

Capítulo 3: ALIMENTACIÓN Y CONSUMO DEL CIRCUITO

1. INTRODUCCIÓN

Para realizar un estudio del consumo total del sistema, tenemos que fijarnos en los elementos activos que componen el nodo sensor. Estos elementos condicionarán el funcionamiento del circuito, algunos de ellos tienen un comportamiento no lineal, esto es, la relación entre la tensión aplicada y la corriente demandada no es lineal. En la siguiente tabla se muestran las tensiones de alimentación de los componentes:

Componentes	Modelo	Tensión de alimentación	Utilización	Tipo de tensión
Sensor CO ₂	TGS4161	5 ± 0.2 V	Periódica	Regulada
Arduino UNO	ATmega328	7 – 12 V	Permanente	Regulada
Circuito de acondicionamiento	TLC271	3 – 16 V	Periódica	Regulada
Módem GSM	Cinterion TC65T	8 – 30 V	Permanente	No regulada
RTC	DS 1307	5 V	Permanente	Regulada
TTL-RS232	MAX232	5 V	Permanente	Regulada
Lector SD	LC Studio	5 V	Periódica	Regulada

Tabla 6. Tensiones de alimentación de los componentes activos.

Con respecto al tema de la alimentación de nuestro sistema puede surgir un problema de ruidos, cuando la parte digital (módem, lector SD,...) esté conmutando, el consumo de corriente será intermitente y eso producirá pequeñas subidas y bajadas de tensión en la línea de alimentación, por este motivo se va a tener dos líneas reguladas de alimentación una para la parte digital y otra para la parte analógica. Si por ejemplo estamos tomando medidas del sensor TGS4161 mientras se están guardando datos en la tarjeta SD o se está enviando datos por el módem GSM aumenta la probabilidad de que los valores capturados por el convertidor analógico-digital del Arduino “varíen” un poco. De hecho, el propio AVR estará continuamente metiendo ruido porque él también está conmutando, el manual del AVR habla de que los dos bits inferiores del convertidor analógico-digital son difícilmente usables.

2. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Nuestro nodo sensor va a ser un sistema autónomo con lo cual podrá ser ubicado en cualquier localización sin que ello afecte a su funcionamiento. Para alimentar este sistema se ha decidido colocar un panel fotovoltaico junto con una batería que nos proporcione la alimentación necesaria en días de poca radiación solar o por las noches cuando la placa no suministre tensión alguna. Los componentes del sistema de alimentación, el panel fotovoltaico, la batería y el regulador de carga, se describen en los siguientes apartados.

2.1. Panel fotovoltaico

Los paneles o módulos fotovoltaicos (llamados comúnmente paneles solares) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellas (electricidad solar). El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación de 1000 W/m².
- Temperatura de célula de 25 °C (no temperatura ambiente).

La mayoría de los paneles solares son de tipo monocristalinos dando un voltaje entre 14 y 24 V dependiendo de la cantidad de luz solar que están recibiendo. Los paneles monocristalinos están clasificados como 12 V, aunque tan sólo lo producen bajo condiciones perfectas de exposición de luz, por ello se diseñan para producir entre 14 y 24 V. Los paneles solares necesitan proporcionar voltajes usables en condiciones y temperaturas altas de luz corta.



Figura 30. Panel Solar.

2.2. Controlador o regulador de carga

Los reguladores solares de carga son similares a los reguladores de tensión que podemos encontrar en cualquier circuito electrónico. Regulan la corriente (amperaje) y el voltaje entre el panel fotovoltaico y la batería. Su misión es evitar que pase demasiada corriente a la batería desde el panel solar o que la batería se descargue demasiado, se intercala entre panel y batería y entre batería y circuito de carga.

Nuestro regulador de carga utiliza el método de modulación de anchura de pulso (PWM) para realizar la carga de la batería. En vez de realizar una carga constante de la batería, el regulador de la carga está comprobando constantemente el estado de la carga de la batería. Esto permite que el regulador de la carga determine la frecuencia de los pulsos que está enviando. Por ejemplo, en una batería completamente cargada, el regulador de carga enviará pulsos a la batería cada pocos segundos, esto se llama carga de flotación. En una batería que no se cargue completamente los pulsos serán más largos o continuos. Entre los pulsos que manda el regulador de carga detecta el estado de las baterías y ajusta la frecuencia del pulso siguiente.

Las ventajas que ofrece este método son las siguientes:

- Mantiene el voltaje de la batería completa.
- Evita que la batería se cargue excesivamente.
- Evita que la batería se sobre-descargue.
- Previene el descargue de la batería durante la noche.



Figura 31. Regulador de carga.

El regulador de carga consta de 4 etapas de carga para proporcionar una mayor capacidad y vida de la batería, su algoritmo de funcionamiento responde de la siguiente manera carga normal, sobrecarga, equalización o equilibrado y flotación, tal y como se puede observar en la siguiente figura.

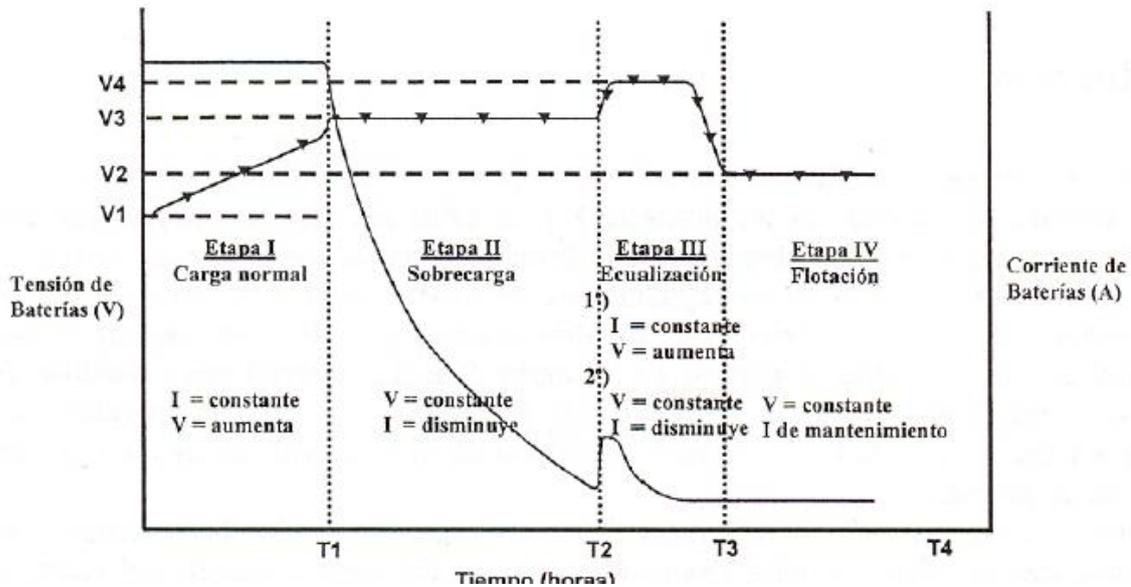


Figura 32. Etapas de carga del regulador de carga.

2.3. Batería

Se le denomina batería, batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, al dispositivo que almacena energía eléctrica, usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad, este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces. Se trata de un generador eléctrico secundario, es decir, un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina proceso de carga.

Con el término pila, se suele denominar a los generadores de electricidad no recargables, generalmente las pilas se pueden dividir en dos grandes tipos, las pilas primarias y las pilas secundarias. Las pilas primarias son aquellas que se agotan y son desechadas, las secundarias son las que pueden recargarse, esta clase de pilas son llamadas baterías.

Los valores más importantes de una batería son los siguientes:

- Voltaje Nominal

El voltaje nominal de un elemento de plomo ácido, independientemente del número de placas positivas y negativas o de su capacidad, es de 2 V. Este valor se toma habitualmente cuando nos referimos a voltaje de la batería. Por ejemplo, una batería de 36 V. tiene 18 elementos conectados en serie. En la práctica, el voltaje del elemento depende del estado de carga, de la temperatura, de la corriente de carga o descarga y de la edad del elemento.

- Voltaje en Carga

El voltaje de una batería en carga es más alto que el voltaje en circuito abierto, no solamente debido al voltaje opuesto a la batería, sino también a la caída de tensión debida a la resistencia interna, cuando la corriente fluye. Así:

VOLTAJE EN CARGA = VOLTAJE EN CIRCUITO ABIERTO + (INTENSIDAD X RESISTENCIA INTERNA).

Mientras la carga va continuando, la subida de voltaje debida a la resistencia interna aumentará poco al principio, pero a partir de un determinado punto, ésta aumenta rápidamente. Este punto se conoce como el de "gaseo" y es el principio del desprendimiento del oxígeno y del hidrógeno en forma de burbujas de las placas positivas y negativas, respectivamente. Este punto, normalmente corresponde a una tensión de 2,35 a 2,40 V. Al final de la carga, el elemento estará entre los 2,60 y 2,70 V.

- Voltaje en descarga

El voltaje en descarga es menor que el voltaje en circuito abierto. Hay una caída de voltaje debido a la resistencia interna del mismo elemento. Mientras la batería se descarga, la resistencia aumenta y el voltaje se reduce.

- Capacidad

El parámetro más importante a la hora de especificar una batería industrial es la capacidad. Definamos qué entendemos como capacidad de una batería. En términos sencillos, diremos que es la cantidad de electricidad contenida en ella y que podemos aprovechar para entregar corriente a una carga durante un cierto tiempo. Se la simboliza con la letra "C".

La unidad que se utiliza en la práctica es el Amperio hora, que se abrevia Ah. 1 Ah = 3600 Coulomb. En la mayoría de las aplicaciones la corriente es el factor importante y sujeto a control.

La cantidad de amperios hora de una batería viene indicada con la propia batería y suele venir acompañada de un valor que indica la cantidad de horas en las que la batería puede entregar esa cantidad de amperios, este valor es muy importante en las baterías estacionarias y de ciclo profundo, suele darlo el fabricante como C5, C10, C20, C100,.. que respectivamente, indicarían: 5 horas, 10 horas, 20 horas, 100 horas.

Cuanta más alta es la descarga, menor es la capacidad disponible.



Figura 33. Batería de plomo ácido.

Las características de la batería son las siguientes:

- Voltaje Nominal de 12 V.
- Capacidad de 7 Ah.
- Descarga profunda.
- Temperatura de funcionamiento: -20 a 60 °C.
- Batería de plomo-ácido.
- Peso 2.15 kg.
- Medidas: 100 x 151 x 65 mm.

2.4. Montaje

Para realizar el conexionado del sistema de alimentación se realizaran siguiendo este orden:

- Siempre primero el polo negativo.
- Se conecta primero la batería.
- Seguidamente, el panel fotovoltaico.
- Y por último, el circuito de carga.

El proceso de desconexión se realizaría de forma inversa. Se muestra en la figura 15 el sistema completo de alimentación del nodo sensor.

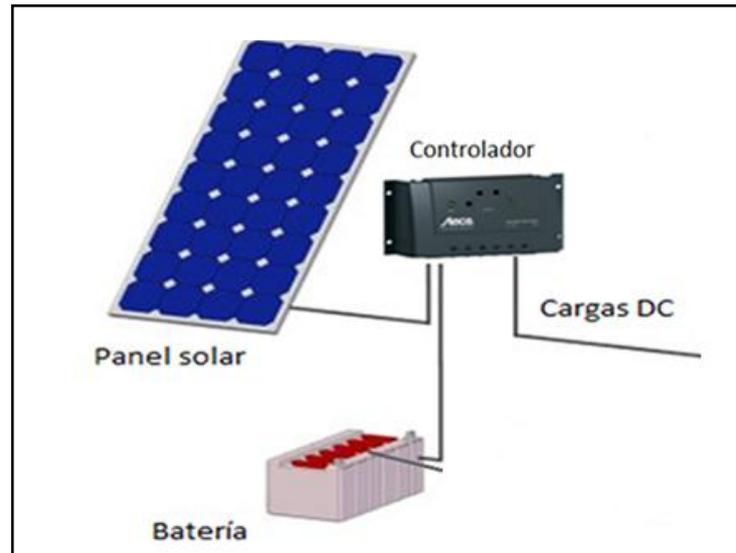


Figura 34. Sistema de alimentación completo.

3. ALIMENTACIÓN DE COMPONENTES

3.1. Alimentación del sensor de CO₂

El sensor TGS4161 necesita para su correcto funcionamiento una tensión continua de 5 V aplicada entre los pines 1 y 4 (resistencia de calentamiento). Esta tensión debe de ser regulada, ya que el valor no debe excederse de la tensión de 5 ± 0.2 V y debe ser lo más constante posible.

Inicialmente surgió la idea de alimentar el sensor directamente desde un pin del microcontrolador (corriente máxima de 40 mA), pero esta idea se descartó por las indicaciones que proporciona el fabricante en su hoja de especificaciones, observamos que la corriente de alimentación del TGS4161 es de 50 mA.

La tensión disponible proviene de la salida del regulador proporcionando aproximadamente unos 14 V, por este motivo es necesario utilizar algún dispositivo para pasar de esos 14 V no regulados a 5 V regulados. Finalmente se decidió utilizar el regulador de tensión 7805 para alimentar el TGS4161 y tener así una tensión regulada y constante en el tiempo.

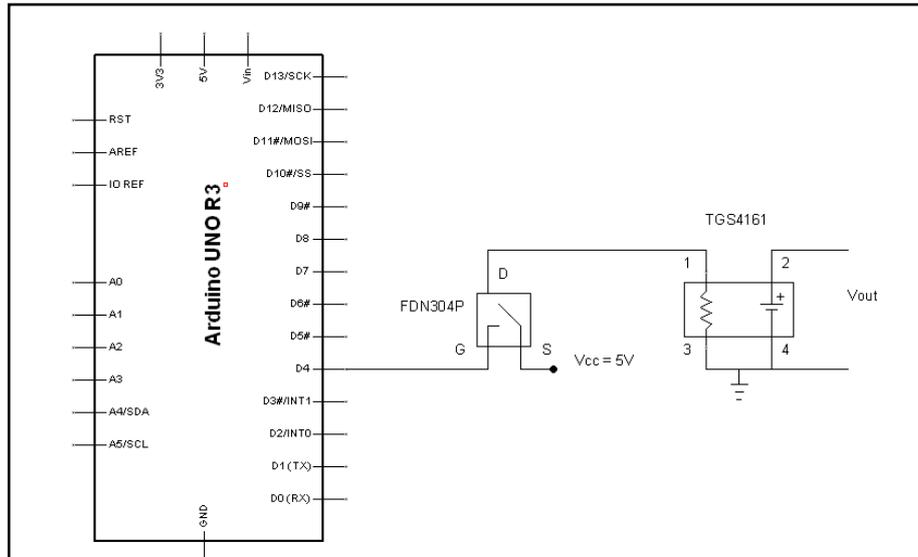


Figura 35. Circuito alimentación del sensor TGS4161.

3.2. Alimentación del circuito de acondicionamiento de señal

La tensión de alimentación del circuito integrado TLC271 varía entre 3 y 16 V, esta tensión puede variar dentro de este margen sin que se vea afectado su funcionamiento. Por otro lado esta tensión es necesaria solamente cuando está activo el sensor de CO₂. Se ha decidido sacar esta tensión desde uno de los pines de la placa, programada esta salida para estar activa solamente cuando necesitamos realizar la medida. De modo que el amplificador operacional no consume durante todo el periodo que el sensor está inactivo. Como se ha comentado anteriormente la corriente máxima por cada pin del microcontrolador es de 40mA. Del datasheet del TLC271 sabemos que la corriente de consumo del amplificador operacional es de 5 mA, por lo que no hay ningún problema de realizar este método de alimentación.

3.3 Alimentación del módem Cinterion TC65T

El rango de la tensión de funcionamiento del módem Cinterion TC65 es de 8 a 30 V. La tensión disponible proviene de la salida del regulador que proporciona aproximadamente unos 14 V no regulados, pasando a 12 V regulados a través de un regulador de tensión (L7812). El Cinterion TC65T dispone de cuatro estados de funcionamientos en cada uno de ellos tendrá un consumo de energía diferente.

Estado de funcionamiento	Corriente (mA)
Power down	0.5
Sleep mode	29
Speech mode	184
GPRS class 12	330

Tabla 7. Estados de funcionamiento del módem con sus consumos.

Tal y como se puede comprobar en la tabla anterior, el consumo del módem es relativamente bajo cuando se encuentra en el estado "sleep mode" que será la mayoría del tiempo, sólo pasará a estados de mayor consumo cuando llegue un SMS y tenga que enviar los datos al remitente ó cuando necesite enviar un email al servidor, en realizar estas tareas apenas tarda un par de minutos.

3.4. Alimentación de la placa Arduino

La tarjeta ARDUINO UNO R3, puede ser conectada directamente al puerto USB de una computadora y puede obtener de ahí la tensión y la corriente necesaria para bajas cargas, como nuestro sistema va a ser autónomo se ha descartado esta forma de alimentación. También existe la posibilidad de que la placa pueda ser alimentada con voltajes externos regulados, pudiéndose alimentar a través de los terminales Vin y GND o través del conector de alimentación de la tarjeta (para voltajes entre 7 y 12 voltios máximos).

Se ha decidido alimentar la placa a través del plug de alimentación de la tarjeta, el fabricante recomienda una tensión regulada de entre 7 y 12 voltios, eligiendo al igual que en el caso del sensor de CO2 un regulador de tensión entre el regulador de alimentación y la placa pero en este caso será el L7809 que nos va a pasar de 14 V no regulados a 9 V regulados.

3.5. Alimentación de los periféricos digitales

Para alimentar a los periféricos digitales (RTC, lector SD, MAX232) de nuestro sistema vamos a usar los terminales de 5 V y GND de la placa Arduino, la placa conecta el jack de entrada a un diodo en serie con un LM1117, éste es un regulador lineal que baja y regula la tensión de entrada para dejarla en 5 V independientemente de la tensión de entrada (lo mismo que un 7805). El problema que hay es que toda la tensión que hay de más se disipa como calor.

Los tres periféricos necesitan una tensión regulada y lineal en el tiempo de 5 V, por este motivo se ha decidido alimentar a estos tres periféricos de la salida de 5 voltios de Arduino. Además el reloj DS1307 dispone una batería del tipo botón de 3.2 V la cual mantendrá el oscilador interno activo cuando desconectemos la tensión de alimentación.

4. CONSUMO DEL CIRCUITO

4.1 Estimación del consumo

El sistema se ha diseñado para tener el menor consumo posible dentro de las limitaciones de funcionalidades que se le requieren al sistema. El consumo del sensor de CO₂ y el circuito de acondicionamiento de la señal van a depender del tiempo que estén activos. Para el microcontrolador, el módulo GSM y los diferentes periféricos conectados a la placa de Arduino el consumo depende del tiempo que éstos estén en los diferentes estados energéticos, dependiendo éstos de las tareas que realice el sistema.

Se ha tomado como punto de partida las siguientes condiciones de trabajo:

- Medidas de CO₂ cada hora.
- Tiempo de calentamiento del sensor de CO₂ de 20 segundos.
- Envío de 1 SMS por día aproximadamente.
- Transmisión de email cada 24 horas.
- El resto del tiempo el sistema está dormido (sleep mode).

El tiempo de calentamiento del sensor de CO₂ (20 segundos) se considera suficiente a partir de los resultados obtenidos experimentalmente. El tiempo que pasa cada dispositivo en cada estado energético son difíciles de estimar teóricamente y se han determinado experimentalmente.

En la tabla 8 se muestran los tiempos que pasa cada dispositivo en cada estado para las condiciones anteriormente citadas. El módulo GSM siempre está en modo de bajo consumo a la espera de recibir algún SMS, así como la placa Arduino.

Dispositivo	Proceso	Modo	Tiempo(s)	Nº de activaciones	Tiempo diario
TGS4161	Calentamiento	Activado	20	25	500
TLC271	Acondicionamiento señal	Activado	20	25	500
Módem	Envío SMS	Active	20	1	20
Módem	Envío email	Active	60	1	60
Módem	Sleep	Sleep	---	---	86320
Arduino	Medida de CO2	Active	20	25	500
Arduino	Transmisión SMS	Active	20	1	20
Arduino	Transmisión email	Active	60	1	60
Arduino	Sleep	Sleep	---	---	85820
MAX 232	Conversión	Active	80	2	160
MAX 232	Sleep	Sleep	---	---	86130

Tabla 8. Tiempos estimados de funcionamiento diario de cada dispositivo.

A partir de los tiempos calculados en la tabla 8 se ha estimado el consumo diario teórico del sistema en la tabla 9 en dónde los consumos son los especificados por los fabricantes.

<i>Dispositivo</i>	<i>Proceso / modo</i>	<i>Tiempo diario(s)</i>	<i>Consumo (mA)</i>	<i>Consumo Diario (mAs)</i>
Arduino	Modo Active	580	55	31900
Arduino	Modo Sleep	85820	50	4291000
MAX232	Modo Active	86130	11	947430
MAX232	Modo Sleep	160	11	1760
TGS4161	Modo Active	500	50	25000
TLC271	Modo Active	500	2	1000
Módem	Modo Active	80	189	15120
Módem	Modo Sleep	86320	29	2503280
Consumo total teórico del sistema por día				7.816.490 mAs

Tabla 9. Consumos teóricos estimados del sistema.

4.2 Consumo medido

Se han utilizado los mismos tiempos medidos para el cálculo teórico. Para las medidas de corriente se ha utilizado un polímetro de laboratorio en serie con cada dispositivo, permitiendo de esta manera realizar las medidas de forma independiente. La tabla 10 muestra los valores medidos y el consumo diario estimado, que coincide en gran manera con el consumo previsto.

<i>Dispositivo</i>	<i>Proceso / modo</i>	<i>Tiempo diario(s)</i>	<i>Consumo (mA)</i>	<i>Consumo Diario (mAs)</i>
Arduino	Modo Active	580	61	35380
Arduino	Modo Sleep	85820	55	4720100
MAX232	Modo Sleep	86130	12	1033560
MAX232	Modo Active	160	12	1920
TGS4161	Modo Active	500	50	25000
TLC271	Modo Active	500	2	1000
Módem	Modo Active	80	300	24000
Módem	Modo Sleep	86320	21	1812720
Consumo total experimental del sistema por día				7.653.680 mAs

Tabla 10. Consumos experimentales del sistema.

El consumo diario medio será de 2,13 Ah, la batería que se ha instalado proporciona 7 Ah, por lo tanto el sistema podrá funcionar correctamente durante unos 3 días. Se optó por incluir un panel fotovoltaico que recargue la batería y suministre la energía en días en que la incidencia de la luz solar sea lo suficiente para mantener el sistema.

Se deduce de los cálculos de consumo que la duración de la batería está limitada por los ciclos de trabajo del micro, el módem GSM y el max232, son unos consumos excesivos para una aplicación de estas características pero cuenta con la gran ventaja de que el sistema está las 24 horas del día recabando información de las condiciones del lugar, además de poder realizar una consulta vía SMS en cualquier instante.

También se podría haber optado por programar unas ventanas de comunicación al sistema y que sólo esté trabajando unas horas determinadas del día, en las restantes el módem GSM y el max232 estarían apagados y sólo consumiría el Arduino, produciéndose de esta manera un ahorro considerable de energía.

La parte digital será alimentada directamente de la salida regulada de 5 V procedente de la placa Arduino. Para la parte analógica se va a usar un regulador de tensión 7805 conectado directamente a la batería para así tener una tensión regulada y constante en el tiempo, el regulador de tensión 7805 es un dispositivo que permite generar a su salida una tensión continua a partir de una tensión continua de entrada de mayor valor y no regulada.