

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO:
NARIZ ELECTRÓNICA

Profesor coordinador

Dr. Ordinez, Leonardo
lordinez@uns.edu.ar

Alumnos

Ainciondo, Diego
diegoainciondo@gmail.com

Dus, Mariano
marianoandresdus@gmail.com

Lobato, Ezequiel
zequilobato@gmail.com

Rúas, Santiago
santiruas@gmail.com

Depto. de Ing. Eléctrica y de Computadoras
Universidad Nacional del Sur
Avenida Alem 1253 – Bahía Blanca, Buenos Aires

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO: NARIZ ELECTRÓNICA

Resumen

El presente artículo describe el trabajo realizado durante el cursado de la materia “Computadoras digitales” en el marco del laboratorio de sistemas embebidos y comunicaciones por interfaz serie y paralela. En el mismo, se introduce la problemática de la detección y medición de gases como el metano o butano, entre otros.

Para resolver esta problemática se desarrolló, lo que en la práctica se denomina “Nariz Electrónica” (ver [3]), siendo ésta, un sistema embebido basado en un microcontrolador de la firma Atmel. La misma consta de dispositivos de entrada tales como sensores y pulsadores, y de salida, una pantalla LCD para brindar la información al usuario.

Las posibles aplicaciones de este desarrollo pueden ser en el ámbito de seguridad doméstica y/o industrial para detectar posibles fugas que pueden conllevar a una potencial catástrofe. También puede ser utilizado para detección de actividad de fermentación anaeróbica en un biodigestor.

A lo largo del siguiente informe se presentará el diseño, desarrollo y puesta en funcionamiento de la “Nariz Electrónica”.

1. Introducción

El gran avance dentro de la seguridad industrial y/o doméstica, junto al desarrollo de sistemas cada vez más sofisticados en ambientes de trabajo, ha implicado la necesidad del diseño de dispositivos electrónicos para controlar dicho entorno de trabajo, ya sea en presencia o no de personas.

Dentro de un gran abanico de problemáticas que pueden presentarse en este ámbito, la presencia de gases indeseables, es una de las más importantes. Especialmente si el gas que se maneja es inodoro, caso que se da en refinerías dentro del área industrial, o bien la presencia de monóxido de carbono en el ambiente doméstico, entre otros.

La detección prematura de estos, permite evitar posibles catástrofes causadas, por ejemplo, por fugas. Así nuestro objetivo fue el diseño de un dispositivo económico

que tiene la capacidad de cuantificar la concentración de un gas específico. Debido a esto, es necesario conocer los potenciales gases presentes para así lograr una medición confiable de la concentración en el ambiente.

Para lograr el objetivo antes mencionado, se decidió realizar un sistema embebido, el cual es un sistema hardware-software capaz de cumplir un objetivo específico para el cual fue desarrollado. En particular, el propósito del sistema embebido desarrollado es que pueda “oler” un determinado gas en el ambiente. De este modo, lo que se estableció desarrollar fue una “Nariz Electrónica”, la cual debía ser capaz de medir la concentración de gas.

En este caso particular, se diseñó la nariz electrónica para detectar metano (CH_4) utilizando 3 sensores y un microcontrolador para el análisis de los datos. La forma en que trabajan estos sensores, es mediante una resistencia, la cual es calentada externamente haciendo que el gas combustione y varíe el valor de la misma. Cada valor de resistencia se corresponde con un valor único de gas en partes por millón de aire.

Para el procesamiento numérico de las muestras adquiridas, se utilizó el microcontrolador Atmel 89C51ED2 y éstas se visualizaron en un *display*.

2. Desarrollo

2.1. Requerimientos

La primera tarea planteada en el desarrollo de todo proyecto de Ingeniería tiene que ver con la identificación precisa de los requerimientos de aquello que se quiere desarrollar. En este caso, se utilizó una metodología planteada por la cátedra [1 y 2], para la identificación, especificación y modelado de requerimientos en sistemas embebidos.

En la Figura 1 se pueden ver los requerimientos identificados. Allí se observa el conjunto de propósitos que componen el mismo y que, en suma, responden a la pregunta acerca de *qué hace el sistema*.

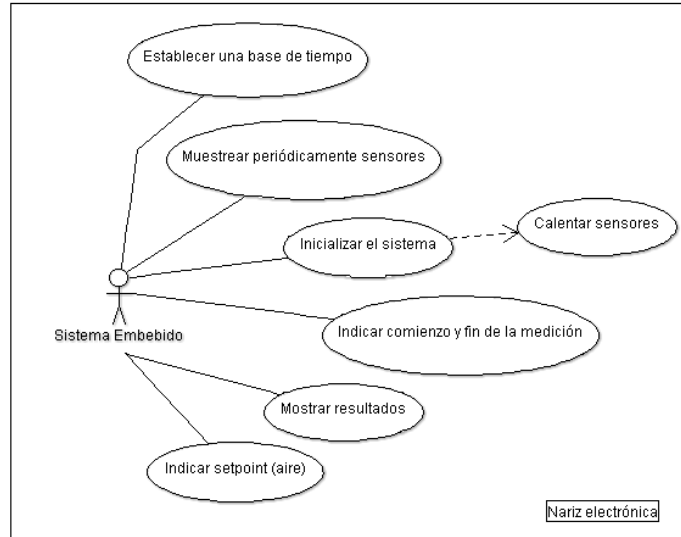


Figura 1: Requerimientos del sistema

2.2. Diseño general del sistema

En la Figura 2, se observa un ciclo de trabajo de la nariz electrónica donde el convertor A/D se encuentra constantemente recibiendo información de los 3 sensores. El microcontrolador cada un determinado tiempo le solicita al convertor los datos de un sensor en particular. El A/D, una vez que convierte el valor analógico a uno digital, se lo envía al microcontrolador para que éste lo procese numéricamente, obtenga las partes por millón del gas medido y lo envíe al *display* para su visualización.

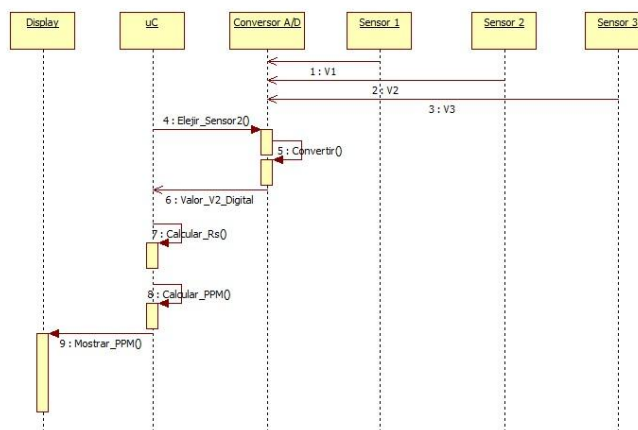


Figura 2: Diagrama de secuencias

2.3. Diagrama de despliegue

En la Figura 3 se muestra el diagrama de despliegue de la nariz electrónica. Antes de comenzar con la explicación del mismo, se procede a enumerar los recursos involucrados:

- Microcontrolador AT89C51ED2 (ver [4])
- LCD LM016L (ver [5])
- Sensores de gas TGS-813, MQ-5 y MQ-7(ver [6]; [7]; [8])
- Conversor analógico digital MCP3208(ver [9])
- Pulsador

El principal de los dispositivos, es el microcontrolador el cual tiene el control total del sistema. Éste se encarga de manejar tanto el *display* como el tiempo de cada ciclo de trabajo, atendiendo las interrupciones externas provenientes del botón y procesando los datos recibidos por parte del A/D. Los dispositivos restantes cumplen una función específica. Por un lado el pulsador se utiliza para tomar referencias de aire para hacer mediciones coherentes, además para cambiar el sensor que se quiere consultar, y por otro lado los sensores son los que miden el respectivo gas en el ambiente de trabajo. Por último, el *display* es el dispositivo cuya finalidad es la de mostrar las mediciones.

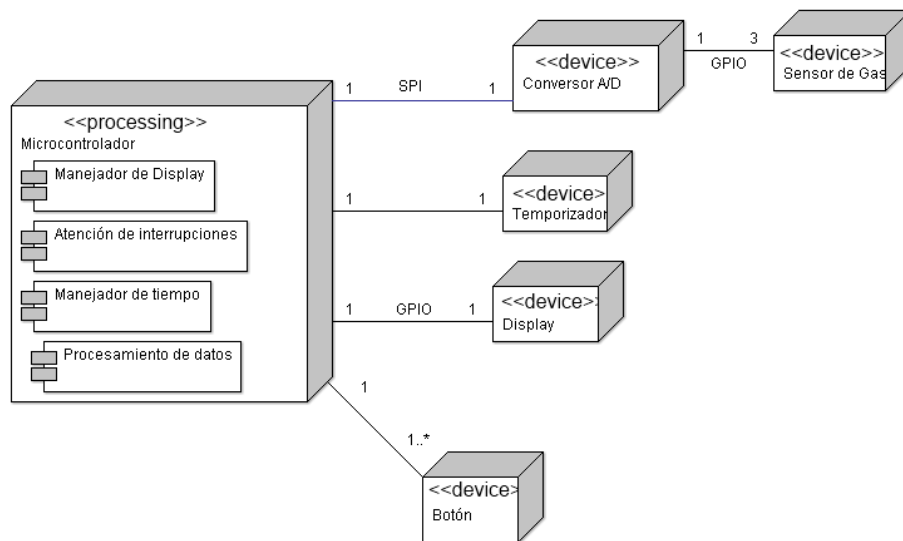


Figura 3: Diagrama de despliegue

A continuación se pasará a explicar más detalladamente cada uno de los componentes del sistema dividido en 3 bloques bien diferenciados.

2.4. Bloque de adquisición de datos

Éste se constituye por el convertor A/D y por el arreglo de sensores. El convertor utilizado fue el MCP3208 que cuenta con una definición de 12 bits, comunicación SPI y 8 canales para realizar mediciones en dos modos de funcionamiento, simple y diferencial. A estos canales se conectaron 3 sensores diferentes para la detección de gas, los cuales entregan un valor analógico proporcional a la concentración de gas que se esté midiendo. Los sensores que se utilizaron fueron “Figaro TGS-813”, “MQ-7” y “MQ-5”. El principio de funcionamiento de estos se basa en una resistencia que presenta baja conductividad en aire limpio, pero en presencia de un gas detectable, la misma aumenta.

Esta variación puede ser detectada mediante el uso de un divisor resistivo como se muestra en la Figura 4.

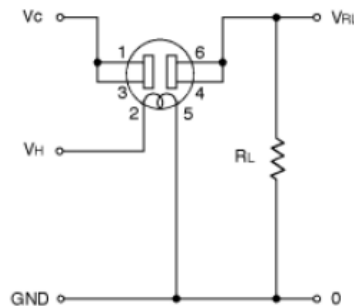


Figura 4: Esquemático circuito de cada sensor

El valor analógico de tensión V_{RL} es tomado por el convertor para ser convertido en un valor digital, y enviado al microcontrolador por medio de la interfaz SPI para su procesamiento. Debido a la importancia de este tipo de comunicación, se procede a explicar más detalladamente su funcionamiento.

2.5. Comunicación SPI

El Bus SPI (del inglés *Serial Peripheral Interface*) es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos. El bus de interfaz de periféricos serie o bus SPI es un estándar para controlar casi cualquier dispositivo electrónico digital, que admita este protocolo de comunicación, aceptando un flujo de bits serie regulado por un reloj.

Por la forma de trabajar del convertor, el microcontrolador debe solicitar la medición con una estructura predefinida, en la cual consta el modo en que se realizará, ya sea simple o diferencial y también el canal que deseamos medir. Como respuesta a esta

rutina el convertor A/D nos entrega el valor de la medición, con una resolución de 12 bits.

Dado el límite de palabra que tiene el protocolo SPI, de 8 bits, para completar la transmisión hay que enviar tres paquetes de un byte, de los cuales el primer byte es desechado y de los dos restantes solo se consideran los 12 bits menos significativos, ya que estos son los bits útiles por parte del convertor.

2.6. Bloque de procesamiento

El microcontrolador Atmel 89c51ED2 es el que comanda las acciones dentro de la Nariz Electrónica. Este cuenta con una arquitectura tipo Harvard de 8 bits, y 64 Kbytes de memoria de programa, 4 puertos de 8 bits bidireccionales y multifuncionales, que ofrecen posibilidades de conexiones de datos paralela y serie (sincrónica y asincrónica). Estas comunicaciones se utilizaron para las dos funciones principales que lleva a cabo el microcontrolador: la adquisición de datos (comunicación SPI) y visualización de los mismos en el *display* (comunicación paralela).

Con respecto al procesamiento numérico, el microcontrolador recibe el valor digital enviado por el convertor, tal como se explicó con anterioridad. Este valor es “convertido” en un valor de tensión para luego calcular la resistencia del sensor y así la concentración de gas en partes por millón (PPM). Esto se calcula de la siguiente manera:

En primer lugar se calcula el valor de V_{RL} con la expresión:

$$V_{RL} = \frac{\text{valor digital} \cdot 5}{4096}$$

El valor de V_{RL} se midió en el punto donde muestra la Figura 4 y una vez que contamos con este valor, conocida la resistencia de carga R_L se pudo despejar la resistencia interna del sensor:

$$R_S = \frac{V_c \cdot R_L}{V_{RL}} - R_L$$

Donde V_c es la tensión de referencia con la cual cuenta el convertor A/D.

En las siguientes líneas de código se puede ver como se realizó en el programa para cumplir este objetivo.

```
numero = pAlta*256+pBaja; //dato recibido desde el conversor
voltaje=(float)numero*5.0/4096.0; //valor de tensión
//"convertida" por el micro
Rs=(Vc*Rl/voltaje)-Rl; //Resistencia interna del sensor
Rs=Rs/Rotgs;
Rsaux=Rs; //sensor TGS
ppm=1004.1*powf(Rs,-2.125); //concentracion de gas como f(Rs)
```

Este valor de PPM es enviado al *display* para su posterior visualización.

2.7. Bloque de visualización

Éste consta de un *display* con 2 líneas de 16 caracteres, a éste se le envían los datos de las mediciones ya procesadas por medio de comandos simples destinados a este fin. El mismo se encuentra conectado a un controlador HD44780 montado internamente, este controlador se conecta al microcontrolador central a través de uno de los puertos, usando una conexión por interfaz paralela.

Para el correcto funcionamiento de éste, se debe inicializar siguiendo un protocolo predefinido por el fabricante. Una vez realizado esto, se realiza la escritura en la pantalla con la utilización de los siguientes comandos.

```
void escribirComando( bit8 ); // Este comando se utiliza para
realizar el borrado, colocando "cLear" como argumento del
procedimiento.
void escribirLcd(int,bit8 *); // Como su nombre lo expresa,
es para escribir en pantalla
void inicializarLcd(void); // Se listan comandos para
inicializar el LCD
```

2.8. Calentamiento y calibración de sensores

Para el correcto funcionamiento de los sensores, fue necesario realizar un precalentamiento de los mismos a través de una resistencia, incorporada internamente para este fin. El tiempo estimado para comenzar a medir valores coherentes, es de 3 a 5 minutos en el cual el sistema entra en un régimen estable de temperatura.

Un problema importante presente en la puesta en marcha del sistema, fue la toma de una referencia fiable (*SetPoint*), a partir de la cual comenzará a medir la diferencia en la concentración del gas presente en el ambiente involucrado. La solución a este problema se basó en tomar la medición de la resistencia del sensor en aire considerado libre de los gases a medir.

Este procedimiento se configuró para realizarlo manualmente, cuando el usuario lo considere necesario, con el simple hecho de mantener presionado el pulsador hasta que se realice el *SetPoint*.

2.9. Prototipo en funcionamiento

En la Figura 5 se pueden ver fotos de las partes que constituyen el sistema trabajando.



Figura 5: a) Recinto para la medición de gases. b) Controlador y *display* de la Nariz Electrónica

3. Conclusiones

A la hora de concluir sobre los aspectos del dispositivo, se puede decir que se tuvieron complicaciones en la programación, ya que al utilizar las variables erróneamente, las mediciones no eran las esperadas.

Otro aspecto a tener en cuenta es el manejo cuidadoso que se debe tener con el dispositivo al momento de realizar las conexiones entre el microcontrolador y los demás componentes. Ya que una conexión errónea de los componentes, podría ocasionar cortocircuitos entre los pines del microcontrolador, el cual dañaría su funcionamiento permanentemente.

Luego, durante el proceso de diseño del dispositivo, se debe resaltar la importancia de la calibración de los sensores. Esto se logra mediante la medición de la resistencia del sensor en aire. Se realiza de esta manera ya que en aire se fija un “cero” o un nivel de referencia a partir de la cual se comenzará a medir.

Se observó también, la discrepancia al momento de medir las concentraciones de gas en cada sensor. Esto se debe a las distintas sensibilidades que presentaba cada uno de ellos para el gas medido.

Una posible causa de errores, puede ser la aproximación de las curvas provistas en las hojas de datos de los sensores, ya que las mismas no eran de simple deducción. Estas curvas eran las encargadas de relacionar el valor de la resistencia del sensor en función de la concentración de gas.

Otro aspecto en el cual se debe tener precisión, es en la búsqueda de la referencia, ya que sin la misma, no se puede tener una óptima calibración de los sensores y la medición del gas no será la correcta.

Una ayuda importante a la hora de realizar el dispositivo, fue la información que nos brindaban las hojas de datos de los distintos componentes utilizados (micro-controlador, sensores, conversor), en conjunto con la brindada por la cátedra.

Por último, se debe mencionar que mediante un conocimiento básico de programación y de electrónica, se llevó a cabo un dispositivo complejo, y se pudo comprobar su funcionamiento. Si bien no se logró el objetivo principal, que era medir el gas metano dentro del recinto, se realizó sobre otro gas (butano) y se detectó satisfactoriamente, aunque cualitativamente y no cuantitativamente, ya que no se ajustaron con precisión las curvas de los sensores anteriormente mencionados al gas utilizado en la práctica. La causa por la cual no se pudo medir el gas metano fue la falta de disponibilidad de muestra.

4. Posibles mejoras

Las curvas provistas en las hojas de datos de los sensores, vienen dadas para el funcionamiento de los mismos a temperatura y humedad ambiente. Pero ante posibles cambios de estos parámetros, estas gráficas sufren modificaciones no despreciables que traen aparejados errores en las mediciones. Una posible solución es la implementación de dos sensores que midan la temperatura y humedad en el lugar de operación del sistema y así realizar correcciones en tiempo real de los datos obtenidos.

Otra potencial mejora puede ser la utilización de una técnica más sofisticada para la adquisición de los parámetros que relacionan la cuantificación de la presencia de gas con respecto a la resistencia del sensor. Esto se puede realizar mediante dos técnicas dificultosas para el ámbito universitario: la primera es contando con muestras parámetros, muy costosas en el mercado, y la segunda es contando con un cromatógrafo, de acceso inviable. Por estas dificultades se utilizaron las curvas genéricas provistas en las hojas de datos de los sensores.

Otro aspecto a mejorar es la incorporación de una señal de alarma lumínico-sonora con la capacidad de conexión en tiempo real con personal de seguridad y emergencia, cuando la concentración gas llegue a un punto de alta peligrosidad.

5. Referencias

[1] “Eliciting Requirements in Small Cyber-Physical Systems”, Leo Ordinez, Omar Alimenti y Lucas Calles, XXXVII Conferencia Latinoamericana de Informática (XXXVII CLEI), Quito, Ecuador, octubre, 2011.

[2] “From User Requirements to Tasks Descriptions in Real-Time Systems”, Leo Ordinez, David Donari, Rodrigo Santos, Javier Orozco, 13th Workshop on Requirements Engineering WER’10, Cuenca, Ecuador, abril, 2010.

[3] Wikipedia “Nariz Electronica”

http://es.wikipedia.org/wiki/Nariz_electr%C3%B3nica

[4] Atmel: “ μ C AT89c51ED2”

<http://www.atmel.com/Images/doc4235.pdf>

[5] Hitachi Semiconductor: “LCD LM016”

<http://www.datasheetarchive.com/LCD%20LM016L-datasheet.html>

[6] Figaro: “TGS-813 Gas Sensor”

<http://www.figarosensor.com/products/813pdf.pdf>

[7] Hanwei electronics co: “MQ-5 Gas Sensor”

<http://www.parallax.com/Portals/0/Downloads/docs/prod/sens/MQ-5.pdf>

[8] Hanwei electronics co: “MQ-7 gas sensor”

<http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>

[9] Conversor analógico a digital

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21298c.pdf>