

Congreso Argentino de Sistemas Embebidos



2021

1 y 2 de noviembre



Libro de trabajos en modalidades artículo, foro tecnológico y reporte

Los miembros del comité pertenecen a las siguientes instituciones:

**EDICIÓN
VIRTUAL**

.UBAfiuba
FACULTAD DE INGENIERÍA



UNLaM
Universidad
Nacional de
La Matanza



CASE 2021

Libro de Trabajos

Modalidades Artículo, Foro Tecnológico y Reporte

Congreso Argentino
de
Sistemas Embebidos

1 al 2 de noviembre de 2021

SEDE VIRTUAL



Asociación Civil para la investigación, Promoción
y Desarrollo de Sistemas Eléctricos Embebidos

ISBN 978-987-46297-8-4



9 789874 629784

Congreso Argentino de Sistemas Embebidos-CASE 2021 : libro de trabajos /
De Micco, Luciana / Brengi, Diego Javier / Lutenberg, Ariel / Antonelli, Maximiliano/ Zacchigna, Federico G -
1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires :

ACSE - Asociación Civil para la investigación, Promoción y Desarrollo de
Sistemas Eléctricos Embebidos, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-46297-8-4

1. Circuitos Electrónicos. 2. Software. 3. Hardware. I. De Micco, Luciana.
CDD 004.071

Fecha de catalogación: 22/02/2022

Libro de Trabajos
Modalidades Artículo, Foro Tecnológico y Reporte
Congreso Argentino de Sistemas Embebidos – CASE 2021

Editores:

De Micco, Luciana	UNMDP/ICyTE/CONICET
Brengi, Diego	INTI/UNLaM/FIUBA
Lutenberg, Ariel	FIUBA/CONICET
Antonelli, Maximiliano	UNMDP/IcyTE/CONICET
Zacchigna, Federico G.	FIUBA

Diseño gráfico de tapas:

Diego Brengi

Copyright © 2021

Asociación civil para la investigación, promoción y desarrollo de los sistemas electrónicos embebidos.

Se otorga permiso para copiar y redistribuir este libro de trabajos, siempre que se mantengan los mensajes de copyright y la autoría de la obra y sus partes.

Prefacio

El diseño de sistemas embebidos es un motor clave de la industria y del desarrollo científico y tecnológico, y es un campo que en los últimos años ha crecido notablemente en Latinoamérica, tanto en la academia como en la industria.

El CASE (Congreso Argentino de Sistemas Embebidos) fomenta la presentación formal de trabajos usando el modelo de revisión de pares para garantizar la calidad de los mismos. Este congreso forma parte del SASE (Simposio Argentino de Sistemas Embebidos), un evento anual que reúne a la comunidad académica y a la industria en torno a los sistemas embebidos, buscando fomentar esta temática.

Debido a la situación de pandemia y aislamiento causada por el COVID-19, el CASE 2021 se realizó el 1 y 2 de noviembre, en modalidad virtual y utilizando software de videoconferencia y streaming.

Los objetivos que persigue el congreso son:

- Ofrecer un lugar de encuentro para investigadores y becarios de todo el país, fomentando la colaboración.
- Difundir en el medio académico los adelantos científicos y tecnológicos producidos a nivel mundial.
- Propiciar la presentación y discusión de trabajos de investigación desarrollados en Latinoamérica.
- Estimular en los estudiantes universitarios avanzados el interés por la investigación en el área de los sistemas embebidos.
- Coordinar y actualizar los contenidos de sistemas embebidos de los programas de grado y posgrado de las universidades.

Las áreas temáticas del CASE se organizan de la siguiente manera:

- Arquitectura de procesadores
- Bioingeniería
- DSP
- FPGAs, HDLs y ASICs
- Implementación de Sistemas Embebidos
- IoT
- Linux Embebido
- Open Source Hardware
- Protocolos y Comunicaciones
- Robótica
- RTOS
- Software Embebido

Dentro de cada una de estas áreas se permiten las modalidades Artículo, Foro Tecnológico y Reporte, según el tipo de trabajo.

Los trabajos presentados al CASE fueron sometidos a un proceso de revisión por pares doble ciego, corrección y *rebuttal*. De este modo fueron seleccionados 14 trabajos en la modalidad Artículo, 25 en modalidad Foro Tecnológico y 15 en la modalidad Reporte, de un total de 63 trabajos presentados.

Esta publicación se encuentra también disponible en forma *online* en la página web: www.sase.com.ar/case/

Esperamos que los trabajos recopilados en esta memoria sean de su interés y contamos con su participación en futuras ediciones del evento.

Atentamente,

Comité Organizador CASE

Entidad organizadora

- ACSE (Asociación Civil para la Investigación, Promoción y Desarrollo de los Sistemas Electrónicos Embebidos)

Instituciones a la que pertenecen los organizadores

- CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)
- FIUBA (Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires)
- INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial)
- UNLaM (Universidad Nacional de La Matanza)
- UNMDP (Universidad Nacional de Mar del Plata)
- UTN-FRH (Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo)

Comité organizador estable

- Mg. Diego Brengi (INTI/UNLaM/FIUBA)
- Dr. Ariel Lutenberg (FIUBA/CONICET)
- Dra. Luciana De Micco (UNMDP/ICyTE/CONICET)
- Dr. Maximiliano Antonelli (UNMDP/ICyTE/CONICET)
- Ing. Federico G. Zacchigna (FIUBA)
- Mg. Santiago Germino – FIUBA/CONICET
- Ing. Celeste Cebedio – UNMDP

Chairs temáticos

- | | |
|---|---|
| ● Bioingeniería: | Ing. Juan Manuel Reta (UNER) |
| ● Linux Embebido: | Mg. Ing. Sergio Burgos (UTN-FRP) |
| ● RTOS: | Dr. Ricardo Cayssials (UNS) |
| ● DSP: | Ing. Federico Zacchigna (FIUBA) |
| ● Software Embebido: | Dra. Leticia Seijas (ICYTE-UNMDP) |
| ● FPGA, HDL y ASIC: | Ing. Salvador Tropea (INTI) |
| ● Implementación de Sistemas Embebidos: | Mg. Ing. Cristian Sisterna (UNSJ)
Dr. Julio Dondo (UNSL) |
| ● Arquitectura de procesadores: | Ing. Alejandro Furfaro (UTN-FRBA)
Dra. Maria Liz Crespo (ICTP) |
| ● Comunicaciones y protocolos: | Ing. Ignacio Zaradnik (UNLaM) |
| ● Robótica: | Ing. Claudio Verrastro (CNEA) |
| ● Comunicaciones inalámbricas: | Dr. Andrés Altieri (FIUBA-CONICET) |

Revisores

Alanis Garza, Arnulfo
Alessandrini, Gustavo
Alvarez, Nicolas
Arizaga, Juan Antonio
Arnone, Leonardo
Arzamendia, Mario
Avalos, Juan G.
Bezerra, Eduardo
Bouchet, Agustina
Briff, Pablo
Brizuela, José
Calarco, Nicolás
Carbonetto, Sebastián
Castaño Guevara, José Antonio
Cazarez-Castro, Nohe Ramón
Comas, Diego Sebastián
Comas, Edgardo
Cortes Osorio, Jimmy Alexander
Filomena, Eduardo
Gak, Joel
Gavinowich, Gabriel

Gayoso, Carlos Arturo
Grimblatt, Victor
Gutiérrez, Marcelo
Hernandez Tabares, Lorenzo
Leiva, Lucas
Lozada Castillo, Norma
Lozano, Clevis
Luviano-Juarez, Alberto
Maldonado, Yazmín
Marchi, Edgardo
Meinhardt, Cristina
Milián Morón, Omar
Oliva, Rafael
Pastafiglia, Daniel
Pereyra, Francisco
Perez, Santiago
Perez-Paina, Gonzalo
Ridolfi, Pablo
Risco Castillo, Miguel Alberto
Woo-Garcia, Rosa Ma
Zecchin, Danilo

Índice de trabajos

Introducción	I
Índice de trabajos	VIII
Artículo	1
Arquitectura de Procesadores	1
ARM Processor with Implementation of a Fault Tolerance Capability: A First Approach , <i>Jose Ducloux, Luis Toledo, Carlos Vazquez, Pablo Antonio Petrashin, Juan Castagnola, Walter Lancioni and Agustín Laprovitta</i>	2
Hardware acceleration for SIKE on low-end FPGAs , <i>Carlos Andres Lara-Nino, Arturo Diaz-Perez and Miguel Morales-Sandoval</i>	5
Comunicaciones Inalámbricas	6
Estimador de parámetros de ruido de Middleton de Clase A , <i>Lucas Andrés Rabioglio, María Celeste Cebedio, Jorge Castiñeira Moreira and Leonardo José Arnone</i>	7
Análisis de estimación de potencia de ruido e implementación de Detector de Energía para Radio Cognitiva , <i>Cristian Lopez, Maximiliano Antonelli and Luciana De Micco</i>	8
Sensado Espectral ciego basado en Diagramas de Recurrencia sobre FFT para Radio Cognitiva , <i>Luciana De Micco, Maximiliano Antonelli and Jorge Castiñeira</i>	9
FPGAs HDLs y ASIC	10
Metodología para la implementación de CNN en sistemas embebidos basados en FPGA , <i>Federico Zacchigna</i>	11
Self-Adjustable Delay-Line for Temperature Sensing on Field Programmable Gate Array , <i>Oluwasade Kehinde, Princewill Akpojotor and Oluwatope Ayodeji</i>	12
Implementación de Sistemas Embebidos	13
Emulador de detector de neutrones de amplio rango basado en FPGA , <i>Juan Alarcon, Leandro Marzano and Daniel Sebastián Estryk</i>	14
IoT	17
Modelo de Aprendizaje del Comportamiento de Señales Sensoriales Industriales , <i>Gustavo Monte, Damian Marasco, Ariel Agnello, Ruben Bufanio, Norberto Scarone and Pablo Liscovsky</i>	18

Design of a low-cost portable system for the measurement of variables associated with air quality, <i>Alain Martínez, Erik Hernandez Rodríguez, Luis Hernandez, Olivier Schalm, Rosa Amalia González Rivero and Daniellys Alejo Sánchez</i>	19
Diseño, desarrollo e implementación de un sistema controlador de cultivo hidropónico NFT, <i>Gustavo Lucas Martín Zocco Vidal, Carlos Pantelides and Ariel Lutenberg</i>	20
Robótica	21
Localización activa para robots de servicio basada en la agrupación de puntos de discrepancia, <i>Federico Andrade, Guillermo Trinidad and Agustín Rieppi</i>	22
Software Embebido	25
Método de Entrenamiento de Deep Learning para Plataforma PYNQ, <i>Bruno Constanzo, Lucas Leiva, Ayrton Betti, Denis Adriel Chambi and Martín Vázquez</i>	26
Sistema embebido para el confort y la calidad del aire en ambientes cerrados mediante técnicas de aprendizaje automático, <i>Elina Lo, Facundo Fain, Jorge Osio, Marcelo Cappelletti and Walter Aroztegui</i>	27
Foro Tecnológico	28
Arquitectura de Procesadores	28
Implementing Supersingular Isogeny-based Cryptography through High Level Synthesis, <i>Carlos Andres Lara-Nino, Gustavo Sutter, Miguel Morales-Sandoval and Arturo Diaz-Perez</i>	29
Bioingeniería	30
Automatización de dispositivo para estudios neurocognitivos y comportamentales en modelos experimentales, <i>Pablo Capusso and Vanesa Sánchez</i>	31
Comunicaciones Inalámbricas	34
Simulación de la Interfaz Inalámbrica para Comunicaciones Móviles LTE, <i>Guillermo Gaston Riva, Carlos Alberto Zerbini, Matias Gamerman and Pedro De Paul</i>	35
Generador de números pseudoaleatorios con distribución variable en el tiempo mediante Reconfiguración Parcial Dinámica, <i>Raul Lopresti, Maximiliano Antonelli, Julio Dondo and Luciana De Micco</i>	38
FPGAs HDLs y ASIC	41
IP core para control parasitario ganadero, <i>Guido Rombolá, Lucas Leiva, Martín Vázquez and Juan Toloza</i>	42
Aceleración de reinforcement learning basada en FPGA, <i>Lucas Leiva, Jordina Torrents-Barrena and Martín Vázquez</i>	45
FPGA Implementation of a Predistorter Stage for Memoryless Power Amplifiers in ISDB-T, <i>Frank Douglas Anze Lafuente, Edgardo Marchi and Marcos Cervetto</i>	48
Generación de controladores difusos en FPGA basados en síntesis de alto nivel, <i>Luca Sarramone, Martín Vázquez and Lucas Leiva</i>	51
Implementación de un detector de radiación ionizante basado en un sensor de imagen COTS CMOS y una FPGA para aplicaciones satelitales, <i>Mathías Sebastian García, Mariano Rolón, Claudio González, Luciana De Micco, Lipovetzky José, Martín Pérez and Maximiliano Antonelli</i>	54

Sistema de detección de gotas en baldosas implementado en FPGA , <i>Tomás Medina, Martín Vázquez and Lucas Leiva</i>	57
Implementación de una LeNet en FPGA y de su plataforma de testeo , <i>Federico Zacchigna</i>	60
Implementación de Sistemas Embebidos	63
Diseño y Desarrollo de un Prototipo Electrónico para un Ventilador Automático de Emergencia , <i>Adrian Stacul, Ariel Dalmas Di Giovanni, Sergio Saluzzi, Martín Eugenio Morales and Gerardo Garcia</i>	64
Diseño de un bastón electrónico para personas con discapacidad visual , <i>Luis Fernando Ramírez Vera, José Ventura Zúñiga Romano, Derlis Hernández Lara, Emmanuel Tonatihu Juárez Velázquez, Álvaro Marcos Santiago Miguel and Carlos Alfonso Trejo Villanueva</i>	67
Respuesta de la plataforma ESP32-CAM para un detector de radiación ionizante para IoT , <i>Damian Leonel Corzi, Jose Lipovetzky and Mariano Gómez Berisso</i>	70
Linux Embebido	73
Sistema de Notificación Remoto de Alarma de Incendio , <i>Daniel Marquez and Bettys Farias</i> .	74
Linux embebido en FPGA para el control con PWM , <i>Yosel de Jesús Balibrea Lastre</i>	78
Protocolos y Comunicaciones	81
Algoritmo adaptativo alternante aplicado a sistemas de beamforming , <i>Jesús Del Ángel, Xochitl Maya, Juan Avalos and Giovanny Sanchez</i>	82
Vinculación de un sistema de medición con Modbus a través de un enlace MQTT/TLS a un servidor remoto , <i>Marcelo Castello and Rafael Oliva</i>	85
Efficient SoC FPGA implementation of Hopfield Neural Network for solving the Shortest Path Problem , <i>Agustin Silva and Claudio Marcelo González</i>	88
RTOS	92
Desarrollo de una infraestructura de laboratorios para la educación remota , <i>Marco Miretti and Emanuel Bernardi</i>	93
Sistema IoT para mantenimiento predictivo de motores eléctricos con monitoreo remoto , <i>Eric Nicolas Pernia and Huilen Zahira Nesote</i>	96
GeMRTOS: a generic multiprocessor real-time operating system , <i>Ricardo Cayssials, Lorenzo De Pasquale and Edgardo Ferro</i>	99
Desarrollo de firmware para un sistema de ensayo de relés ferroviarios de seguridad , <i>Gaspar Santamarina, Adrián Laiuppa, Gustavo Ramoscelli and Ariel Lutenberg</i>	102
Software Embebido	105
Desarrollo de sistemas distribuidos con ESP32 integrada en la red IOTA , <i>Ciro Edgardo Romero and Alejandro Matias Elustondo</i>	106
Equipo de medición del impacto de un golpe utilizando un sensor FSR , <i>Martín Igartúa, Juan Manuel López and Melisa Kuzman</i>	109
Reporte	112
Bioingeniería	112
Desarrollo de un dispositivo para evaluar función pulmonar en ratones: diseño y primeras mediciones , <i>Ezequiel Ignacio Canay, Leonardo Casal and Ignacio Martín Fenoy</i>	113

Comunicaciones Inalámbricas	116
Contenedor inteligente para sistemas de logística, <i>Ciro Edgardo Romero</i>	117
FPGAs HDLs y ASIC	120
Stable fuzzy controller hardware implementation, <i>Yazmin Maldonado and Nohe Ramon Cazarez-Castro</i>	121
Implementación de Sistemas Embebidos	124
U-Tetris: Tetris Controlado por UART, <i>Juan Berniz, Joaquín Pérez, Felipe Morán and Julián Oreggioni</i>	125
Sistema electrónico de bajo costo para la captura de datos atmosféricos para ensayos con drones durante el eclipse solar del 2020 en Argentina, <i>Sergio Saluzzi, Adrian Stacul, Ariel Dalmas Di Giovanni, Martín Eugenio Morales and Gerardo Garcia</i>	128
Sistema de Navegación Autónoma para un Robot Móvil tipo Rover Implementado en una Computadora de Placa Única, <i>Alejandro Aguirre-Anaya, Octavio Gutiérrez-Frías, Alberto Luviano-Juárez, Norma Lozada-Castillo, Blanca E. Carvajal-Gámez and Humberto Sossa-Azuela</i>	131
Sistema Automatico de Control de Acceso Vehicular, <i>Martín Anús</i>	134
Time-based PV cleaning brush controller for energy yield enhancement, <i>Zureen Az Athira Z. Ahmad Rosly, Ummi Sorfina Rosmadi, Syed Zahurul Islam, Zarina Tukiran, Noorhamizah Mohamed Nasir and Nur Syahirah Izzati Mohd Harif</i>	137
IoT	140
Sistema de Medición de Contaminación Sonora, <i>Juan Alberto Etcheverry, Alejandro José Uriz, Esteban Lucio González, Brian Gluzman and Leonardo Vazquez</i>	141
Protocolos y Comunicaciones	144
Diseño e implementación de un receptor AIS en base a un módulo SDR RTL2832U, <i>Cristian Javier Oliva, Alejandro José Uriz, Monica Cristina Liberatori, Iván Ezequiel Gelosi, Jorge Luis Marquez and Juan Alberto Etcheverry</i>	145
Ciberseguridad entre Sistemas Embebidos y AWS IoT, <i>Marcos Politi, Federico Cañete, Andres Niño and Maximiliano Gulfo</i>	148
Sniffer I2C de bajo consumo, <i>Ricardo Ercoli, Fausto Navadian, Gabriel Varela, Alfredo Solari and Julián Oreggioni</i>	151
Robótica	154
Diseño Didáctico de Amplificador Operacional Discreto, <i>Federico Leonardo Alderisi</i>	155
RTOS	158
Control automatizado para bioterio, <i>Andrés Berrueto Ruch, Leandro Lucero and Vanesa Sánchez</i> ..	159
Software Embebido	162
Equipo de Interoperabilidad para Inversores fotovoltaicos, <i>Marcos Politi, Andres Niño, Maximiliano Gulfo and Hector Laiz</i>	163

Categoría

REPORTE

Bioingeniería

Área Temática

Desarrollo de un dispositivo para evaluar función pulmonar en ratones: diseño y primeras mediciones

Ezequiel Ignacio Canay
LIVA, CESyMA, ITECA
ECyT-UNSAM
San Martín, Argentina
ecanay@estudiantes.unsam.edu.ar

Leonardo Casal
Lab3Bio, ITECA
ECyT-UNSAM
San Martín, Argentina
lcasal@unsam.edu.ar

Ignacio Martín Fenoy
LIVA, CESyMA, ITECA
ECyT-UNSAM
San Martín, Argentina
ifenoy@unsam.edu.ar

Resumen—Los modelos murinos son ampliamente usados para llevar adelante ensayos preclínicos de enfermedades pulmonares. Aunque es necesario evaluar la función pulmonar en estos modelos, existen desafíos técnicos asociados al tamaño de los animales. Nos propusimos desarrollar un dispositivo sencillo y de bajo costo que permita evaluar la función pulmonar en ratones. Se emplearon sensores comerciales de presión y flujo para medir la presión pulmonar y el caudal respiratorio. Se calibró el prototipo y se llevaron adelante las primeras mediciones en ratones obteniéndose valores de presión, flujo y se calculó de volumen respiratorio. Finalmente se graficaron los bucles de flujo vs presión y volumen vs presión.

Palabras clave— Función Pulmonar, Modelos murinos, Sensores, Presión, Volumen, Flujo, RC

I. INTRODUCCIÓN

El contexto actual pone en foco la necesidad de facilitar las investigaciones básicas y preclínicas en enfermedades respiratorias.

Gran parte de nuestra comprensión actual respecto del funcionamiento del pulmón y las enfermedades pulmonares proviene de estudios realizados en animales. En la actualidad los ratones se emplean ampliamente en la investigación pulmonar debido a ciertas ventajas que esta especie proporciona como son: una buena comprensión de su sistema inmunológico, la amplia gama de disponibilidad de reactivos, su ciclo reproductivo corto, un genoma bien caracterizado, el advenimiento de la cepas transgénicas y deficientes, y a bajo costo de producción y mantenimiento[1].

Asimismo existen modelos experimentales bien definidos en ratones para distintas enfermedades pulmonares como asma, bronquitis crónica, enfisema, COPD y fibrosis quística entre otros[2]. La medición de la función pulmonar en estos modelos es esencial para establecer su relevancia respecto de la enfermedad pulmonar humana. Sin embargo, realizar tales mediciones presenta desafíos técnicos particulares debido al pequeño tamaño del animal, particularmente en lo que respecta a la medición de los flujos respiratorios[1].

En nuestro laboratorio realizamos ensayos preclínicos de asma donde resulta crítico medir la función pulmonar [3]. La oferta de aparatos comerciales para medir función pulmonar está dada sólo por dos compañías, DSI en EEUU (**Buxco®**) y SCIREQ en Canadá (**FlexiVent®**). Los costos de estos equipamientos en el extranjero superan los 50.000 USD.

Se han reportado distintas técnicas para evaluar función pulmonar en animales pequeños [4-9]. En 2015 Limjunyawong et al. publicaron un método para evaluar

función pulmonar en ratones a partir de la generación de curvas de presión-volumen [9]. En este método el volumen es registrado mediante el uso de una bomba de infusión a jeringa, lo que aumenta considerablemente el costo del *set-up*.

Dada la importancia del uso de este tipo de equipamiento en el estudio de enfermedades respiratorias, sumada a la barrera que supone su alto costo comercialización y baja disponibilidad en el mercado, en este trabajo nos propusimos desarrollar un dispositivo *open source* de bajo costo para evaluar la función pulmonar. Por este motivo, se planteó el desarrollo de un dispositivo que calcule volumen a través de la medición de flujo de aire, empleando de esta manera sensores comerciales de fácil acceso.

Los bucles presión vs flujo permitirán obtener la resistencia y distensibilidad pulmonar para concluir sobre la respuesta del tratamiento para enfermedades respiratorias.

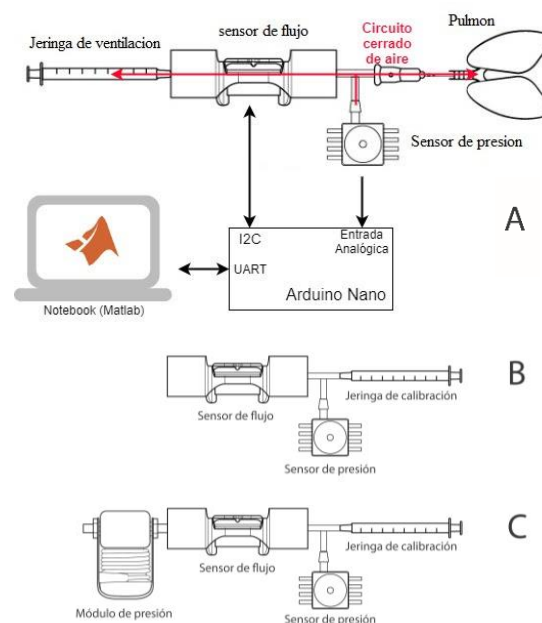


Figura 1: A) Esquema de diseño del dispositivo B) Configuración calibración de flujo. C) Configuración calibración de presión estática.

II. MATERIALES

A. Dispositivo Desarrollado

Los requerimientos para el diseño eran desarrollar un dispositivo que permita medir volumen, presión y flujo de aire

húmedo, en el rango de interés: 40 ml, 3,9 kPa, 600 ml/min con alta frecuencia de muestreo mayor 500 Hz (tasa de respiración de un ratón de 80-230 por minuto).

Se desarrolló un dispositivo (Fig. 1A) que permite medir la presión pulmonar y el flujo respiratorio. El caudal volumen respiratorio se calculó por integración del flujo.

El dispositivo cuenta con un microcontrolador ATmega328 (placa Arduino Nano), un sensor de presión y un sensor de flujo. Se comunica con una PC por UART (velocidad de 115200 bps) y la frecuencia de muestreo fue de 500 Hz. La programación se realizó en Matlab versión R19A.

Se utilizó un sensor de presión analógico MP3V5004G (NXP Semiconductors, EE. UU. [datasheet](#)). Este sensor permite la medición con una precisión del 1,5% y un rango de medición de -1.25 a 3,8 kPa respecto a la presión ambiente.

El flujo respiratorio se midió con el sensor SFM3400-33-D (Sensirion, Suiza. [datasheet](#)). Este sensor permite la medición de un caudal volumétrico con una precisión de 0,5%, una frecuencia de muestreo de 1kHz, y un rango de ± 33 slm. El sensor transfiere información mediante una interfaz I²C y entrega un valor digital con una resolución de 14 bits.

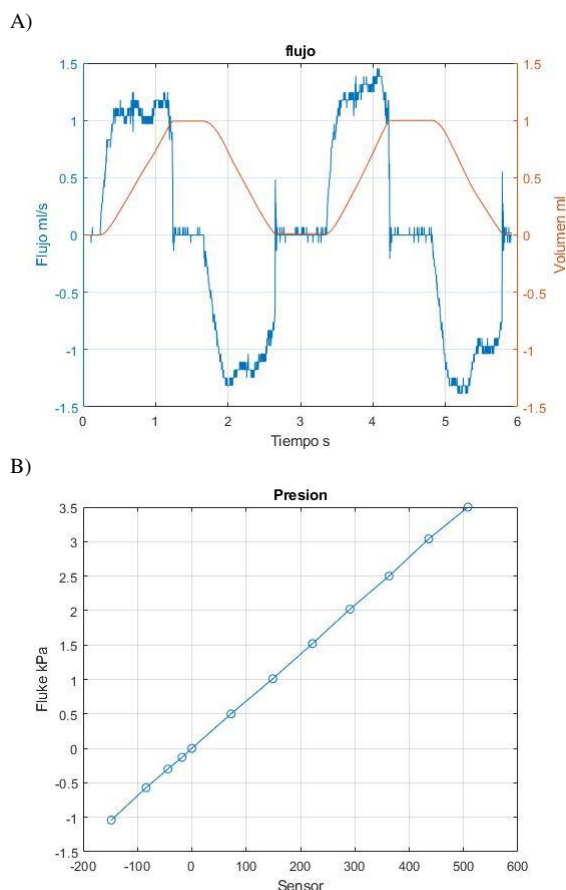


Figura 2: Calibración de los sensores de flujo (A) y presión (B)

B. Calibración

Para calibrar el sensor de flujo se hicieron 10 inyecciones de aire a diferentes velocidades con un volumen fijo de 1 ml empleando una jeringa (Fig. 1B). Ajustamos el coeficiente del sensor para que la integral de la señal de flujo medida sea 1 ml. Para validar repetimos 10 veces y verificamos que el error sea menor al 3% en volumen (Fig. 2A)

Para calibrar el sensor de presión se utilizó un circuito de aire cerrado Fig. 1C y se generaron una serie de valores de presión estática. Se ajustó el coeficiente del sensor para que coincida con la lectura del FLUKE. En la Fig. 2B se muestra la curva de calibración. En este proceso se utilizó un sensor FLUKE 725 con módulo de presión FLUKE 700PD2.

C. Animales

Se emplearon 5 ratones de la cepa BALB/c de 6-8 semanas de vida provenientes del Bioterio de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Los ratones se mantienen en el Bioterio del CESyMA-UNSAM en condiciones de luz, temperatura y humedad controladas, con comida y agua *ad-libitum*. Todos los procedimientos se encuentran aprobados por el CICUAE UNSAM 04/2020.

Los animales fueron anestesiados por administración intraperitoneal de 12,5 y 100 mg/ por kg de peso de xilacina y ketamina (Richmond, Argentina). Se les realizó una traqueotomía mediante entubado de la tráquea con una cánula de 25 G (BD). Las mediciones de presión en la vía aérea y el caudal respiratorio se realizaron con ventilación forzada manual (Fig. 3).



Figura 3: Mediciones en el ratón con ventilación manual.

III. RESULTADOS

El dispositivo desarrollado nos permitió adquirir las señales de presión y flujo como se muestra en la Fig. 4. Las mediciones se encuentran dentro del rango esperable para ratones según la literatura [10], presentando valores de volumen respiratorio de entre 0 y 0.25 ml, y un rango de presión pulmonar de -1 y 1,5 KPa.

A partir de estas señales almacenadas se procedió a calcular el valor de volumen (Fig. 4) y a realizar el gráfico de los bucles volumen versus presión y flujo versus presión (Fig. 5).

IV. CONCLUSIONES

Se diseñó un dispositivo de bajo costo empleando sensores comerciales disponibles. El prototipo desarrollado se pudo calibrar y permitió realizar unas primeras mediciones en ratones.

A partir de los bucles de presión y flujo, a futuro, se estimarán los valores de distensibilidad y resistencia pulmonar modelando la mecánica pulmonar como un circuito eléctrico RC.

En ensayos futuros buscaran optimizar el prototipo y validar su funcionamiento al contrastar su funcionamiento con equipos comerciales. Evaluando su funcionamiento en distintas condiciones incluyendo respiración ventilada y libre.

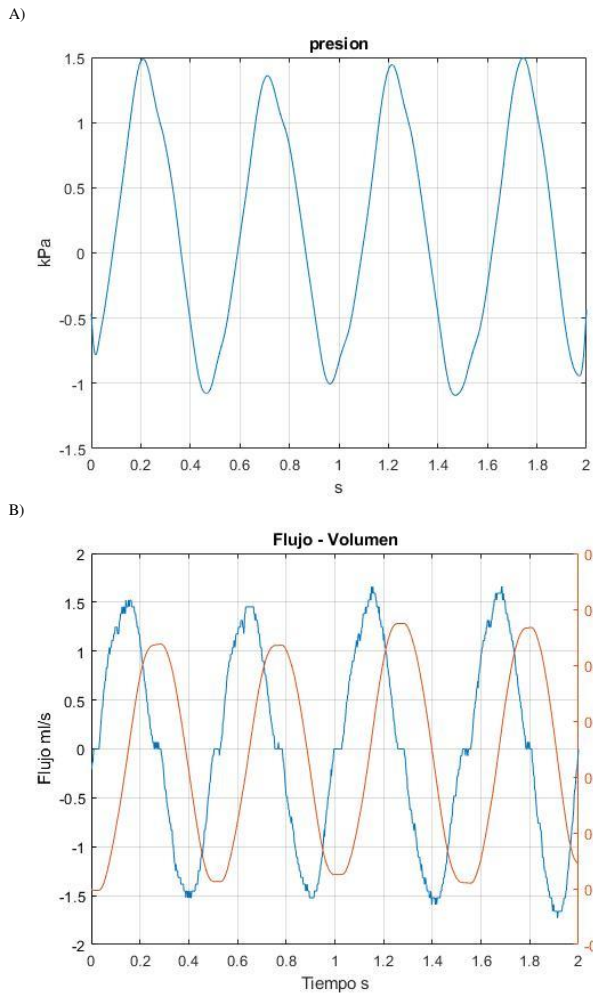


Figura 4: Curvas de presión (A) y flujo y volumen (B)

Asimismo, se lo empleará en estudios de tratamientos preclínicos de tratamientos de asma para evaluar el cambio en la función pulmonar en modelos murinos de esta patología

AGRADECIMIENTOS

Ezequiel Canay posee beca PEFI UNSAM para realizar el desarrollo de este dispositivo. Este trabajo fue financiado por el subsidio PICT-2018-02424.

REFERENCIAS

[1] Irvin, Charles G., and Jason HT Bates. "Measuring the lung function in the mouse: the challenge of size," *Respiratory research*, vol 4.1, pp 1-9, 2003.
 [2] Barrios, Roberto. "Animal models of lung disease." *Basic Concepts of Molecular Pathology*. Springer, Boston, MA, 2009, pp. 153-157.
 [3] Zappia, C. D., Soto, A., Granja - Galeano, G., Fenoy, I., Fernandez, N., Davio, C. A., ... & Monczor, F. "Azelastrine potentiates antiasthmatic dexamethasone effect on a murine asthma model", *Pharmacology research & perspectives*, 2019, vol 7(6), pp. e00531.

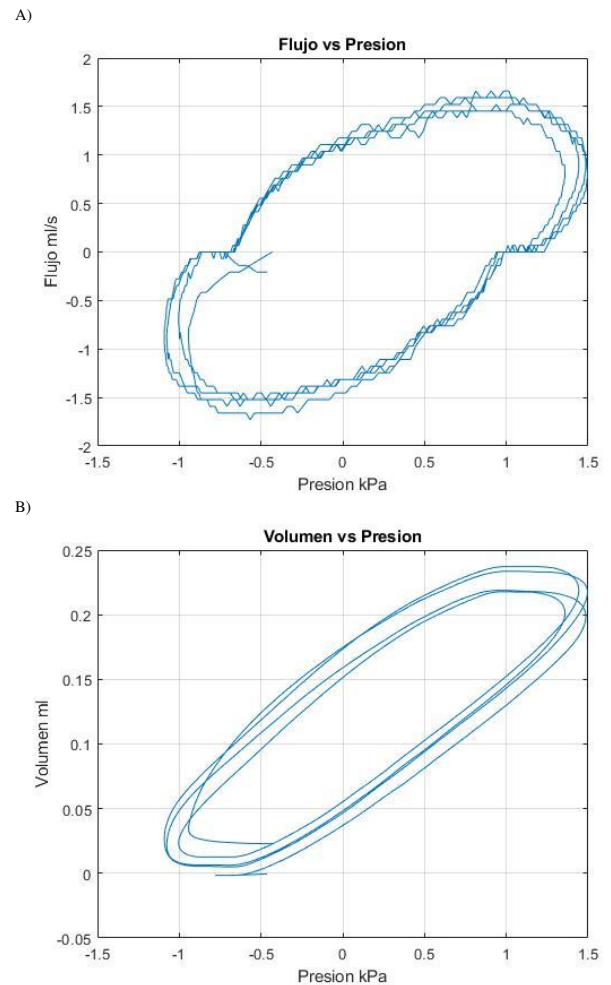


Figura 5: Gráficos de bucles de flujo vs presión y Volumen vs presión.

[4] Martin, T. R., Gerard, N. P., Galli, S. J., & Drazen, J. M., "Pulmonary responses to bronchoconstrictor agonists in the mouse", *Journal of Applied Physiology*, 1988, vol 64(6), pp. 2318-2323.
 [5] Kimmel, B. C. "Design of a Plethysmograph for the Measurement of Pulmonary Mechanics and Intrapleural Pressure in Small Animals during Exposure without Surgical Intervention", *NAVAL HEALTH RESEARCH CENTER WRIGHT-PATTERSON AFB OH TOXICOLOGY DETACHMENT*. 1999.
 [6] Ewart, S. U. S. A. N., Levitt, R., & Mitzner, W. A. Y. N. E., "Respiratory system mechanics in mice measured by end-inflation occlusion", *Journal of Applied Physiology*, 1995, vol 79(2), pp. 560-566.
 [7] Reynolds, J. S., Johnson, V. J., & Frazer, D. G. Unrestrained acoustic plethysmograph for measuring specific airway resistance in mice. *Journal of Applied Physiology*, 2008, vol105(2), pp.711-717.
 [8] Limjunyawong, N., Fallica, J., Horton, M. R., & Mitzner, W. "Measurement of the pressure-volume curve in mouse lungs," *JoVE*, 2015, vol 95.
 [9] Nsegbe, E., Wallén - Mackenzie, Å., Dauger, S., Roux, J. C., Shvarev, Y., Lagercrantz, H., ... & Herlenius, E. "Congenital hypoventilation and impaired hypoxic response in Nurr1 mutant mice", *The Journal of physiology*, 2004, vol 556(1), pp. 43-59.
 [10] Bonnardel, E., Prevel, R., Campagnac, M., Dubreuil, M., Marthan, R., Berger, P., & Dupin, I. "Determination of reliable lung function parameters in intubated mice" *Respiratory research*, vol 20.1, pp1-14.