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE CORRIENTE





ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE CORRIENTE





PRUEBA DEL SENSOR DE CORRIENTE

GW Instek	Sensor	Desviación	Error (%)
GDM-8246	ACS712 20A	n	
(A)	(A)		
0,525	0,53	0,0050	0,9524
1,172	1,162	-0,0100	-0,8532
1,47	1,5	0,0300	2,0408
2,12	2,13	0,0100	0,4717
2,639	2,64	0,0010	0,0379
3,088	3,1	0,0120	0,3886
3,485	3,5	0,0150	0,4304
4,12	4,15	0,0300	0,7282
4,616	4,6	-0,0160	-0,3466
5,098	5,01	-0,0880	-1,7262
5,568	5,555	-0,0130	-0,2335
6,135	6,14	0,0050	0,0815
6,675	6,67	-0,0050	-0,0749
7,245	7,25	0,0050	0,0690
		ERROR	0,6025%

ERROR
0,6025%



DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE LA TARJETA ARDUINO NANO

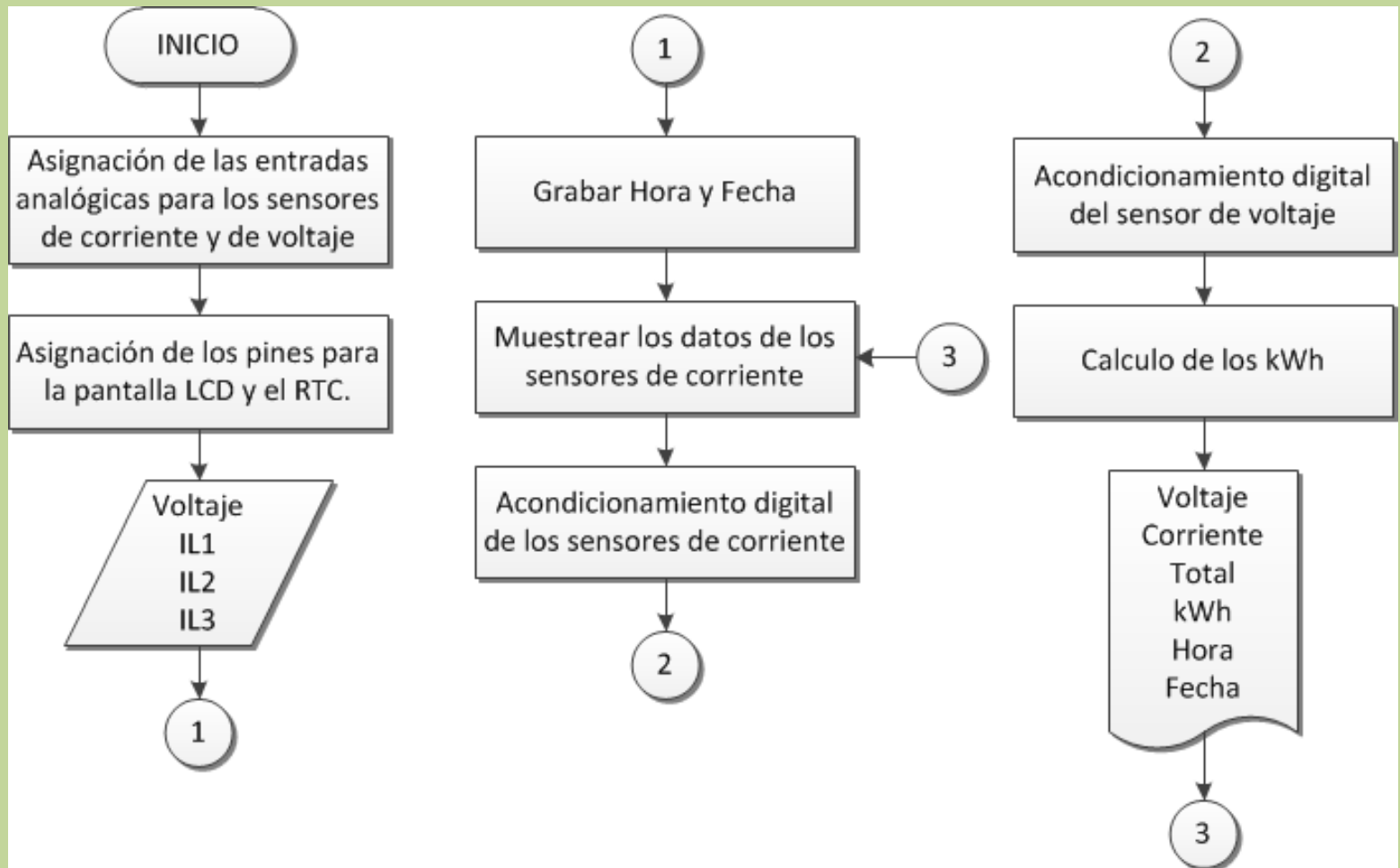




DIAGRAMA DE FLUJO DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS REMOTO

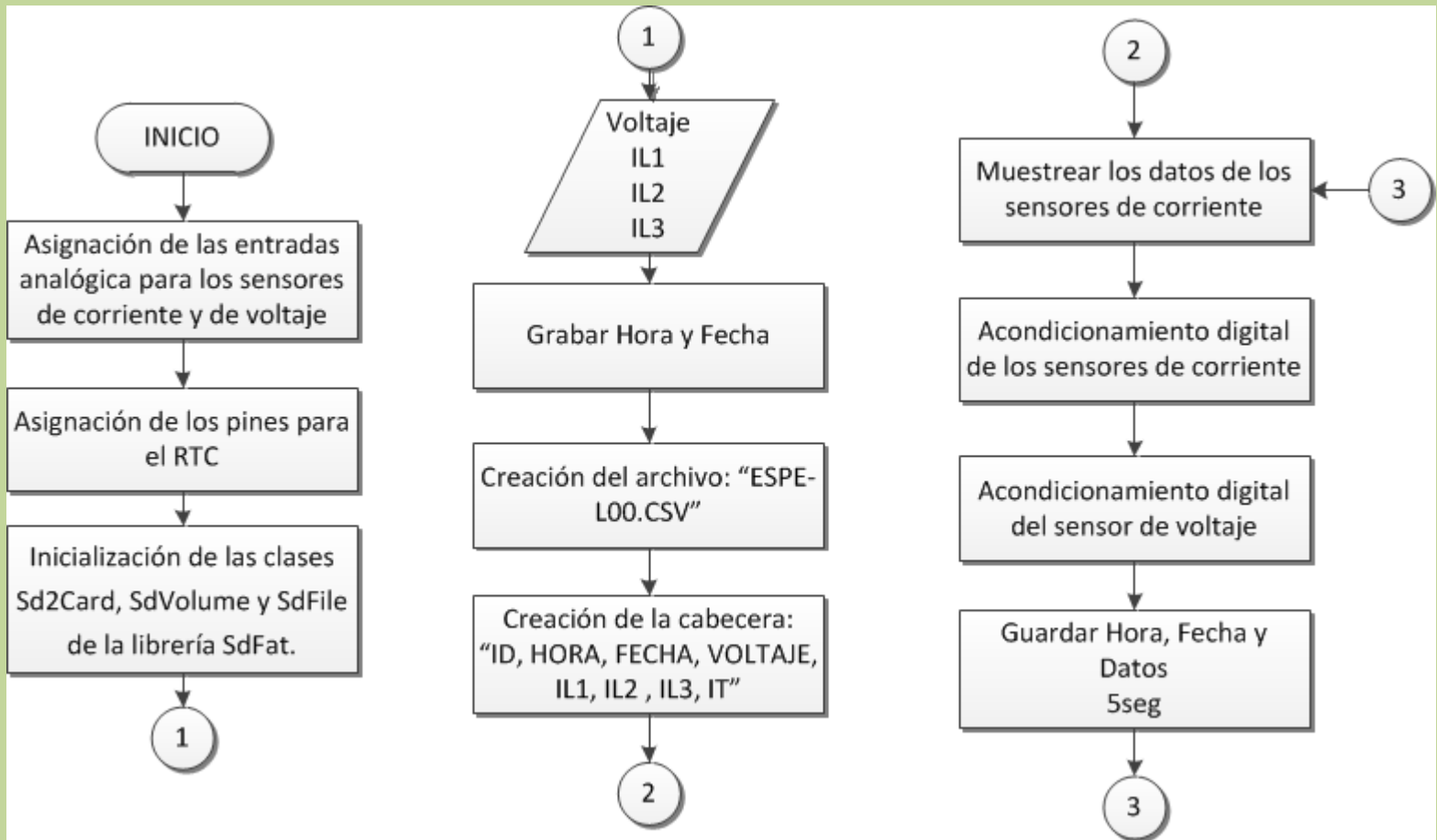




DIAGRAMA DE FLUJO DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS CON SUPERVISIÓN HMI DISEÑADA EN LABVIEW

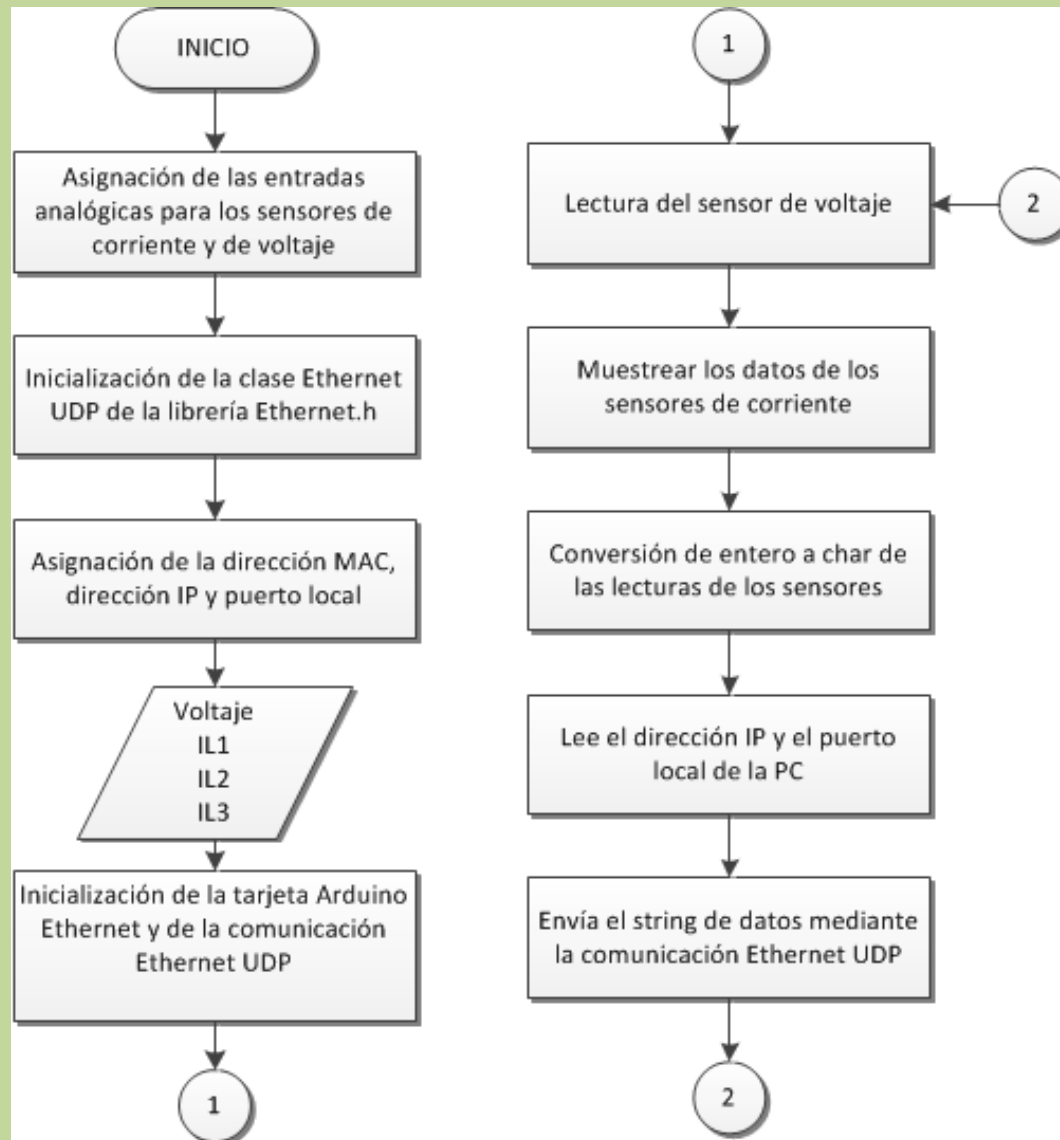




DIAGRAMA DE FLUJO DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS CON SUPERVISIÓN HMI DISEÑADA EN LABVIEW

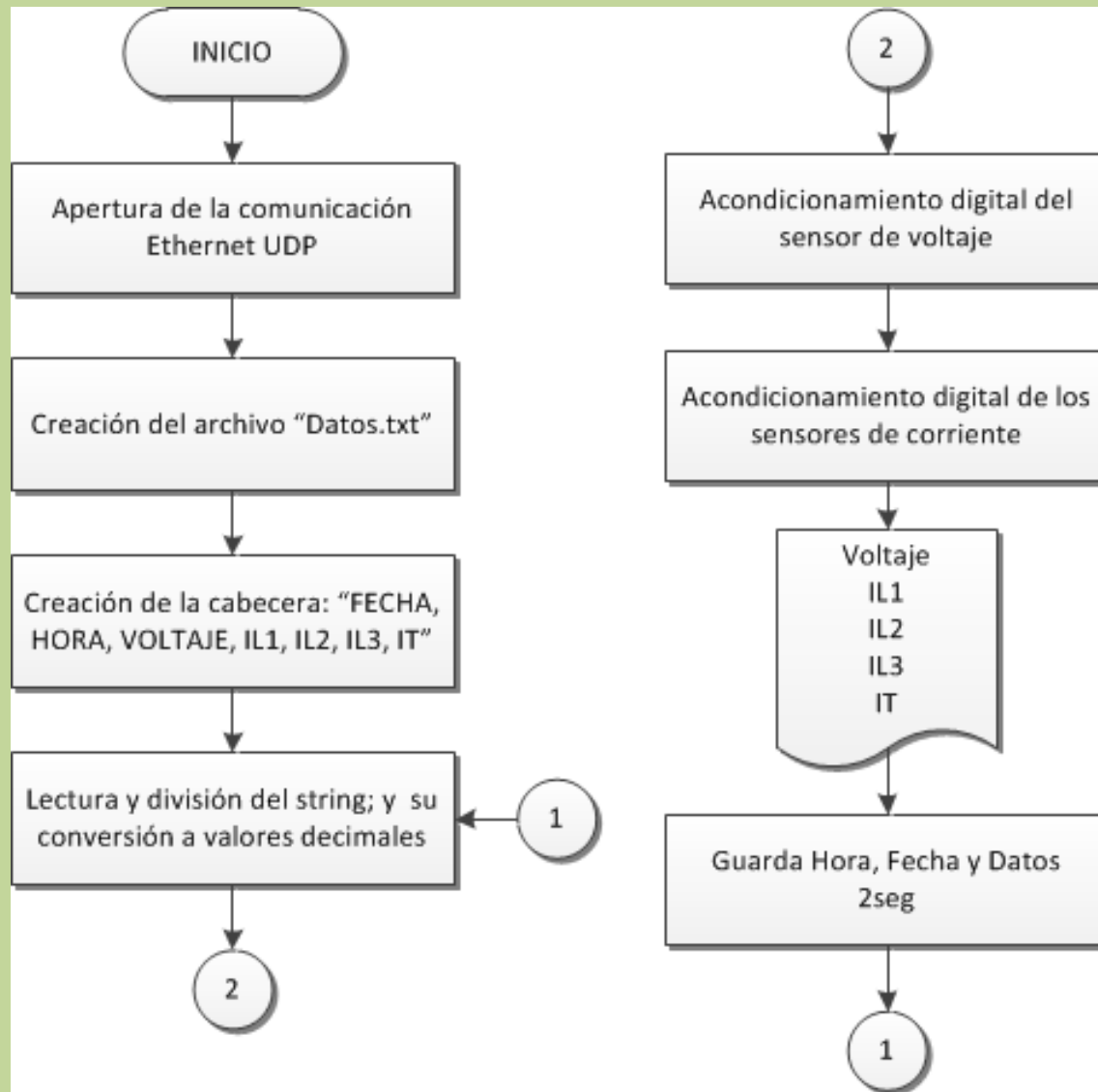
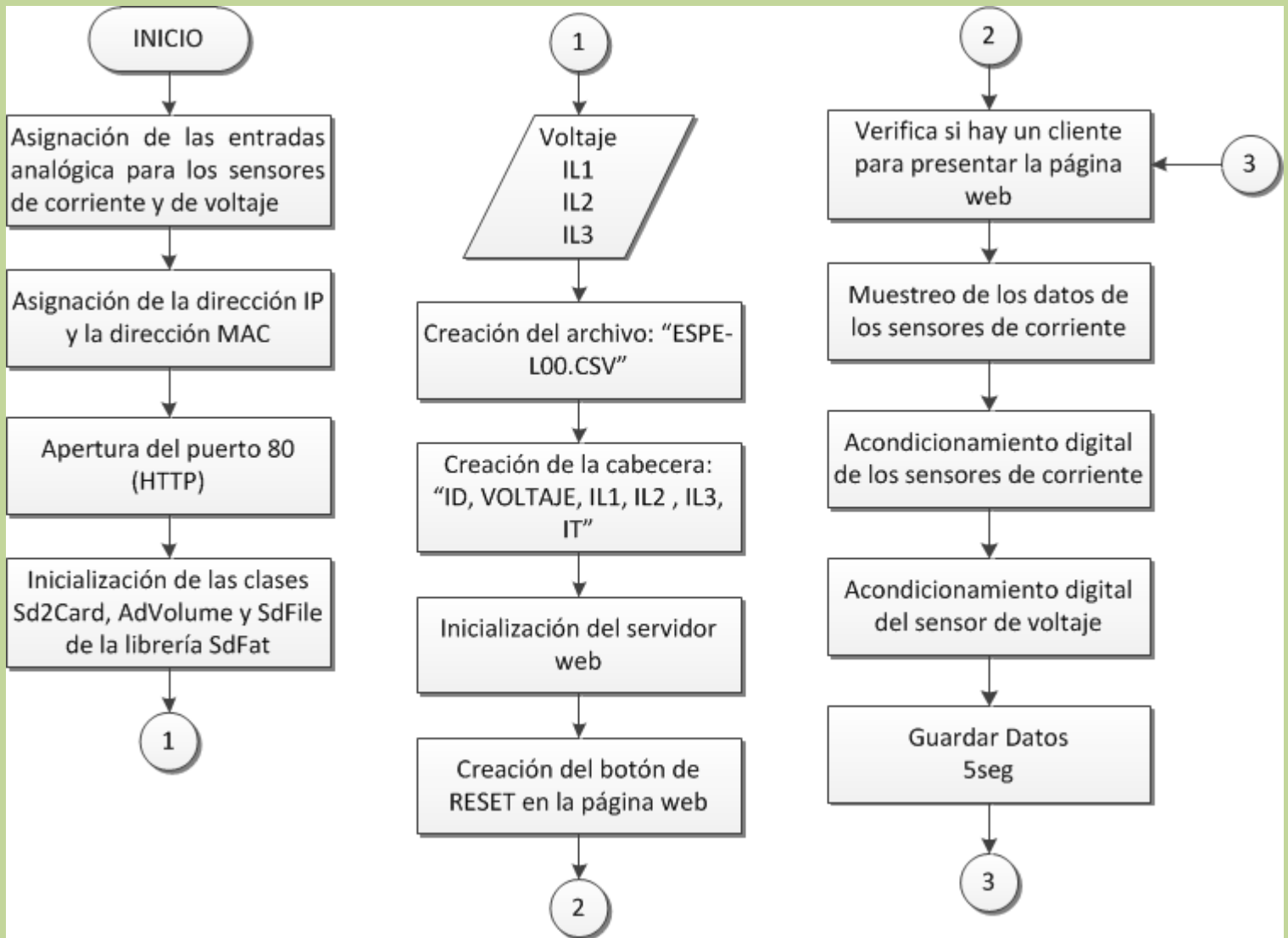


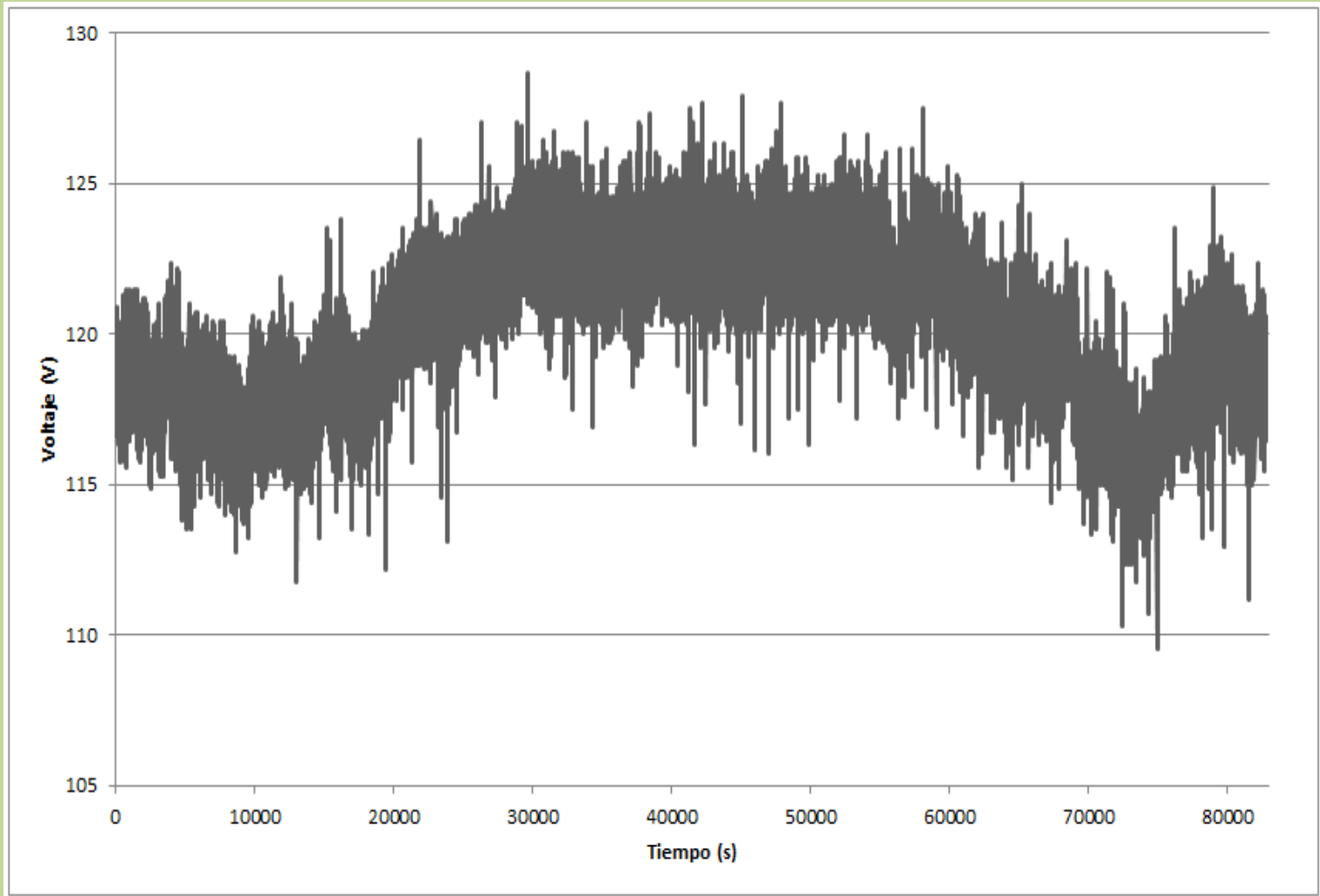


DIAGRAMA DE FLUJO DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS REMOTO CON MONITOREO A TRAVÉS DE UN NAVEGADOR WEB



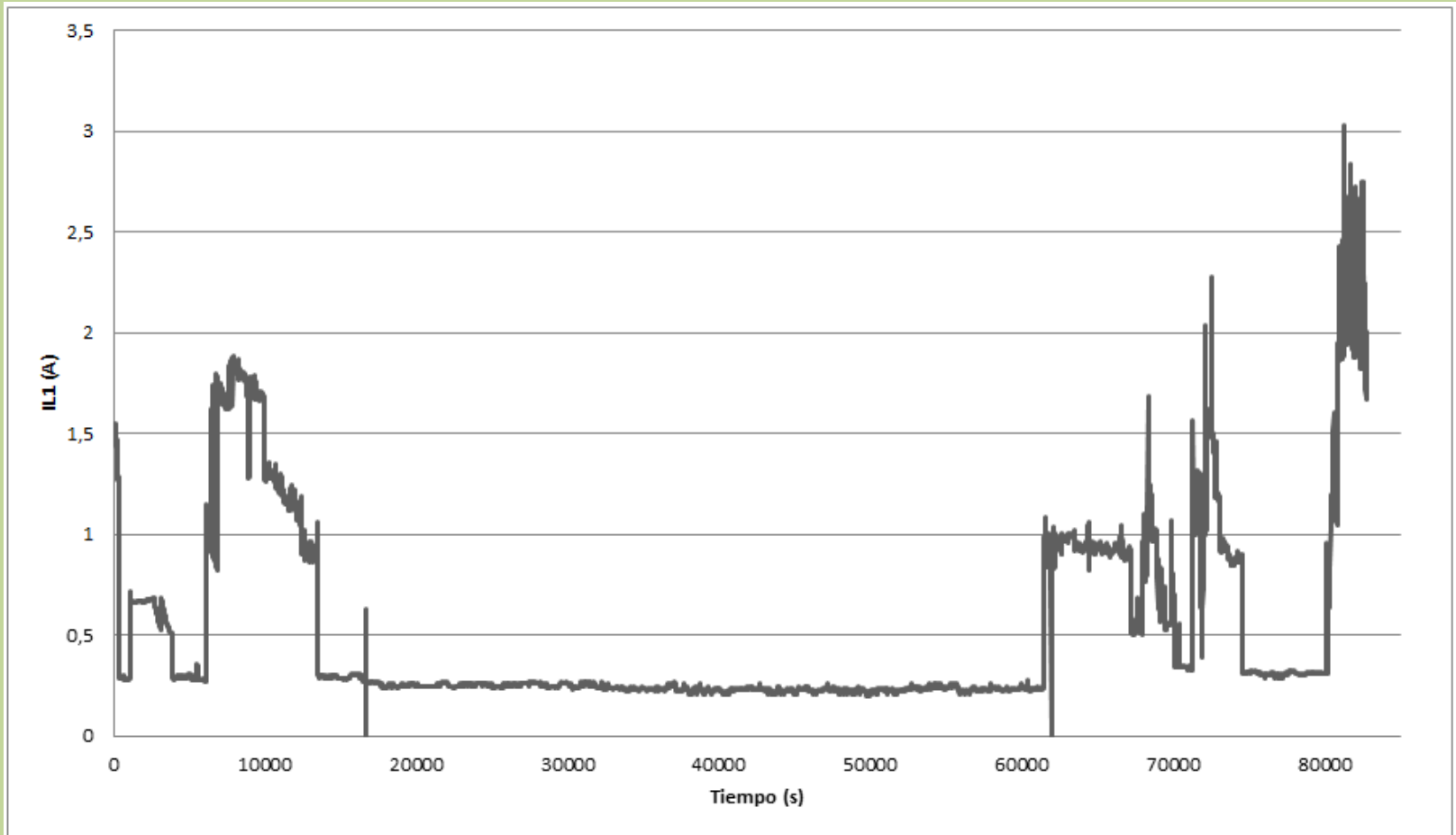


ADQUISICIÓN DE DATOS DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS



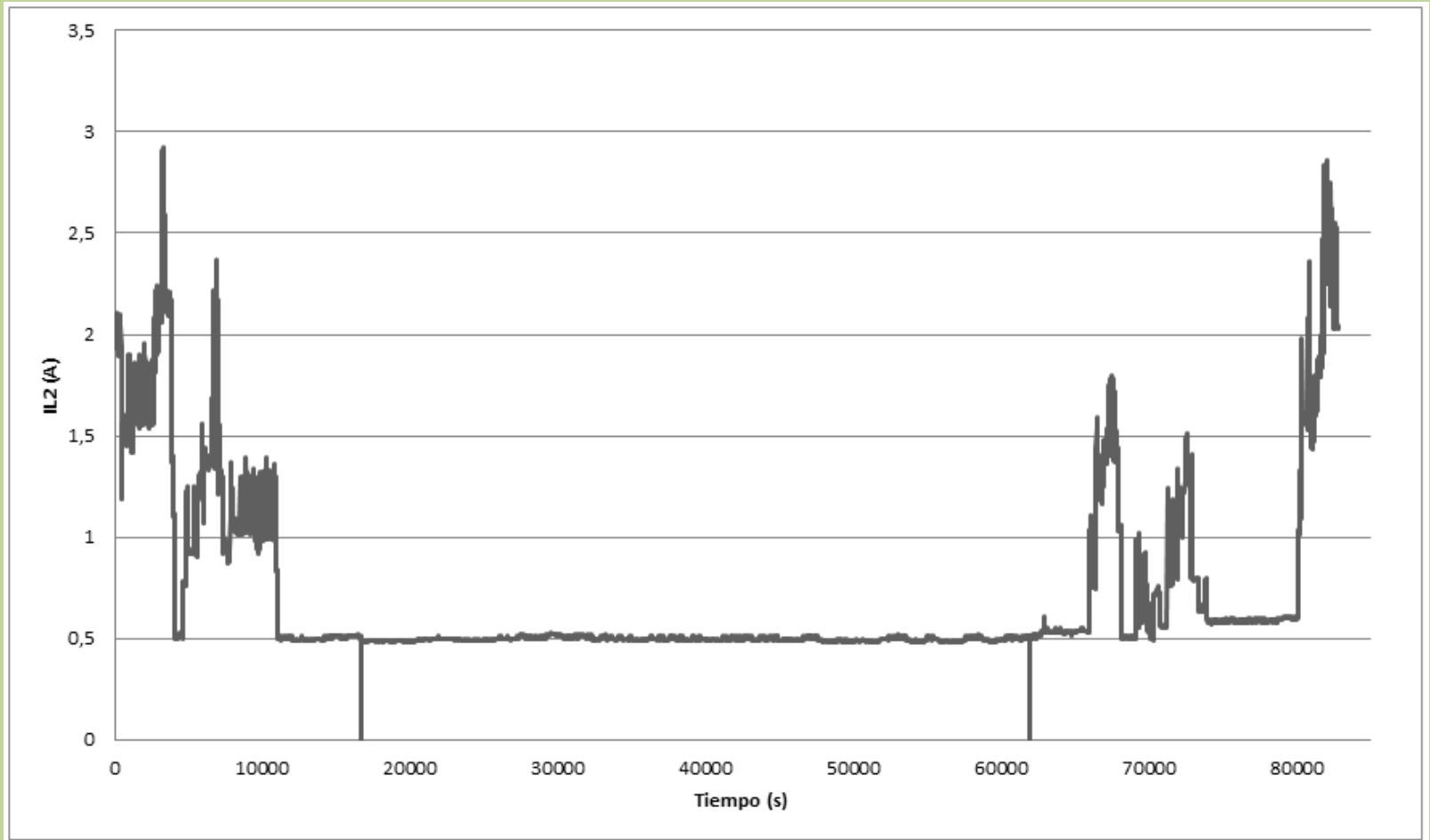


ADQUISICIÓN DE DATOS DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS



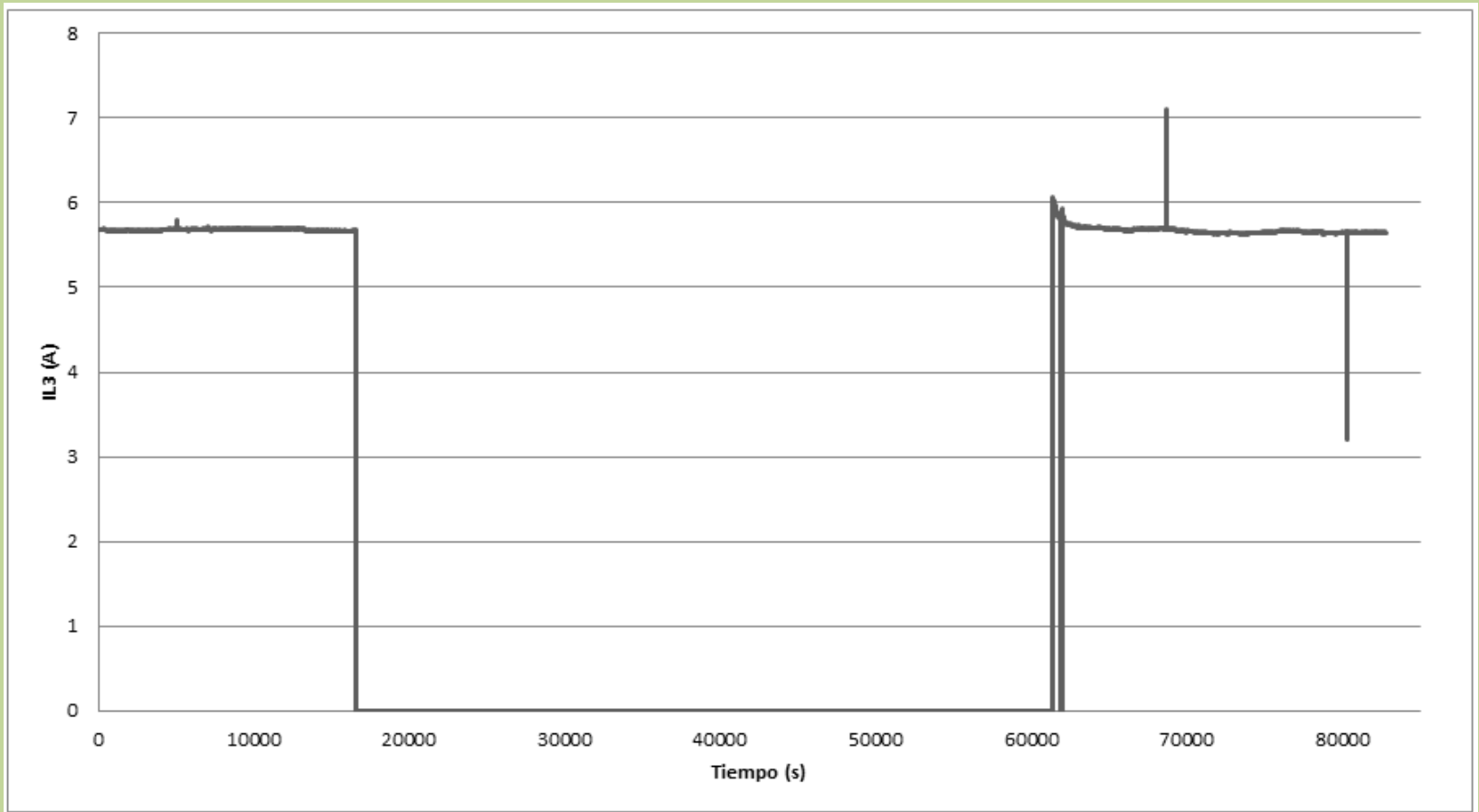


ADQUISICIÓN DE DATOS DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS



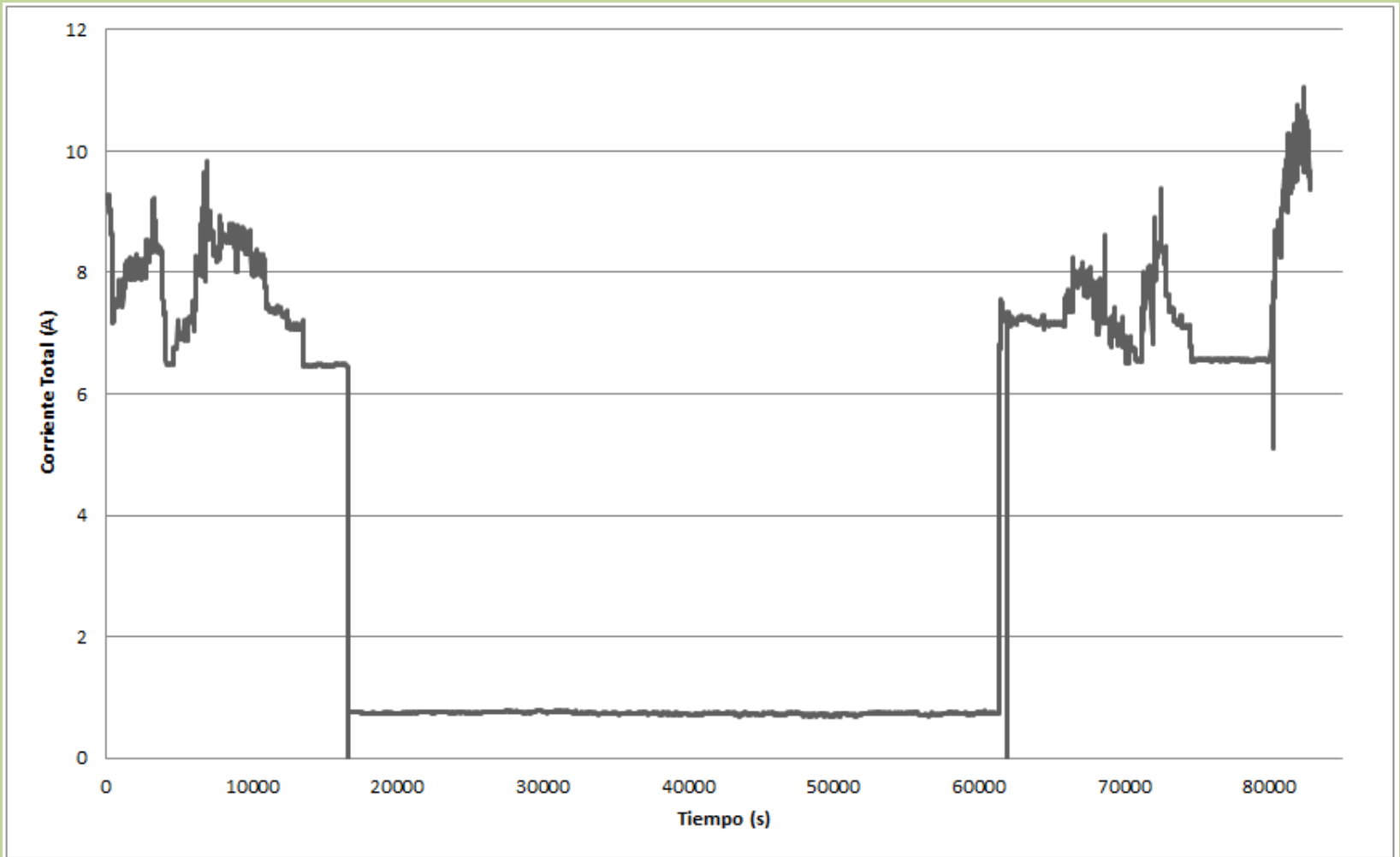


ADQUISICIÓN DE DATOS DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS



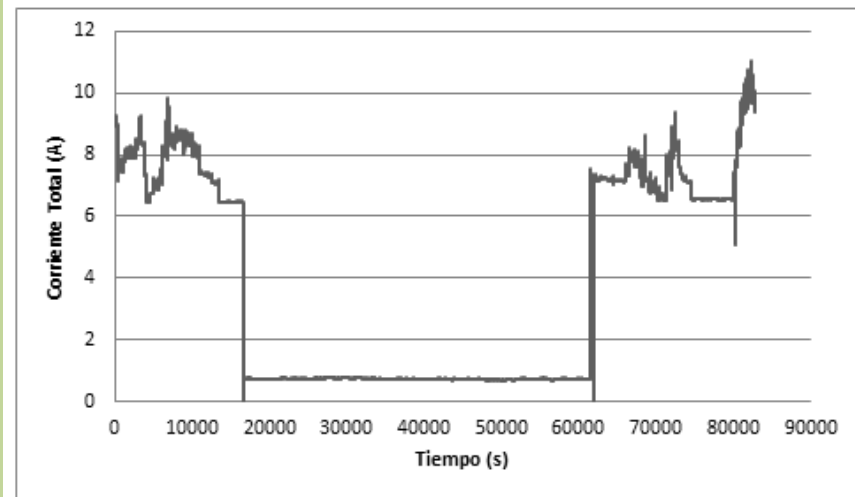
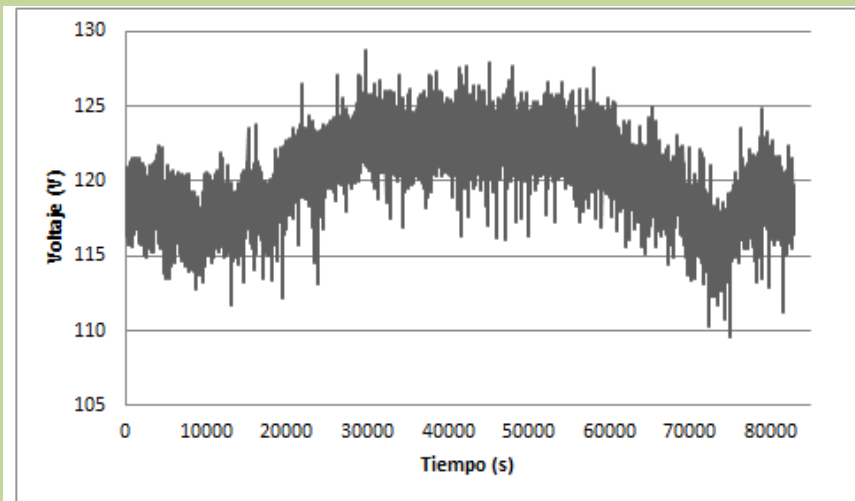


ADQUISICIÓN DE DATOS DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS





ADQUISICIÓN DE DATOS DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS



Como se puede observar en la figura la tensión medida varía mucho, ya que al aumentar la demanda de corriente el voltaje tiende a disminuir, lo cual valida el funcionamiento del registrador.

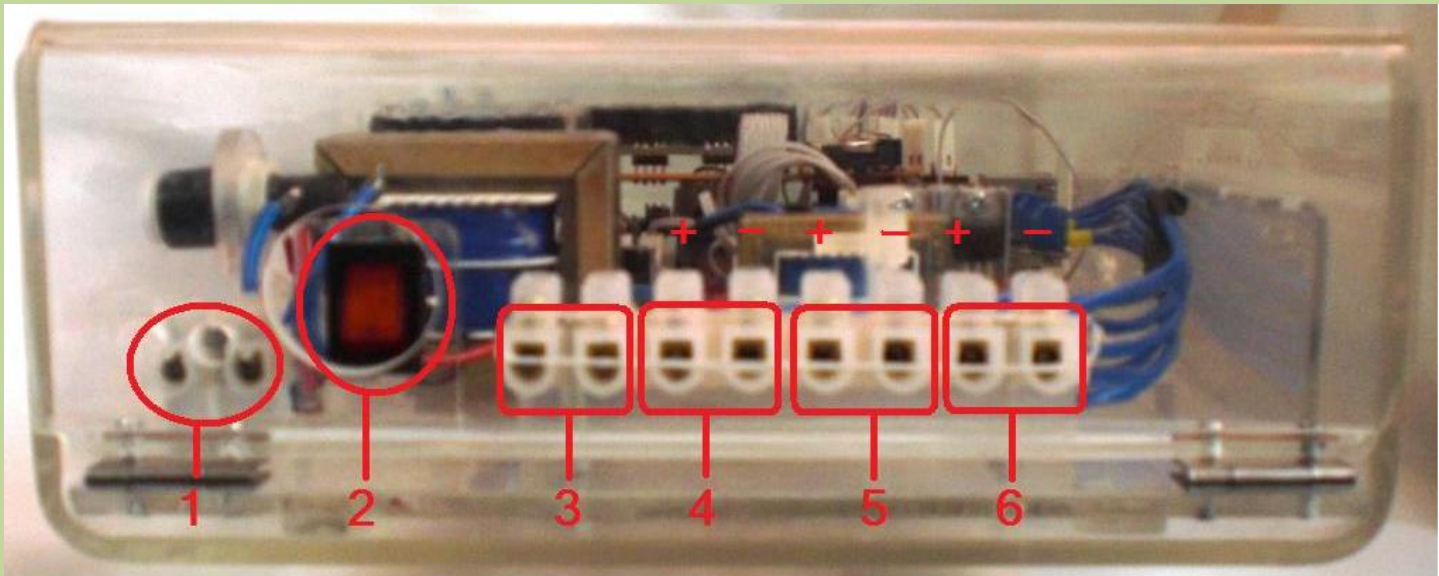


ADQUISICIÓN DE DATOS DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS

Las gráficas anteriores se generaron a partir del archivo de almacenamiento del registrador de variables eléctricas. La adquisición de datos se la realizó durante 23 horas por lo que se obtuvieron 13800 muestras; el registrador almacena una muestra cada 6 segundos, el archivo de almacenamiento ocupó un espacio de 453 KB en la tarjeta de memoria SD por lo que se puede determinar que una tarjeta de memoria de 2 GB permite almacenar la información de 4629 días aproximadamente, lo cual es suficiente para el propósito del registrador.



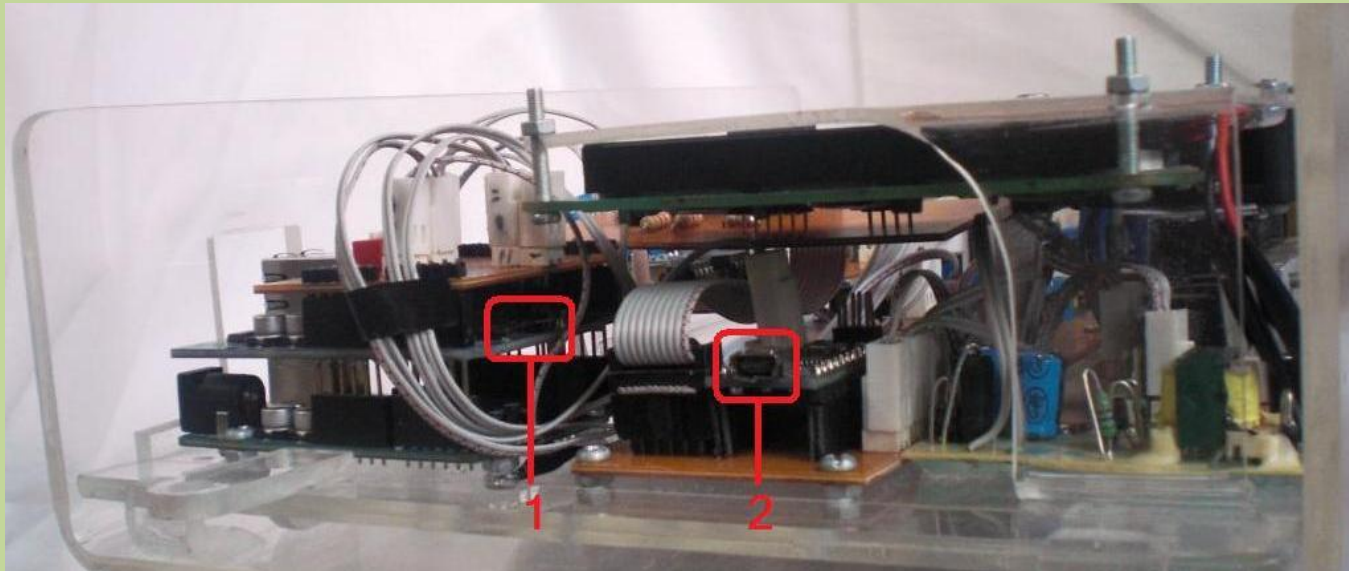
PERSPECTIVAS DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS



1. Entrada para la alimentación 110 Vca.
2. Interruptor encendido / apagado.
3. Entrada para sensor de voltaje.
4. Entrada para el sensor de corriente IL3
5. Entrada para el sensor de corriente IL2
6. Entrada para el sensor de corriente IL1



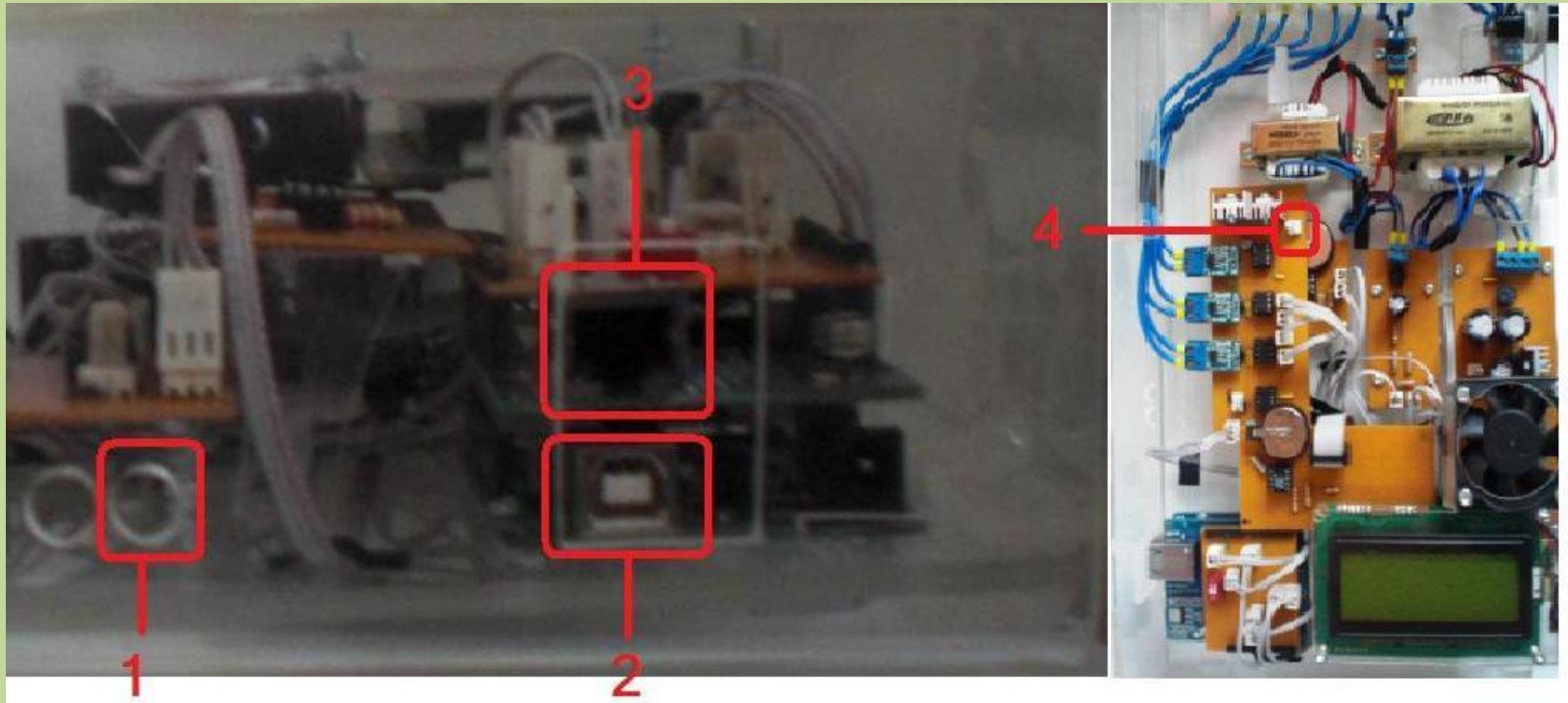
PERSPECTIVAS DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS



1. Entrada de la tarjeta de memoria SD.
2. Conector hembra USB tipo mini B para la comunicación PC a Arduino Nano



PERSPECTIVAS DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS



1. Entrada para el cable del adaptador de 9 Vcd
2. Conector hembra USB tipo B para la comunicación PC a Arduino UNO.
3. Conector hembra RJ-45 para la comunicación Ethernet.
4. Conector para el adaptador de 9 Vcd.



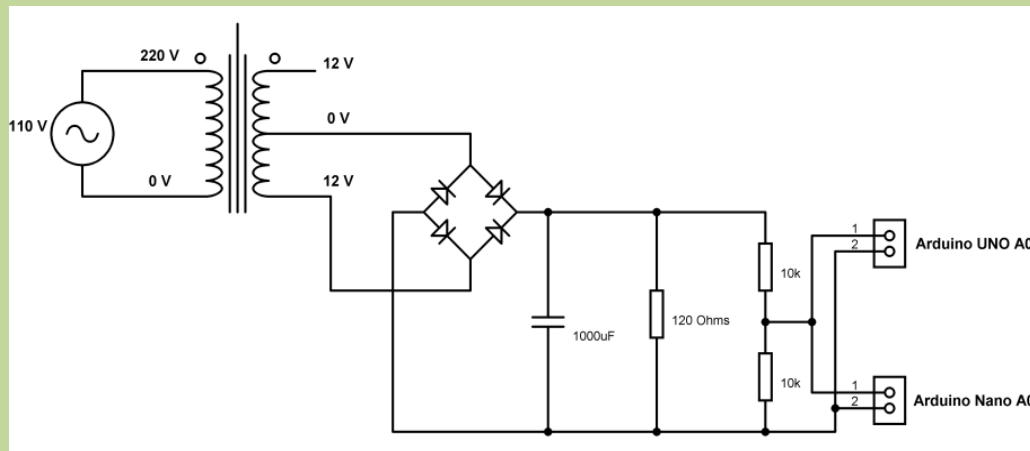
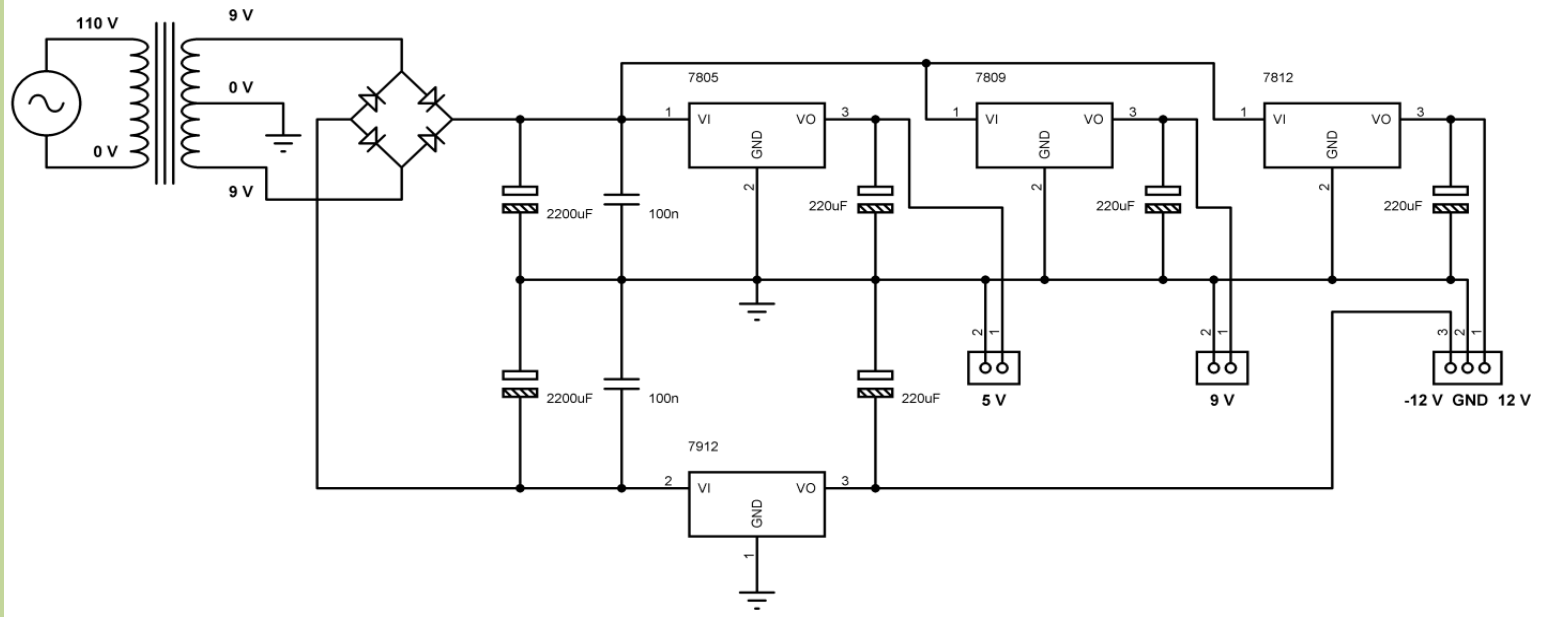
PERSPECTIVAS DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS



1. Porta fusible.

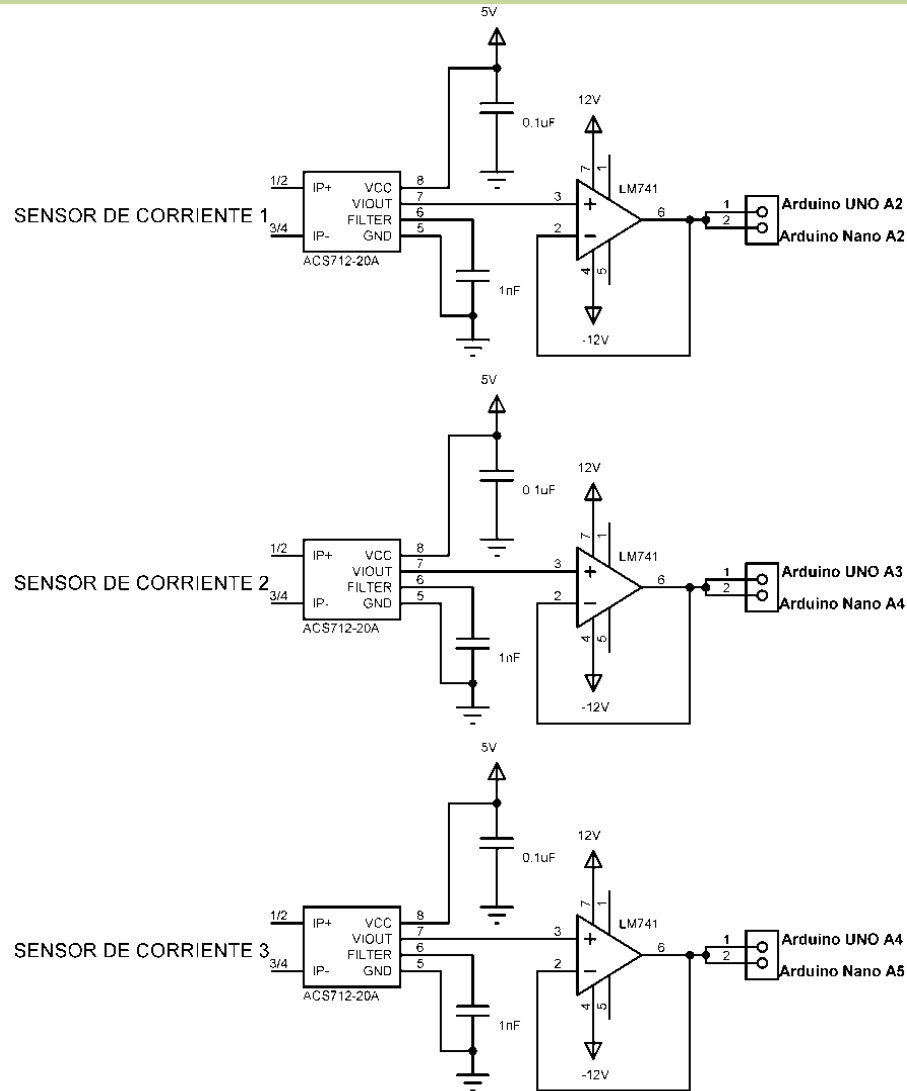


CIRCUITO ESQUEMÁTICO DEL REGISTRADOR



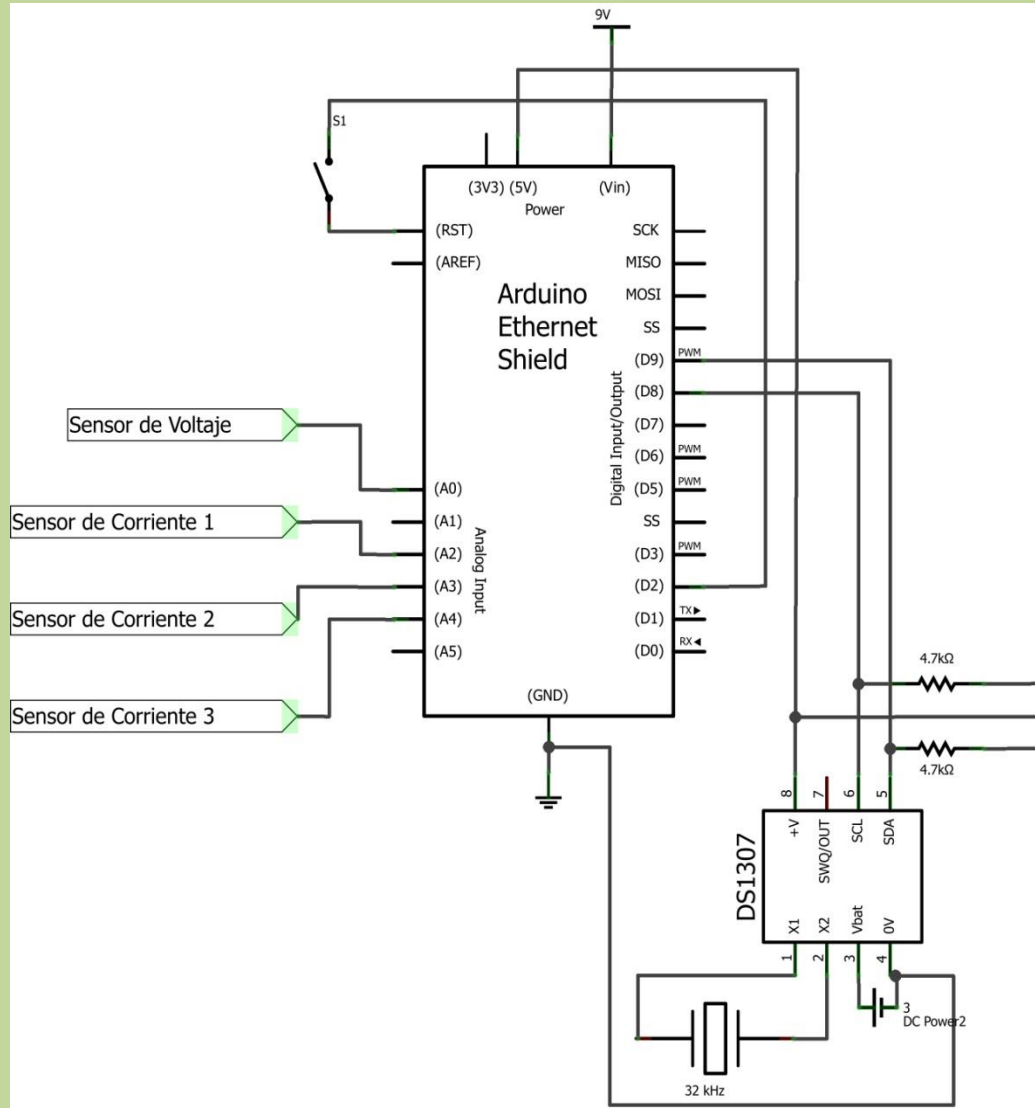


CIRCUITO ESQUEMÁTICO DEL REGISTRADOR



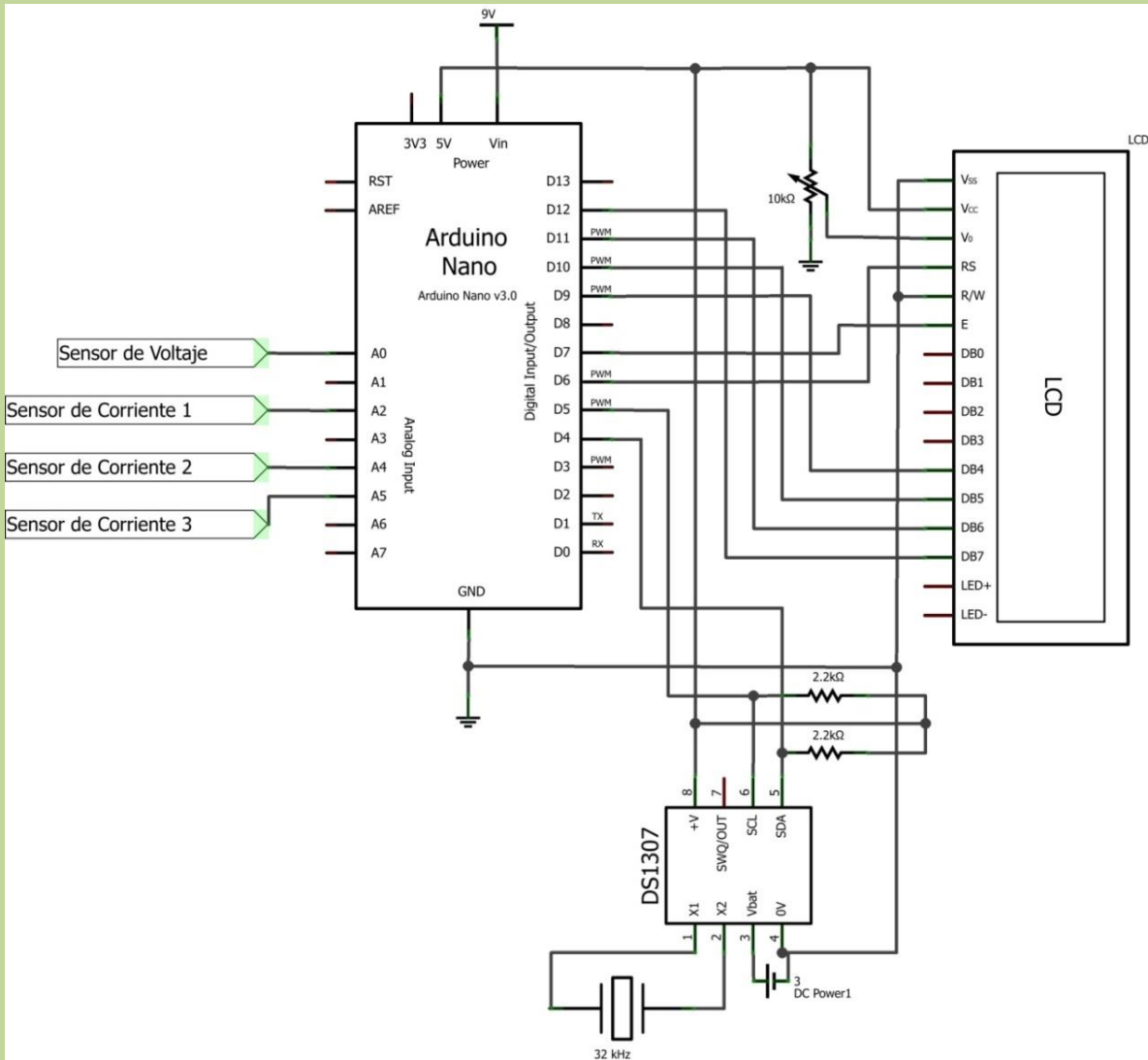


CIRCUITO ESQUEMÁTICO DEL REGISTRADOR





CIRCUITO ESQUEMÁTICO DEL REGISTRADOR





PRESUPUESTO DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS

Cantidad	Descripción	Valor U.	Valor Total
1	Tarjeta Arduino UNO	35	35
1	Tarjeta Arduino Nano	30	30
1	Tarjeta Arduino Ethernet Shield	50	50
1	Pantalla LCD 20x4	20	20
3	Sensores de corriente ACS712 20A	15	45
1	Transformador de 110V a 9-0-9V 1A	7	7
1	Transformador de 220V a 12-0-12V 300mA	4	4
2	Placas PCB 20x30	4,5	9
3	LM741	0,7	2,1
2	Puentes de diodos	1	2
2	RTC DS1307	4	8
2	Osciladores de 32 kHz	1	2



PRESUPUESTO DEL REGISTRADOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS

2	Conectores ICD 10P	1,5	3
20	Molex 2P M&F	0,4	8
2	Molex 3P M&F	0,5	1
1	Ventilador DC 5V a 0,3 A	3,5	3,5
5	Cable Plano (m)	1,25	6,25
7	Borneras 2P	0,5	3,5
1	Tarjeta de memoria 2 GB	6	6
4	Cable Ethernet (m)	0,75	3
1	Cable USB tipo B	5	5
1	Cable USB tipo mini B	5	5
1	Estructura de acrílico	110	110
1	Varios	25	25
240	Horas de programación	12	2880
7	Diseño e impresión de placas PCB	15	105
		Total	3378,35



CONCLUSIONES

- El almacenamiento de datos del registrador de variables eléctricas permite realizar comparaciones numéricas o visuales entre datos antiguos y datos actuales.
- Los valores medidos difieren de los valores calculados porque la tolerancia de las resistencias internas de los dispositivos utilizados no son exactas.
- La exactitud del prototipo es directamente proporcional a la calibración realizada, por lo que requieren patrones de referencia adecuados para su correcto funcionamiento.
- Las tarjetas Arduino UNO y Arduino Nano soportan perfectamente las comunicaciones SPI e I2C, lo cual facilita la conexión con diferentes periféricos.



CONCLUSIONES

- El software de programación de Arduino es una herramienta muy poderosa, en especial por la facilidad que tiene para agregar librerías, las mismas que proporcionan el soporte para realizar todo tipo de aplicaciones.
- El entorno de Arduino no presenta escalabilidad en sus diferentes versiones lo cual es una desventaja al momento de programar ya que el nombre de las funciones cambia, lo que complica el uso de las librerías del software.
- El dispositivo desarrollado puede ser utilizado para registrar el comportamiento de la carga de una residencia o de una industria, siempre y cuando sea un sistema monofásico.



CONCLUSIONES

- Al finalizar este proyecto se concluye que este dispositivo es de beneficio para las empresas; pues permite comparar el consumo de kWh con el de la planilla eléctrica, así como poder determinar las horas de mayor consumo a través de las líneas de carga, lo cual facilitaría determinar el uso de cierta maquinaria para aprovechar las diferentes tarifas eléctricas y así generar ahorro monetario para la empresa y consumidor.



RECOMENDACIONES

- Apagar el Bluetooth del computador cuando se vaya a utilizar el software de programación de Arduino para evitar el error launch4j, el cual es un error de java.
- Colocar el registrador en un sitio donde no este contacto con líquidos, calor excesivo entre otros. El sitio donde se lo coloque tiene que estar al alcance del usuario para que puede visualizar y configurar al dispositivo.
- Es importante conectar los sensores de corriente después de las protecciones del sistema eléctrico para evitar el daño de los mismos.
- Leer detalladamente el manual de usuario antes de realizar la instalación del registrador de variables eléctricas para tener un funcionamiento adecuado del mismo.



RECOMENDACIONES

- Para acoplar el registrador de variables eléctricas a un sistema trifásico es necesario aumentar dos sensores de voltaje y modificar ligeramente su programación.
- Se recomienda para futuros temas relacionados utilizar la tarjeta Arduino MEGA para obtener una mayor capacidad de memoria de programación y así poder incluir el estudio de armónicos.