

Desarrollo e implementación de un dispositivo de adquisición y almacenamiento de sonidos para ganadería de precisión

José O. Chelotti¹, César H. Arrasin¹, Sebastián R. Vanrell^{1,2},
Hugo L. Rufiner^{1,2} y Leonardo L. Giovanini^{1,2}

¹ Centro de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional (sinc(*i*))
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Resumen El monitoreo preciso de las actividades alimentarias de los rumiantes (rumia y pastoreo) es un importante indicador de su salud y bienestar. Un buen seguimiento en la dieta repercute de manera directa en la calidad y cantidad de la leche y carne producidas por el animal. En este trabajo se describe el desarrollo e implementación de un dispositivo de adquisición y almacenamiento de señales para el monitoreo de actividades alimentarias en ganado bovino. Dicho dispositivo tiene por objetivo captar los sonidos producidos por los animales durante su alimentación, sin interferir en su comportamiento normal y sin intervención del operador. El sistema propuesto consta de tres módulos: *i*) un módulo de adquisición y limpieza del sonido producido por el animal, *ii*) un módulo de compresión de la señal resultante, organización y almacenamiento de los datos y *iii*) un módulo de administración de la energía. El sistema fue diseñado para tener una autonomía de una semana y soportar las condiciones operacionales presentes en el campo de aplicación, como son la presencia de ruidos y condiciones climáticas adversas.

Palabras clave: ganadería de precisión, comportamiento alimentario, sonidos, sistemas embebidos, procesamiento de señales.

1. Introducción

Los rumiantes dedican gran parte de su día a la alimentación, ya que una porción importante de la energía obtenida es destinada a las actividades que implican la ingestión misma de los alimentos. Ante el consumo de forrajes de alta calidad, el 10 % de la energía incorporada es consumida en el proceso de alimentación, mientras que para forrajes de baja calidad este porcentaje puede ascender al 25 % [1]. La composición de la alimentación del animal es un factor importante para la producción y salud de los animales. El forraje en la dieta del animal estimula la rumia, la masticación y la producción de saliva. A través de este proceso los microorganismos alojados en el rumen fermentan la fibra y la degradan hasta glucosa, la cual constituye su principal fuente de energía. Igualmente, estos microorganismos degradan los ácidos hasta aminoácidos y péptidos,

que posteriormente son absorbidos en el intestino delgado. Finalmente, este proceso de fermentación ruminal también provee al rumiante de todas las vitaminas necesarias.

Una cantidad inadecuada de forraje en la dieta del animal disminuye las actividades alimentarias, resultando en una reducción de la productividad y un aumento del riesgo en la salud del animal. La saliva producida por el animal durante la rumia introduce bicarbonato, el cual actúa como buffer contra los ácidos del rumen. Una rumia adecuada también es necesaria para mantener una base funcional de fibra en el rumen, lo cual es importante para la prevención de enfermedades asociadas con bajas fibras y acidosis. En cambio una insuficiente rumia puede producir problemas metabólicos en el animal, tales como aftosa, con la consecuente disminución en la productividad del animal. A la inversa, un alto contenido de forraje en la alimentación limita el pastoreo y su digeribilidad, lo cual tiende a reducir la producción y afectar la salud por falta de nutrientes.

Hoy en día, los productores ganaderos se enfrentan a importantes dificultades cuando tratan de mejorar la producción y mantener la rentabilidad. Una de las mayores dificultades, es la falta de información precisa sobre la alimentación y el estado de salud de los animales. Por ello, es necesario un monitoreo preciso de las actividades alimentarias, para así poder cuantificar el comportamiento alimentario y obtener indicadores relevantes del bienestar animal. Algunos métodos de monitoreo se basan en la observación directa o en el uso de dispositivos electromecánicos [2,3,4,5]. La observación directa es un método costoso e inviable para un número elevado de animales, mientras que los dispositivos electromecánicos son útiles pero propensos a fallas, y no pueden distinguir los efectos solapados de arranque y masticación. Una alternativa práctica es el uso de la bioacústica para el estudio del comportamiento alimentario de los animales. Las razones que sustentan su uso son el elevado contenido de información presente en los sonidos [6,7] y que los mismos pueden ser registrados sin perturbar el comportamiento natural del animal [8,9,10]. A partir de los sonidos es posible discriminar entre los diferentes eventos (arranque, arranque y masticación, masticación) y clasificarlos en pastoreo y rumia, e inclusive discriminar entre los diferentes tipos de pastura [7,11]. Esto es posible debido a las diferencias espectrales de los sonidos producidos [7,12,13] y a la secuencia en que ocurren los eventos [12]. Además, es posible diferenciar el tipo de forraje que está ingiriendo el animal [12,14,15].

Si bien se han desarrollado dispositivos específicos para grabar de forma automática los sonidos que reflejan el comportamiento alimentario de los animales, estos son invasivos e imprecisos [16,17,18]. Además, en general requieren calibraciones individuales de acuerdo al forraje utilizado y su periodo de operación no se extiende más allá de las seis horas de funcionamiento continuo. Esta autonomía es útil para monitoreos relativamente cortos o para estudios experimentales. Existen grabadores de sonidos comerciales con una mayor autonomía y una mejor calidad de grabación, pero no están preparados para las condiciones operativas que deben soportar y los datos recogidos necesitan ser procesados para remover los ruidos y perturbaciones registradas.

En este trabajo se describe el desarrollo e implementación de un dispositivo para la adquisición y almacenamiento de señales sonoras para su uso en el análisis del comportamiento alimentario de animales en rodeo no confinado. Dicho dispositivo, tiene por objetivo capturar y almacenar las señales útiles, producidas por los animales, para el análisis del comportamiento alimentario y bienestar animal sin interferir en el comportamiento normal del animal y por un periodo de operación continuo de una semana. El sistema propuesto consta de tres módulos: *i*) un módulo de adquisición y limpieza del sonido producido por el animal, *ii*) un módulo de compresión de la señal resultante, organización y almacenamiento de los paquetes de datos y *iii*) un módulo de administración de la energía.

Este trabajo esta organizado de la siguiente manera: En la Sección 2 se presenta la estructura general del sistema embebido propuesto y los criterios utilizados para desarrollar el diseño de mismo. Se describen además, las funciones y la estructura de cada uno de los módulos, así como los criterios utilizados para su diseño e implementación. En la Sección 3 se presentan los resultados obtenidos, respecto al desarrollo del hardware del dispositivo propuesto, como también respecto a la estructura del software a embeber. Finalmente, en la Sección 4 se presentan las conclusiones.

2. Estructura del dispositivo

El problema que se aborda en este trabajo es el desarrollo e implementación de un dispositivo de adquisición y almacenamiento de información sonora (y cualquier otra información de utilidad). El dispositivo debe ser capaz de operar al aire libre durante una semana sin intervención de un operador. La información recogida será utilizada por un sistema de análisis de información para extraer los parámetros relevantes sobre las actividades alimentarias y bienestar del animal monitoreado [7,12]. En general estos sistemas no son robustos a los ruidos y perturbaciones presentes en las señales, ya que son entrenados con datos en condiciones de señal/ruido grandes, fenómeno conocido como desapareamiento. Dados estos requerimientos, el sistema que desarrollamos debia á tener las siguientes prestaciones:

- Ser capaz de remover los ruidos que se encuentren en la señal.
- Ser capaz de comprimir la señal sonora resultante, integrarla con cualquier otra información que se registre (por ejemplo temperatura ambiente, posición, etc.) y almacenarla en una memoria no volátil.
- Utilizar la energía de la batería en forma eficiente y ser capaz de utilizar la energía solar para recargarla, de modo de operar en forma autónoma.

La Figura 1 presenta el diagrama de bloques general del dispositivo de adquisición y almacenamiento diseñado para satisfacer los requerimientos antes descritos. El sistema consta de tres módulos:

- Un **módulo de adquisición** de sonido es el responsable de adquirir el sonido producido por la vaca y remover los ruidos presentes en la señal. Para realizar

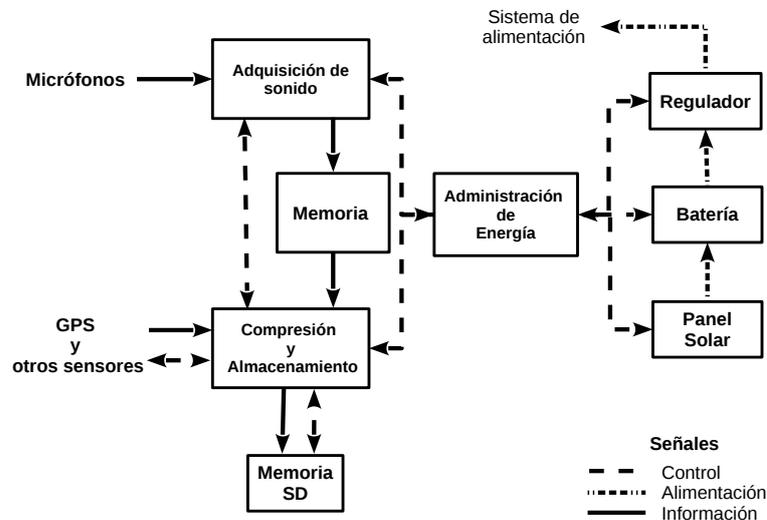


Figura 1: Diagrama de bloques general del sistema.

esta última tarea se optó por utilizar una cancelación activa de los ruidos, ya que la señal de interés y el ruido comparten el mismo ancho de banda y no se pueden utilizar filtros comunes ya que afectan a la señal de interés. Los sensores utilizados son micrófonos direccionales con la circuitería necesaria para acondicionar y digitalizar las señales.

- Un **módulo de compresión y almacenamiento** es el encargado de integrar la información sonora obtenida por el módulo de adquisición con la información registrada por otros sensores, conformando un paquete de información autocontenido. Este paquete contiene al menos la información sonora registrada y el lugar y la hora en que se registró. Luego de conformado el paquete, el mismo es almacenado en una memoria no volátil removable.
- Un **módulo de administración de energía** es el encargado de administrar la energía disponible en la batería y generar las alimentaciones necesarias para que el sistema funcione. Este módulo tiene como objetivo maximizar el tiempo de operación del registrador, tarea que realiza de dos maneras:
 - i)* generando las alimentaciones a partir de reguladores de alta eficiencia y
 - ii)* deshabilitando funciones del registrador, de acuerdo a su prioridad, y manejando la carga de la batería de acuerdo a la disponibilidad de energía.

A continuación se detallarán los criterios de diseño para cada uno de los módulos del dispositivo propuesto.

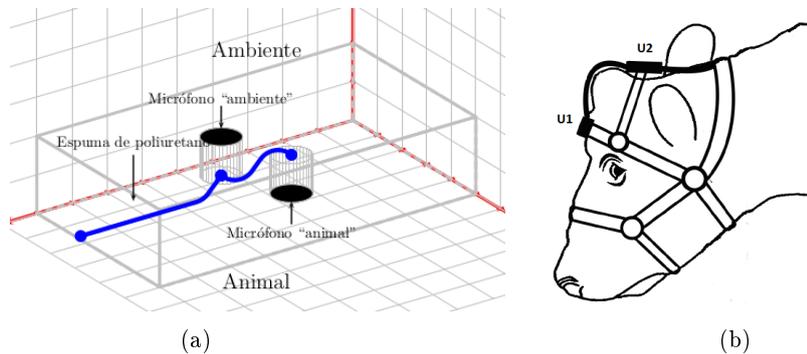


Figura2: (a)Bloque de transducción y disposición de los micrófonos. (b)Localización del bloque de transducción ($U1$) y del dispositivo propiamente dicho ($U2$) sobre la cabeza del animal.

2.1. Adquisición de sonido

Este módulo es el encargado de adquirir el sonido producido por la vaca y remover los ruidos presentes en la señal. En este trabajo se diseñó un sistema cuyo bloque de entrada está constituido por 2 micrófonos electret unidireccionales, que están orientados en direcciones opuestas, y dispuestos sobre una estructura que sirve de aislante sonoro (Figura 2a). Esta disposición fue pensada de manera que uno de los micrófonos capte la señal propiamente dicha (transmitida por el fenómeno de conducción ósea), y el otro capte solamente el ruido ambiente, teniendo en consideración que las señales captadas no son ideales, y siempre existirán influencias cruzadas en ambos sensores. Con esta disposición de micrófonos, es posible limpiar la señal de interés utilizando cancelación activa de ruidos, ya que se dispone de las dos señales. Se utilizó esta técnica porque la señal de interés (producida por los animales) y el ruido (cualquier otro sonido) comparten bandas de frecuencia similares y no se pueden utilizar filtros pasivos para remover el ruido sin afectar la señal de interés. La Figura 2b muestra la disposición del bloque de transducción y del dispositivo completo sobre la cabeza del animal.

Este módulo incluye la circuitería necesaria para acondicionar y digitalizar la señal. Esta circuitería incluye un preamplificador de micrófono, un filtro analógico de limitación del ancho de banda, un amplificador con control automático de ganancia (AGC) y un convertor analógico/digital. El objetivo del preamplificador y los filtros es amplificar la señal generada por el micrófono y limitar el ancho de banda de la misma. En nuestro caso el filtro analógico tiene un ancho de banda de 2 kHz, ya que se conoce que la información útil para clasificar los eventos alimentarios se encuentra por debajo de dicha frecuencia [12]. De esta manera, la frecuencia de muestreo elegida fue 5 kHz, para evitar efectos de aliasing. El amplificador con AGC es utilizado para normalizar la amplitud de la señal registrada y evitar problemas de saturaciones. El diagrama de bloques

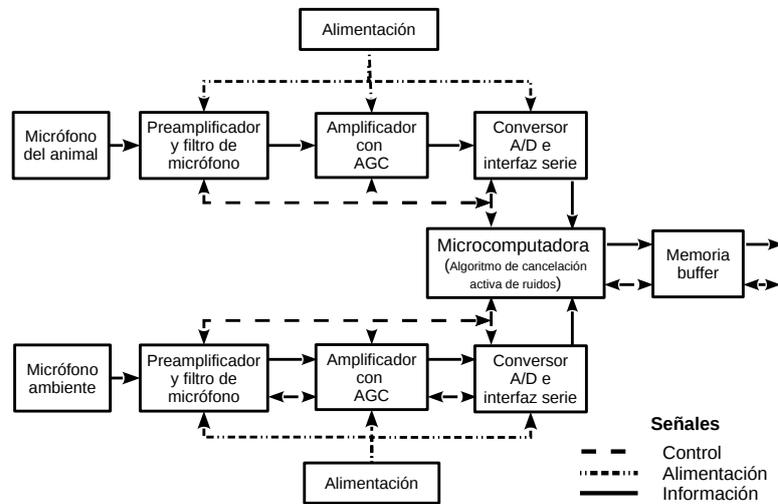


Figura 3: Diagrama de bloques del módulo de adquisición.

de este módulo del sistema se presenta en la Figura 3. En esta figura se puede ver que hay un circuito de acondicionamiento por cada micrófono de modo que ambas señales (la de interés y el ruido) estén normalizadas y puedan ser procesadas posteriormente para remover el ruido.

Como interfaz de comunicación entre la placa de adquisición y el microcontrolador se utilizó una interfaz serie del tipo SPI debido a que presenta una mayor velocidad de trabajo y simplicidad de operación. Los datos generados por el sistema de adquisición se almacenan en la memoria en paquetes de 256 palabras, las cuales son procesadas. De esta manera, los paquetes de señales provenientes de cada uno de los canales se utilizan para realizar una cancelación activa de ruido, utilizando el algoritmo de sustracción espectral no lineal [19,20]. Este algoritmo utiliza los espectros de la señal de interés y el ruido para remover este último de la primera a partir de sustraer el espectro del ruido del espectro de la señal. Para ello, se realiza una transformada rápida de Fourier a cada paquete de datos, para luego implementar un algoritmo de sustracción espectral y finalmente recuperar la señal de interés lo más limpia posible, a partir de una transformada inversa rápida de Fourier. Este algoritmo de limpieza se implementó en uno de los microcontroladores del sistema. Para su implementación se utilizó la librería DSP CMSIS de *Texas Instruments*.

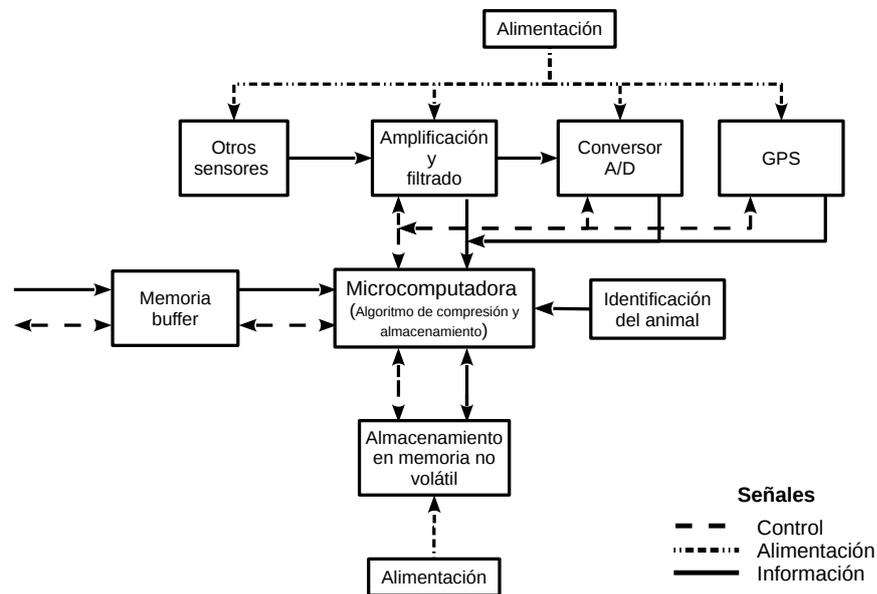


Figura 4: Diagrama del módulo de compresión y almacenamiento.

2.2. Compresión y almacenamiento de datos

Este módulo es el encargado de comprimir la información sonora obtenida por el módulo de adquisición e integrarla con la información registrada por otros sensores, conformando un paquete de información autocontenido. En este último hay información sobre el animal monitoreado así como el lugar y hora del registro, entre otros. Luego de conformado el paquete, es almacenado en una memoria no volátil. El diagrama de bloques de este módulo se presenta en la Figura 4.

El corazón de este módulo es el algoritmo de compresión de audio. Para elegir el sistema de compresión adecuado, se realizó un análisis de distintos algoritmos con pérdida, ya que estos tienen una mayor capacidad de compresión que aquellos algoritmos sin pérdida. Además, se tuvieron en cuenta tanto la capacidad de compresión como la calidad de los datos comprimidos, la cual fue medida según el desempeño del sistema de reconocimiento, previamente entrenado con las señales sin comprimir. Dicho sistema fue desarrollado por Milone y col. [12]. Los algoritmos analizados fueron: *Speex*¹, *Vorbis*² (VLSI) y *Constrained Energy Lapped Transform* (CELT)³, debido a que estos son sistemas de compresión sin licencias. Después de una etapa de análisis se eligió el algoritmo CELT por las

¹ <http://www.speex.org>

² <http://www.vorbis.com>

³ <http://www.celt-codec.org/>

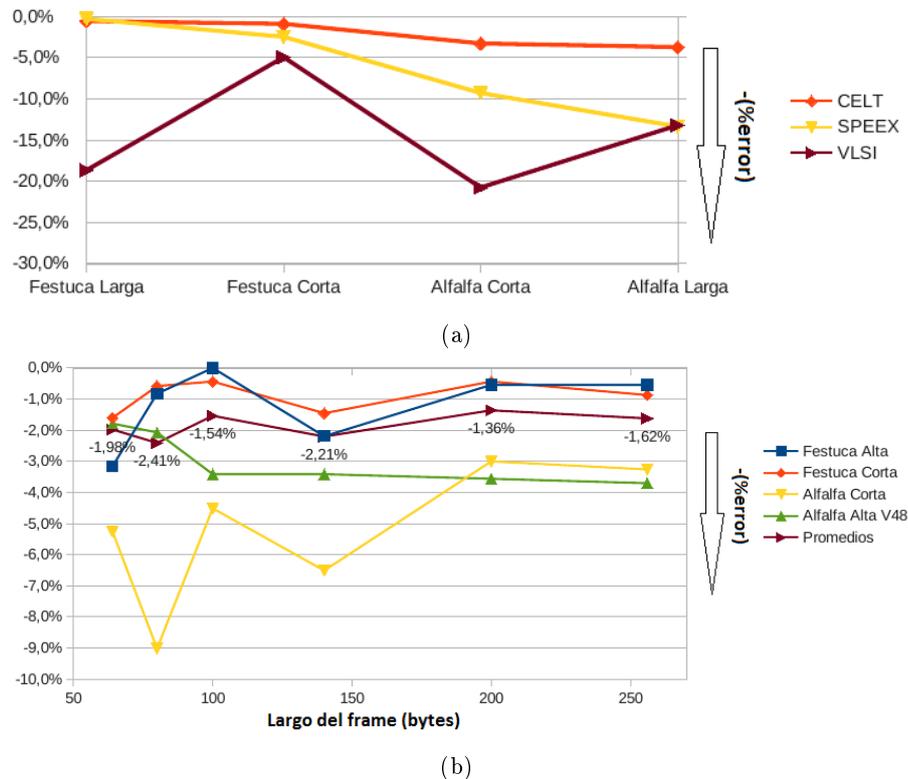


Figura 5: Errores de reconocimiento según *a*) el tipo de pastura con diferentes métodos de compresión y *b*) el tamaño de frame con distintos tipos de pastura para el algoritmo de compresión elegido (CELT).

siguientes razones: *i*) requiere de escasos recursos de hardware para su implementación (16 Kbytes de RAM y 60 millones de instrucciones por segundo (MIPS)), *ii*) introduce el error mas pequeño en la tasa de reconocimiento (ver Figura 5 *a*), *iii*) tiene tiempos de latencia muy bajos (menores a 25 mSeg) y *iv*) puede implementarse utilizando aritmética de punto fijo [21]. Para la selección el tamaño de frame optimo, se evaluó el efecto de la compresión de la señal en la tasa de reconocimiento de eventos, resultando que 256 datos es el mejor tamaño con un error menor al 5 % (Figura 5 *b*) y el mejor rendimiento computacional.

2.3. Bloque de alimentación

El sistema de alimentación es un bloque complejo en los dispositivos portables que buscan gran autonomía. En este trabajo se diseñó y desarrolló un sistema de alimentación teniendo en cuenta requisitos específicos como el de proveer una

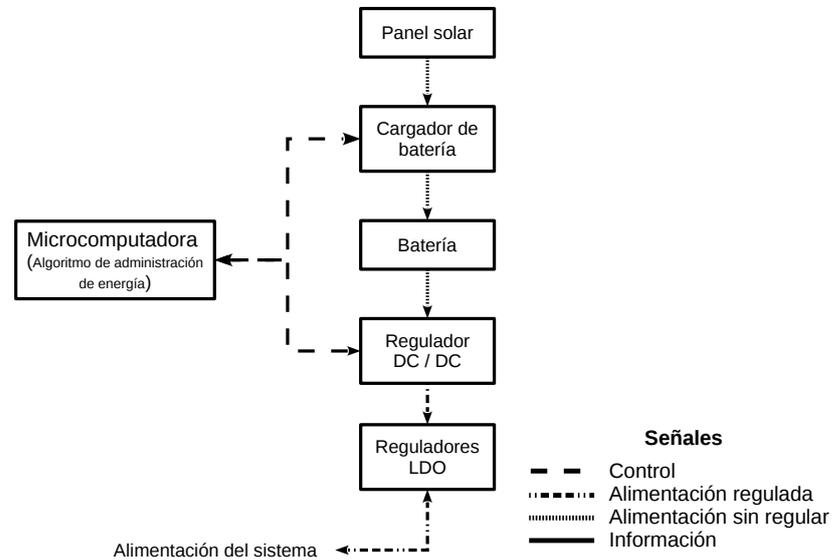


Figura 6: Diagrama del módulo de alimentación.

tension de muy bajo ruido y constante que no afecte al bloque de adquisición y que no se vea afectada por las variaciones en la tensión de entrada.

En el diagrama de bloques de este módulo (Figura 6) se puede ver que este depende de un procesador de bajo consumo (el mismo del módulo de adquisición) que es el encargado de gestionar el funcionamiento de los módulos, un panel solar y un regulador buck/boost DC-DC de alta eficiencia combinado con reguladores lineales de baja caída de tensión para generar las alimentaciones requeridas por los diferentes módulos. El uso del regulador DC-DC permite la operación del registrador aún cuando el voltaje de la batería esté por debajo del voltaje de operación del registrador a la vez que maximiza la eficiencia energética de este bloque.

3. Resultados

Dada la complejidad de las tareas a implementar, los recursos disponibles y los requerimientos operativos del sistema de adquisición y almacenamiento, se decidió dividir las tareas de acuerdo a la carga computacional e implementarlo en dos microcontroladores separados de modo que los módulos de adquisición y administración de energía fueron implementados en un microcontrolador mientras que el módulo de compresión (y cualquier otro módulo que se desarrolle

en el futuro) fue implementado en otro microcontrolador. Los dos microcontroladores operan de manera independiente y transfieren información a través de una memoria buffer. A continuación se muestran los resultados tanto del hardware desarrollado, como así también la estructura del software embebido en los microcontroladores.

3.1. Hardware desarrollado

Para la implementación se eligió el microcontrolador *TM4C123GH6PM*⁴ de la serie Tiva C⁵ de la empresa *Texas Instruments*. La elección de este microcontrolador se debió a los siguientes factores: *i*) arquitectura ARM, lo cual garantiza portabilidad a cualquier otro microcontrolador con similar arquitectura (ARM Cortex M4), *ii*) su potencia de cálculo, ya que dispone de una unidad de punto flotante (FPU) lo cual reduce la memoria utilizada para almacenar el programa, por no requerir de librerías extras, y *iii*) su reducido consumo para su capacidad de computo y los recursos de hardware disponibles.

Para implementar el sistema de adquisición se eligió el integrado *CS53L21*⁶ de la empresa *Cirrus Logic*. Su elección debió a los siguientes factores: *i*) incorpora toda la circuitería de acondicionamiento requerida, lo cual simplifica el diseño de la placa impresa (PCB), *ii*) arquitectura completamente programable digitalmente, lo cual hace simple y flexible el diseño propuesto, *iii*) su reducido consumo para sus prestaciones y los recursos de hardware disponibles y *iv*) prestaciones analógicas excelentes. Una vez seleccionado el integrado, se procedió a configurarlo siguiendo la hoja de datos. Para ello se utilizó el programa *Eagle*, realizando primero un esquemático de la placa y luego generando el layout correspondiente. Luego se procedió a generar la placa impresa doble faz, de epoxi y con máscara anti-soldante. Por último se soldaron los componentes de montaje superficial (SMD) y se obtuvo la placa de adquisición (Figura 7).

El algoritmo de compresión, junto con el resto de los programas del módulo de compresión y almacenamiento fueron implementados sobre el otro microcontrolador del sistema. Para su implementación se utilizó el código provisto por la Fundación Xiph.Org [22,23]. Se realizaron las modificaciones necesarias para compilarlo en el microcontrolador *TM4C123GH6PM*. La interfaz con la memoria no volátil SD se realizó a través de uno de los puertos SPI del microcontrolador. Se eligió esta opción por que redujo los tiempos de latencia de las operaciones de escritura y lectura y se utilizó la librería FATFS⁷ con un sistema de archivo FAT16, para facilitar la lectura de los datos desde cualquier sistema operativo.

A la hora de la implementación del módulo de alimentación, y dadas las limitaciones de tamaño, se optó por un panel solar de 0.45[W] con una voltaje de salida de 4.5[V] y una corriente de cortocircuito de 100[mA]. La salida de dicho panel alimenta un cargador de baterías del tipo de las usadas en celulares, el

⁴ <http://www.ti.com/product/tm4c123gh6pm>

⁵ <http://www.ti.com/tool/ek-tm4c123gx1>

⁶ http://www.cirrus.com/cn/pubs/proDatasheet/CS53L21_PP1.pdf

⁷ http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html

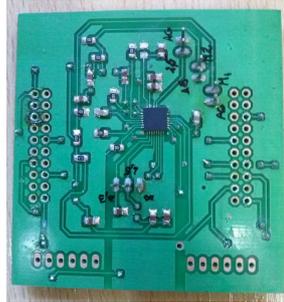


Figura 7: Placa de adquisición obtenida.

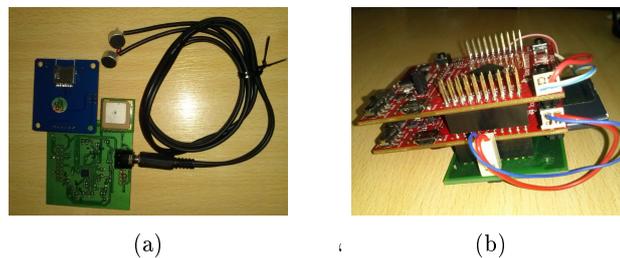


Figura 8: (a)Placa de adquisición, GPS, modulo SD y entrada de micrófonos. (b)Microcontroladores y módulo de alimentación.

circuito integrado elegido fue el *MAX1501*. La salida de la batería está conectada a un convertor DC-DC del tipo up-down configurado para proveer una salida de 3.6 V. El circuito integrado elegido para implementarlo fue el *MAX1759*. La salida del convertor DC-DC está conectada a un regulador lineal de baja tensión de dropout y bajo ruido, el cual genera las tensiones para alimentar los bloques analógico y digital de manera separada. El circuito integrado elegido para implementarlo fue el *MAX8363T*. Todos los circuitos integrados utilizados en este módulo pertenecen a la empresa de *MAXIM*, que se especializa en este tipo de circuitos integrados. Luego se diseñó la placa de alimentación, se realizó un esquemático y el layout correspondiente en *Eagle*, para una vez hecho esto pasar a realizar la PCB y soldar finalmente los componentes.

Se tuvieron en cuenta las conexiones para el módulo SD y otros sensores (en este caso el GPS), de modo de lograr un sistema modular, que pueda ser ensamblado luego con el resto de los módulos. La placa de adquisición, junto con el GPS, el modulo SD y la entrada estéreo de los micrófonos se puede ver en la Figura 8a.

Asimismo, pensado en un sistema que pueda ser ensamblado y de esta forma los más compacto posible el resto de los módulos siguieron una configuración parecida. En la Figura 8b se pueden ver los microcontroladores (maestro y esclavo) y el sistema de alimentación junto con la batería.



Figura 9: Sistema de adquisición y almacenamiento de sonido.

El dispositivo completo resultó en una forma compacta (Figura 9), a pesar de estar compuesto en su mayoría por módulos no integrados.

3.2. Software embebido

Para desarrollar el software embebido en el dispositivo propuesto se utilizó *Code Composer Studio*, un entorno de desarrollo integrado propiedad de la empresa *Texas Instruments*. Dicho entorno, está basado en la plataforma *Eclipse*, la cual es una herramienta de código abierto para el desarrollo e implementación de sistemas embebidos mediante lenguaje C.

Como se planificó la utilización de dos microcontroladores (maestro y esclavo), se compilaron y grabaron dos códigos separados. En la Figura 10 se muestran las estructuras del código que fue embebido en los microcontroladores.

Para el microcontrolador maestro, se planificó en una función *main* (Figura 10a) que realizara la transferencia de los datos recibidos desde la placa de adquisición a memoria. Una vez allí se realiza el pre-procesamiento de las señales mediante sustracción espectral no-lineal, utilizando para ello la librería DSP CMSIS de *Texas Instruments*. Luego estos datos son enviados al microcontrolador esclavo, donde son comprimidos y almacenados.

En la Figura 10b se puede observar la estructura del código principal embebido en el microcontrolador esclavo. Se puede ver que sobre este micro se realiza una administración de la energía, solo poniéndolo en funcionamiento cuando hay datos para comprimir y guardar. Luego de realizar estas tareas, el microcontrolador pasa a un estado de hibernación, desactivando casi la totalidad de sus funciones y por consiguiente disminuyendo al mínimo posible el consumo de energía.

Existe también una rutina de servicio de interrupción para los datos recibidos por UART desde el GPS (Figura 10c). Este módulo transmite datos a 9600 baudios, una velocidad lenta para las frecuencias existentes en el sistema. Por ello se seleccionó como una rutina que interrumpa a la función principal.

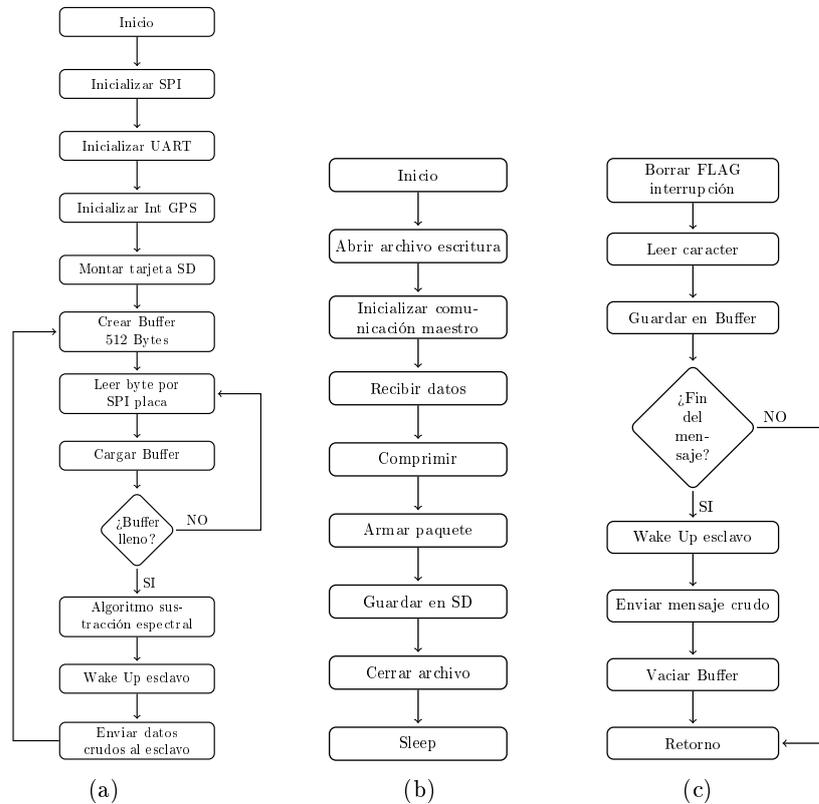


Figura 10: Diagrama de flujo de: (a) La función main() del microcontrolador maestro. (b) La función main() del microcontrolador esclavo. (c) La rutina de servicio de interrupción del GPS.

4. Conclusiones

Se ha presentado el diseño y desarrollo de un dispositivo inteligente capaz de adquirir, procesar y almacenar señales de audio correspondientes a la actividad alimentaria en rumiantes. El pre-procesamiento de las señales antes de su almacenamiento, muestra resultados prometedores en pruebas preliminares. Se evaluaron distintos métodos de compresión, resultando el algoritmo CELT como el mejor para realizar dicha tarea. Además se evaluó la utilización de distintos largos de frame de señal, dándose los mejores resultados para un frame de 256 bytes. Trabajos futuros, posibilitarán la elección del mejor método de pre-procesamiento (en cuanto a la relación costo computacional/ mejora en el reconocimiento). Como resultado final se espera tener un dispositivo completo, que incorpore además otros bloques de sensado, y que de una manera precisa y eficiente, logre registrar los parámetros más importantes de la conducta del rumiante, para luego combinarlos y analizarlos.

Agradecimientos. Los autores agradecen la colaboración del grupo de investigación de la Cátedra de Sistemas de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, dirigido por el Ing. Agr. (MSc) Julio Galli. Este trabajo ha sido financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y la Universidad Nacional del Litoral (UNL), bajo los proyectos PICT-2011-2440, PACT CAID 2011 “Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional”, CAID 2011-525.

Referencias

1. Susenbeth, A., Mayer, R., Koehler, B., Neumann, O.: Energy requirement for eating in cattle. *Journal of animal science* **76**(10) (October 1998) 2701–2705 PMID: 9814912.
2. Stobbs, T.H., Cowper, L.J.: Automatic measurement of the jaw movements of dairy cows during grazing and rumination. *Tropical Grasslands* **6**(2) (1972) 107–112
3. Penning, P.D.: A technique to record automatically some aspects of grazing and ruminating behaviour in sheep. *Grass and Forage Science* **38**(2) (June 1983) 89–96
4. Matsui, K., Okubo, T.: A method for quantification of jaw movements suitable for use on free-ranging cattle. *Applied Animal Behaviour Science* **32**(2) (November 1991) 107–116
5. Rutter, S.M., Champion, R.A., Penning, P.D.: An automatic system to record foraging behaviour in free-ranging ruminants. *Applied Animal Behaviour Science* **54**(2–3) (October 1997) 185–195
6. Alkon, P.U., Cohen, Y., Jordan, P.A.: Towards an acoustic biotelemetry system for animal behavior studies. *The Journal of Wildlife Management* **53**(3) (July 1989) 658
7. Milone, D.H., Rufiner, H.L., Galli, J.R., Laca, E.A., Cangiano, C.A.: Computational method for segmentation and classification of ingestive sounds in sheep. *Computers and Electronics in Agriculture* **65**(2) (March 2009) 228–237
8. Laca, E.A., Ungar, E.D., Seligman, N.G., Ramey, M.R., Demment, M.W.: An integrated methodology for studying short-term grazing behaviour of cattle. *Grass and Forage Science* **47**(1) (March 1992) 81–90
9. Klein, L., Baker, S.K., Purser, D.B., Zaknich, A., Bray, A.C.: Telemetry to monitor sounds of chews during eating and rumination by grazing sheep, ASAP (1994)
10. Nelson, D.E., Alkon, P.U., Krausman, P.R.: Using acoustic telemetry to monitor foraging by penned mule deer. *Wildlife Society Bulletin* **33**(2) (June 2005) 624–632
11. Clapham, W.M., Fedders, J.M., Beeman, K., Neel, J.P.S.: Acoustic monitoring system to quantify ingestive behavior of free-grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture* **76**(1) (March 2011) 96–104
12. Milone, D.H., Galli, J.R., Cangiano, C.A., Rufiner, H.L., Laca, E.A.: Automatic recognition of ingestive sounds of cattle based on hidden markov models. *Computers and Electronics in Agriculture* **87** (September 2012) 51–55
13. Laca, E.A., Ungar, E.D., Demment, M.W.: Mechanisms of handling time and intake rate of a large mammalian grazer. *Applied Animal Behaviour Science* **39**(1) (January 1994) 3–19
14. Laca, WallisDeVries: Acoustic measurement of intake and grazing behaviour of cattle. *Grass and Forage Science* **55**(2) (June 2000) 97–104

15. Galli, J.R., Cangiano, C.A., Demment, M.W., Laca, E.A.: Acoustic monitoring of chewing and intake of fresh and dry forages in steers. *Animal Feed Science and Technology* **128**(1) (May 2006) 14–30
16. Luginbuhl, J.M., Pond, K.R., Russ, J.C., Burns, J.C.: A simple electronic device and computer interface system for monitoring chewing behavior of stall-fed ruminant animals. *Journal of dairy science* **70**(6) (June 1987) 1307–1312 PMID: 3611487.
17. Rémy Delagarde, J.P.C.: Development of an automatic bitemeter for grazing cattle. *Annales De Zootechnie - ANN ZOOTECH* **48**(5) (1999) 329–339
18. Bar-Shalom, A.: Method and system for monitoring physiological conditions of, and/or suitability of animal feed for ruminant animals (April 2008) U.S. Classification 119/859; International Classification A01K13/00, A01K29/00; Cooperative Classification A01K29/005; European Classification A01K29/00B.
19. Boll, S.: Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing* **27**(2) (April 1979) 113–120
20. Gustafsson, H., Nordholm, S., Claesson, I.: Spectral subtraction using reduced delay convolution and adaptive averaging. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing* **9**(8) (November 2001) 799–807
21. Maxwell, G., Terriberry, T., Valin, J.M., Montgomery, C.: Constrained-energy lapped transform (CELT) codec
22. Valin, J.M., Terriberry, T.B., Maxwell, G.: A full-bandwidth audio codec with low complexity and very low delay. In: *Proc. EUSIPCO*. (2009)
23. Valin, J.M., Terriberry, T.B., Montgomery, C., Maxwell, G.: A high-quality speech and audio codec with less than 10-ms delay. *Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on* **18**(1) (2010) 58–67