



Desarrollo de Controlador para incubadoras neonatales Atom V-2100g

Ezequiel Rodríguez Acosta , Yelena Matias Domínguez, Darien Piña Sánchez,

Adriana Virginia Acosta Corzo

RESUMEN / ABSTRACT

En el presente trabajo se describe el desarrollo de una tarjeta electrónica para el controlador de temperatura y humedad de la incubadora infantil V-2100G. La incubadora, de este modelo, fue lanzada en 1998 por el fabricante japonés Atom. En su lanzamiento proporcionaba acciones estándares para controlar la temperatura y la humedad del aire. Actualmente con más de 20 años de explotación en el Sistema de Salud Cubano, estas incubadoras han perdido su funcionalidad, presentando problemas con los componentes electrónicos, debido a su larga explotación. A solicitud del Centro Nacional de Ingeniería Clínica y Electromedicina se diseñó una nueva tarjeta de control, basada en herramientas de software y hardware de código abierto, que sustituye el control original de temperatura y humedad de la incubadora y los sistemas de alarma. El diseño satisface los requisitos de las normas internacionales aplicables, fundamentalmente IEC 60601-1:2012 y la IEC 60601-2-19:2020. El nuevo desarrollo es un producto de la Empresa Cubana de Equipos Médicos (ICEM Industrial), ejecutado en la Incubadora Tecnológica de GELECT (INTEC). Este producto forma parte de la política nacional de innovación, promoviendo la soberanía tecnológica.

Palabras claves: Incubadora neonatal, control de temperatura y humedad, microcontrolador.

This paper describes the development of an electronic control board for the temperature and humidity controller of the V-2100G infant incubator. This model of incubator was launched in 1998 by the Japanese manufacturer Atom. At its launch, it offered standard settings for controlling air temperature and humidity. Currently, after more than 20 years of use in the Cuban healthcare system, these incubators have lost functionality, exhibiting problems with their electronic components due to their extended use. At the request of the National Center for Clinical Engineering and Electromedicine, a new control board was designed, based on open-source software and hardware tools, to replace the incubator's original temperature and humidity controller and alarm systems. The design meets the requirements of applicable international standards, primarily IEC 60601-1:2012 and IEC 60601-2:19:2020. The new development is a product of the Cuban Medical Equipment Company (ICEM Industrial), developed at the GELECT Technology Incubator (INTEC). This product is part of the national innovation policy, promoting technological sovereignty.

Keywords: Neonatal incubator, temperature and humidity control, microcontroller.

Development of Controller for Atom v-2100g neonatal incubators

1. -INTRODUCCIÓN

La incubadora neonatal es un equipo médico cerrado, que consta de un capote transparente lo que permite aislar al paciente sin perder contacto visual con él, con el fin de proporcionarle un medio ambiente con temperatura y condiciones preestablecidas, para favorecer el desarrollo del neonato [1]. Las Incubadoras Neonatales Atom modelo V-2100 son equipos insertados en el Sistema Nacional de Salud Pública de Cuba que tienen muy buena aceptación por parte del personal clínico. La gran mayoría de estos equipos cuentan con mucho tiempo de explotación y ya no tienen soporte técnico de partes

Recibido: 9/2025 Aceptado: 12/2025

fundamentales, como, por ejemplo, la tarjeta de control principal, debido a que el fabricante ya no la comercializa. A consecuencia de esto, un grupo de incubadoras ha tenido que salir del sistema porque ya no tienen sostenibilidad. La incubadora infantil V-2100G fue lanzada al mercado en 1998 por el fabricante japonés Atom. En su presentación original proporcionaba funcionalidades estándares para controlar la temperatura en el interior de la incubadora, y la humedad del aire. La incubadora también proporciona una función de comunicación externa que permite exportar datos al ordenador del usuario para su evaluación y almacenamiento. La temperatura en la incubadora se puede controlar empleando el modo manual o el servocontrol. En el modo de control manual, la temperatura de referencia en el interior del capote de la incubadora, se establece en un inicio, según la experticia del usuario. Luego se ajusta en dependencia de las necesidades y el estado clínico del bebé. En el modo de servocontrol, se conecta una sonda de temperatura de la piel, al bebé y es monitoreada por el controlador de la incubadora. La salida del calentador se controla para mantener la temperatura de la piel del bebé en un valor establecido. Los cambios en la potencia del calentador se realizan gradualmente, para minimizar el exceso de temperatura y el estrés del bebé.

El principal objetivo de este trabajo es el diseño de una nueva tarjeta de control electrónico de temperatura y humedad, que posibilite la recuperación de estos equipos y su reincorporación a las salas de cuidado de los hospitales infantiles. Las contribuciones científicas fundamentales que se hacen en este trabajo son el empleo de herramientas de software y hardware de código abierto para sustituir las funcionalidades defectuosas en la incubadora, el diseño de un controlador electrónico automático de temperatura y humedad con desempeño satisfactorio, que cumple con los requerimientos normativos de este tipo de equipamiento. Los resultados se corresponden con el desarrollo de la política nacional de innovación y promueven alcanzar la soberanía tecnológica en diversas ramas de la industria nacional, de forma similar a diferentes contribuciones [2-4].

El trabajo se compone de 5 secciones: Introducción, materiales y métodos, resultados y conclusiones. En la introducción se plantea el objetivo principal del trabajo, así como sus contribuciones. En los materiales y métodos se describen las pautas de diseño, la descripción del prototipo y las especificaciones médicas. En los resultados se muestran las pruebas y comprobaciones realizadas al equipo diseñado de acuerdo a las normas técnicas y de seguridad para los equipos médicos. En las conclusiones se plantea el cumplimiento de los requerimientos de diseño.

2. -MATERIALES Y MÉTODOS

Para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto, se diagnosticaron las fallas de funcionamiento de gran parte de las incubadoras en desuso, en diferentes instalaciones hospitalarias del país. Las conclusiones iniciales de ese diagnóstico arrojaron que la tarjeta de control principal del equipo era una de las causas fundamentales de rotura. Por otra parte, se apreció que el mueble y gran parte de los sensores podían ser reutilizados, [5, 6]. En la Fig. 1 se presenta el modelo original de la incubadora.



Figura 1
Imagen de la incubadora infantil V-2100 G, original. Fuente (Manual de funcionamiento del fabricante).

2.1.- PAUTAS DE DISEÑO

Con base en el diagnóstico funcional de las incubadoras en desuso y en la experiencia acumulada por el equipo de desarrollo, se establecieron un conjunto de pautas que guiaron el diseño del nuevo controlador. Estas directrices aseguran la compatibilidad con los componentes originales, el cumplimiento normativo y la viabilidad técnica del prototipo. A continuación, se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1
Pautas de diseño del prototipo del controlador de la incubadora.

Número	Descripción
1	Aprovechar todos los sistemas de la incubadora original, en buen estado de funcionamiento.
2	Modificar la interfaz de usuario del panel de control por una pantalla táctil.
3	Desactivar el módulo de pesaje y de medición de oxígeno en la primera versión del prototipo.
4	Establecer algoritmo de control para la regulación de la temperatura y la humedad del aire.
5	Mantener los requerimientos de alarma, para este tipo de equipamiento.
6	Garantizar las condiciones de seguridad y protección especificadas para el funcionamiento de la incubadora.
7	Alimentación de corriente alterna y fuente de alimentación interna de 5 V y 12 V de corriente directa.

2.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

La propuesta de desarrollo del controlador de la incubadora requirió la adopción de una nueva estructura del diagrama de bloque. En la Fig. 2 se muestra la nueva estructura. El diagrama se compone de: tarjeta principal de control, bloque de alimentación, módulo de sensores, módulo de elementos de acción final, calefactor del aire, calefactor de vapor de agua, ventilador, interfaz de visualización y módulo de otros sensores para la seguridad. A su vez, el diagrama representa una estrategia de control realimentado lo que se destaca con la flecha de color verde de la Fig. 2, entre los elementos de acción final y el bloque de sensores.

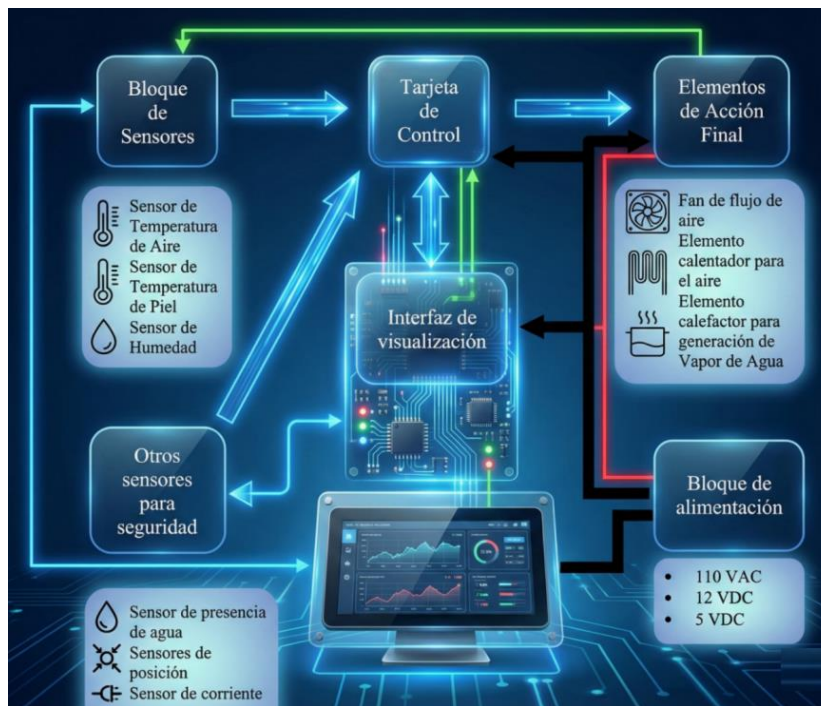


Figura 2

Arquitectura del sistema de la incubadora.

El prototipo se construyó aprovechando los componentes fundamentales que se encontraban en buen estado de funcionamiento y realizando la modificación del panel de control, sustituyéndolo por una pantalla táctil de 10 pulgadas. Se utilizaron dos microcontroladores. Un Atmega328P para la adquisición de las señales de los módulos de sensores [7-9] y un ATmega2560 para el control de los actuadores y la visualización de los parámetros a través de la pantalla [10,11]. El empleo de dos microcontroladores diferentes se debe a la necesidad de aislar, por normativas de seguridad, la adquisición y procesamiento de señales de los sensores de la regulación de los actuadores de potencia.

Se dispone de un sistema para la humidificación del aire de la incubadora y además se trabaja con dos modos para el control de la temperatura: modo temperatura de Aire (T.A) y modo temperatura de piel de recién nacido (T.R.N), [12-13]. En el modo de temperatura de aire, la temperatura de salida de la resistencia calefactora es regulada para lograr una temperatura preestablecida del aire de la incubadora; en el modo de temperatura de recién nacido, se conecta una sonda de temperatura cutánea al recién nacido y se regula la temperatura de salida de la resistencia para mantener la temperatura cutánea del recién nacido al nivel preestablecido [14-17]. Los parámetros ajustables son: humedad relativa, temperatura de aire para el modo T.A y la temperatura de piel del recién nacido para el modo T.R.N.

El sistema de control en las incubadoras se ha de caracterizar por su alto desempeño para poder satisfacer los requerimientos normalizados. Entre las consideraciones de diseño, según [18], este controlador ha de ser capaz de reducir el error de seguimiento, rechazar las perturbaciones, establecer una estabilidad robusta y reducir la sensibilidad a ruido de los sensores. Es por ello, que se decide optar por una estrategia de control realimentado.

La obtención de modelos matemáticos para la incubadora es un proceso engorroso y no siempre satisfactorio, por lo que fue necesario recurrir a un enfoque experimental de sintonización en el sitio. Las reglas de sintonización de Ziegler – Nichols, como expresa [19], proporcionaron una conjetura inicial para la selección de los parámetros del controlador PID. Finalmente se consiguió una sintonía satisfactoria que garantiza el respeto de las pautas de diseño de ese equipamiento médico.

2.3.- ESPECIFICACIONES MÉDICAS

Las especificaciones médicas del prototipo de controlador para incubadoras V-2100G se detallan en la Tabla 2. Estas cumplen con los requisitos esenciales establecidos en las normas IEC 60601-2-19, edición 2.1, del 2020 e IEC 60601-2-20 2020, [12,13]. Además, la incubadora debe operar de forma continua y clasificarse como equipo de Clase I, con grado de protección Tipo BF.

Tabla 2
Especificaciones médicas del controlador diseñado.

Tipo de control	Parámetros	Valores
Temperatura	Temperatura de la piel	35.0-38.0 °C
Temperatura	Temperatura del aire	22.0-39.0 °C
Temperatura	Precisión	± 0.3 °C
Temperatura	Intervalo de variación	0.1 °C
Temperatura	Salida de indicación de calefacción	0-100 (10 niveles)
Temperatura	Tiempo de calentamiento	≤60 min a temperatura ambiente
Humedad	Humedad relativa del aire	40-90 %
Humedad	Precisión	±5 %

3. - RESULTADOS

El principal resultado de este trabajo fue el diseño, implementación y validación funcional de las tarjetas de control electrónico para el prototipo modificado de la incubadora V-2100 G. Este sistema cumple rigurosamente con las especificaciones médicas exigidas para garantizar la seguridad y el rendimiento del equipo. Las tarjetas de control se componen de dos módulos esenciales, ilustrados en la Fig. 3:

- La tarjeta de control de actuadores e interfaz de visualización, encargada de gestionar las salidas (como el calefactor y el humidificador) y la interacción con el usuario.
- La tarjeta de adquisición de señales, dedicada a la lectura precisa de los datos de los sensores de temperatura y humedad.

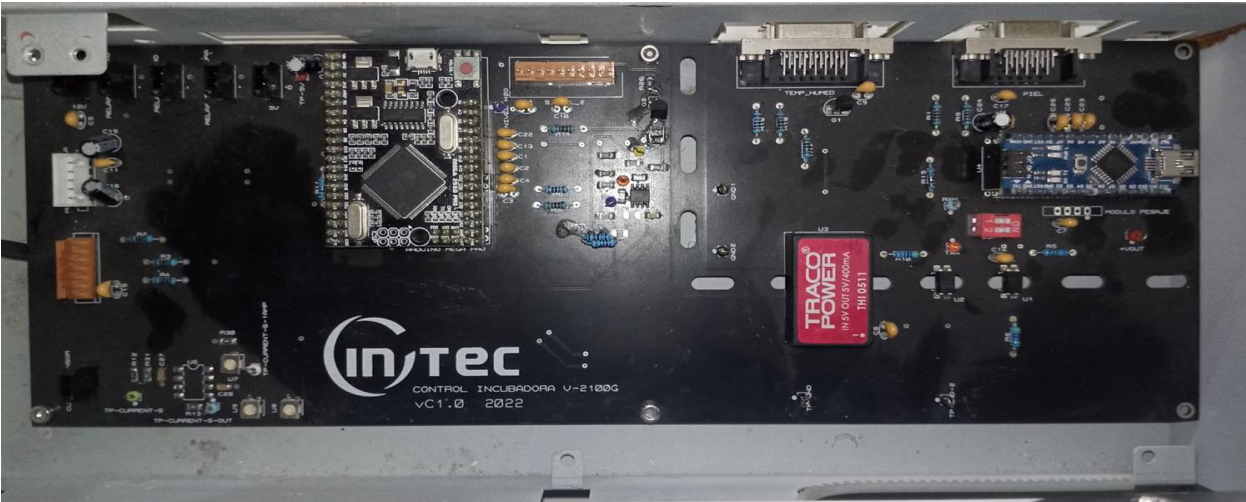


Figura 3

Tarjeta de control de los actuadores e interfaz de visualización y tarjeta de adquisición de las señales de medición de los sensores de temperatura y de humedad.

La Fig. 4 muestra la incubadora neonatal Atom V-2100G tras su proceso de rehabilitación. Se observa la incorporación de una pantalla táctil de 10 pulgadas que sustituye al panel de control original. Esta permite una visualización clara y simultánea de los parámetros críticos, así como una interacción más intuitiva por parte del personal médico.



Figura 4
Imagen de la incubadora infantil V-2100 G, modificada.

La Fig. 5 presenta la interfaz gráfica de la pantalla de monitorización del prototipo. En ella se visualizan en tiempo real los valores de temperatura del aire, temperatura de la piel del recién nacido y humedad relativa. Esto facilita el seguimiento clínico y el ajuste preciso de los parámetros de control.



Figura 5
Pantalla de monitorización de las principales mediciones de la incubadora.

3.1.- COMPROBACIÓN DE PARÁMETROS EN LA INCUBADORA

Para la verificación del funcionamiento de un equipo médico es imprescindible la realización de un grupo de ensayos. En este caso se comprobaron los siguientes aspectos: estabilidad y uniformidad de la temperatura de la incubadora, precisión entre la indicación de temperatura del sensor de piel y la temperatura de referencia del controlador [18], tiempo de demora del calentamiento de la capota del equipo, valor máximo de temperatura del aire alcanzada en la capota, precisión de la indicación

de la humedad relativa, indicación de la temperatura y de la humedad relativa, indicación del modo de operación, posibilidad de ajuste de la temperatura de control y funcionamiento de las alarmas del sistema.

En los ensayos de comprobación fue empleado el analizador de pruebas INCU i Tester de ATOM, con número de serie 191200902 y el software del Tester de Temperatura. En la Fig. 6 se representa la ubicación de los diferentes puntos de medición para comprobar los parámetros de la incubadora, establecidos por norma.

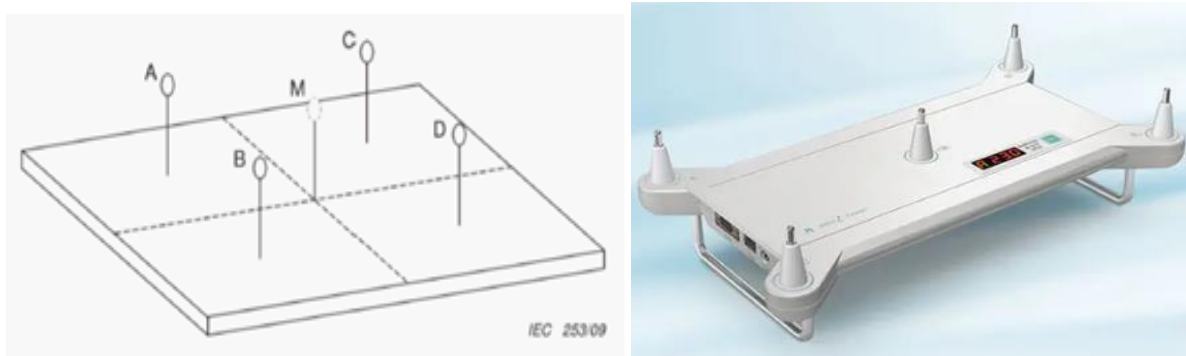


Figura 6

Distribución de los puntos de medición en el interior de la incubadora para comprobar los parámetros de funcionamiento.

Al realizar la comprobación de la estabilidad de la temperatura, el analizador de pruebas debe estar ubicado en el punto M de la Fig. 6, en un plano paralelo y a 10 cm por encima de la superficie del colchón. Luego de alcanzar la condición de estabilidad, se comprueba que el valor medido no difiera del promedio de la temperatura de la incubadora en más de 0.5 °C.

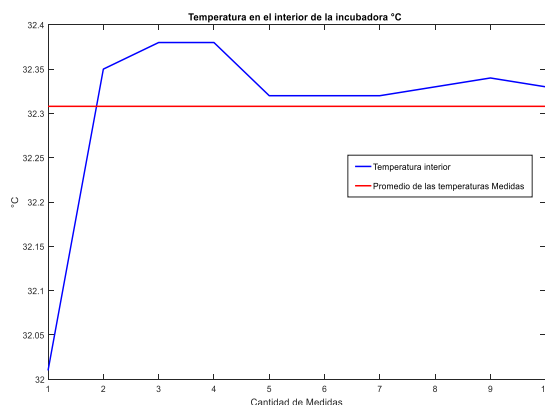


Figura 7

Gráfica de estabilidad de la temperatura del aire en el interior de la incubadora, medido con el analizador. Temperatura de control: 32 °C.

El cumplimiento de esta prueba se verifica midiendo a una temperatura de control de 32 °C y luego a 36 °C en un periodo de al menos 1 h. Se efectuaron 10 mediciones, estableciendo la temperatura de control a 32 °C. Los resultados de las mediciones se representan en la Fig. 7. La temperatura media es de 32.308 °C. La máxima desviación con relación al valor medio de las temperaturas es de 0.298 °C lo que es inferior al valor requerido de 0.5 °C.

Otro de los ensayos practicados fue la verificación de la uniformidad de la temperatura en el interior de la incubadora. Para ello el analizador de prueba se colocó en cuatro puntos diferentes (A, B, C y D) de la Fig. 6. Luego se debe operar la incubadora en modo temperatura de aire y ajustar un valor de temperatura dentro del rango permitido.

El cumplimiento de la prueba se verifica midiendo la temperatura promedio en cada uno de los puntos, como especifica la norma y ver que no difiera del promedio de la temperatura de la incubadora en más de 0.8 °C en uso normal. La temperatura de cualquier punto de la matriz no deberá diferir entre ellos más de 1 °C. La verificación se hace para una temperatura de control de 32 °C y para 36 °C durante 2 horas en cada valor.

En la Fig. 8 se observan los resultados de las mediciones de temperatura realizadas con el analizador y con el sensor de la incubadora, para una temperatura de control de 36 °C. La desviación de las temperaturas medias en cada punto con el analizador, y con la incubadora, no supera, en ningún caso, los 0.8 °C, establecidos por norma.

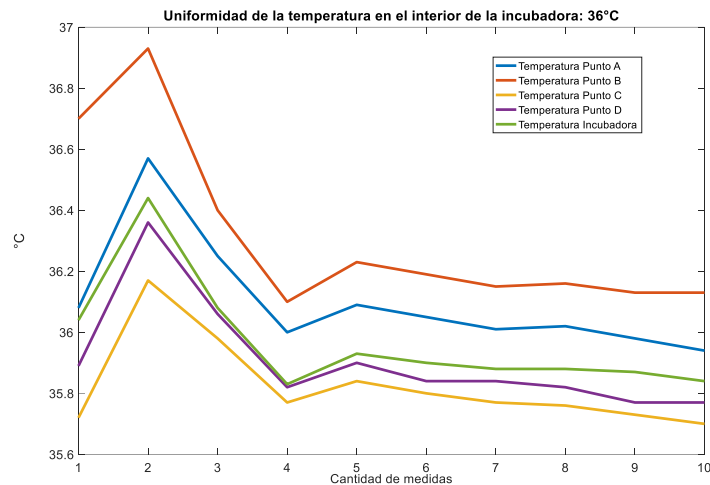


Figura 8
Gráfica de uniformidad de la temperatura del aire en el interior de la incubadora, medido con el analizador, a la temperatura de control de 36 °C.

Las mediciones realizadas para verificar el funcionamiento correcto del prototipo, resultaron satisfactorias. En las Figs. 9 y 10 se muestran las gráficas de los resultados de los ensayos, empleando el software del Tester INCU i. Las temperaturas de control de la incubadora se establecen en dos valores: 32 °C para el aire (Fig. 9) y 36 °C para la temperatura de la piel (Fig. 10).

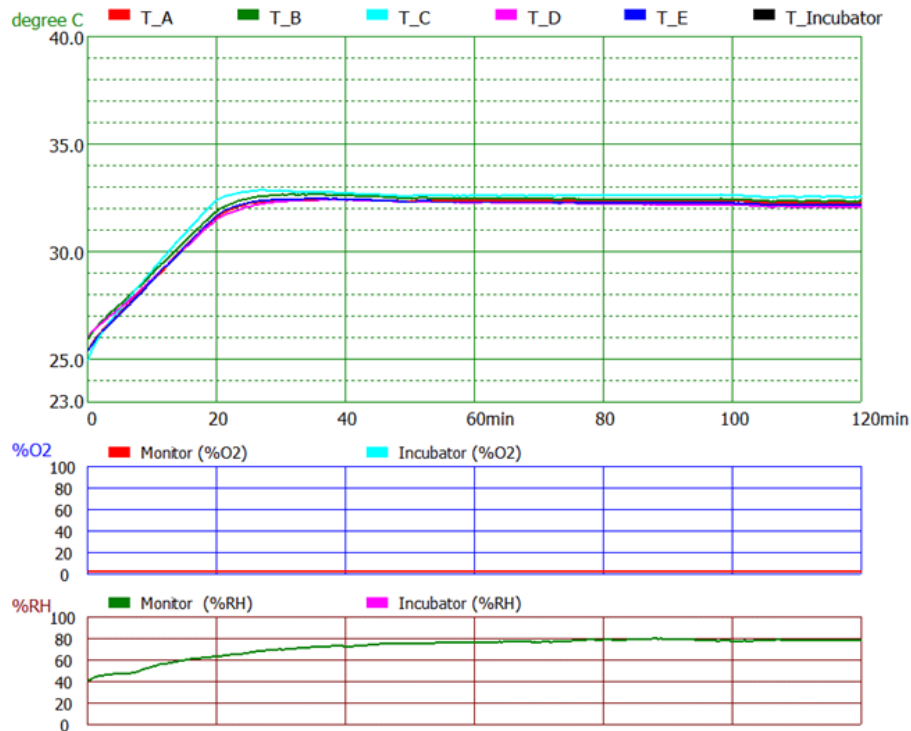


Figura 9
Gráfica de la temperatura del aire y de la humedad relativa, monitorizadas en la pantalla de la incubadora.

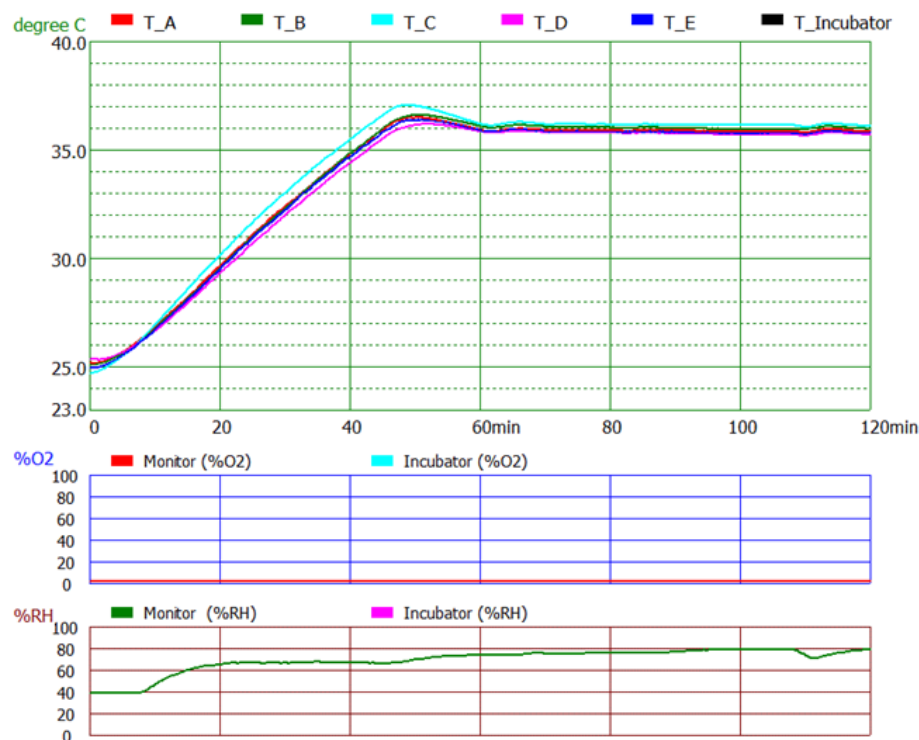


Figura 10
Gráfica de la temperatura de la piel y de la humedad relativa, monitorizadas en la pantalla de la incubadora.

Para una temperatura de control del aire de 32 °C en el interior del capote de la incubadora, las medidas de temperaturas en los diferentes puntos de ensayo, muestran la misma tendencia y no difieren entre sí, de los valores establecidos por la norma, de 0.8 °C. La humedad relativa alcanza la estabilidad en el valor del 80 %. El tiempo de establecimiento es de 25 minutos. Ver la Fig. 9. En la Fig.10, la temperatura de control de la piel es de 36 °C. Lo que requiere un mayor tiempo de establecimiento para ambas variables: temperatura y humedad relativa.

4. CONCLUSIONES

El trabajo logró desarrollar, implementar y validar un nuevo controlador electrónico para la incubadora neonatal Atom V-2100G. Cumple con los requisitos normativos de seguridad y desempeño establecidos para este tipo de equipos médicos. Fundamentalmente satisface la IEC 60601-1:2012 y la IEC 60601-2-19:2020, garantizando un entorno seguro y estable para los pacientes neonatales. Los ensayos realizados demostraron que el sistema alcanza tiempos de establecimiento de 25 minutos para una temperatura de control del aire de 32 °C y de 45 minutos para 36 °C de la temperatura de la piel, con un error inferior al 3 %. Se garantiza estabilidad y precisión en la regulación de temperatura y humedad.

La verificación de los parámetros de funcionamiento permitió la aprobación del CECMED para la realización de ensayos clínicos, así como la validación en laboratorios de tropicalización. Gracias a este desarrollo se han rehabilitado varias incubadoras que ya se encuentran en uso en servicios neonatales, contribuyendo a la recuperación tecnológica y a la soberanía en el sector biomédico.

No obstante, la propuesta presenta la limitación de estar adaptada únicamente al modelo V-2100G, lo que implica la necesidad de ajustes para su aplicación en otros modelos de incubadoras. Como línea de investigación futura, se recomienda explorar la integración de estrategias de control avanzado, tales como el Control Predictivo Basado en Modelo (MPC) o la lógica difusa, con el fin de optimizar la estabilidad, la respuesta dinámica y la robustez del sistema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la oportunidad de participar en el Proyecto Nacional CTI de Cuba, bajo el código PN223LH004-014. También reconocen al grupo multidisciplinario compuesto por personal médico, técnicos y desarrolladores que

facilitaron la obtención del desarrollo descrito y a las Instituciones de Electromedicina Nacional, ICEM y Gelect. Finalmente, se agradece al Comité Organizador del Congreso CUBAINDUSTRIA 2024, por la posibilidad de socializar los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- 1 Kurimoto T., Ibara S., Ishihara C., Naito Y., Hirakawa E., Yamamoto, T. Incubator humidity and temperature control in infants born at 22-23 weeks' gestation. *Early Human Development*. Vol. 166. p. 105550. Jan. 2022. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2022.105550.
- 2 Pérez Villanueva, H., Medina Rodríguez, Z., Alfonso Cordoví, A., Casanova Pacheco, J.L., Corrales Lay, L.R., Prieto Moreno, A.S. Diseño e implementación de un software para dispositivos médicos modulares. *Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, RIELAC, 2024, 45(3):e2402.
- 3 Suárez Concepción, F., Piñero Aguilar, R., Prieto Moreno, A.S., Alfonso Cordoví, A., Carbó Castro, J.C., Llanes-Santiago, O. Metodología para la automatización de procesos tecnológicos en la industria farmacéutica cubana. *Ingeniería Industrial*, 2022, 43(1):1-14.
- 4 Vázquez Leiva, J.H., Feito Guerra, A., Mustelier Rivero, R., Buzón Tur, M., Estévez Alonso, A. Sistema de Monitorización basado en AIS y SBC para gestión lógica portuaria. *Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, RIELAC, 2025, 46:e979.
- 5 Nagy S., Torres A., Hernández A. Eds. *Electrónica y sus Aplicaciones en era de la Ciencia y Tecnología*, Tomo 1: Electrónica Analógica, Tomo 2: Electrónica Digital y Tomo 3: Sistema de Adquisición de Datos y Mecatrónica. 1 edición. Editorial Félix Varela. Cuba, 2015.
- 6 Moscoso D. A. F. Tesis. Control y automatización de una incubadora neonatal analógica. Universidad del Azuay, 2023. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13425>. (Accedido sept. 18, 2023).
- 7 ATmega2560-16AU Microcontrolador Atmel 8-Bit. [Hoja de Datos/Web] Microjpm. Disponible en: <https://www.microjpm.com/products/ad32796/> (Accedido en sept. 15, 2021).
- 8 Técnicas de programación para un uso eficiente de ATMEGA2560. [Web/Blog] Ariat-tech. Disponible en: <https://www.ariat-tech.es/blog/programming-techniques-for-efficient-use-of-atmega2560.html/> (Accedido sept. 15, 2021).
- 9 Atmel. Atmel-42735B-328/P_Datasheet_Summary-11/2016. Disponible en: <https://uelectronics.com/wp-content/uploads/2018/09/ATML-S-A0002642585-1.pdf>. (Accedido sept. 15, 2021).
- 10 LLAMAS L. [Web/Blog] Teoría de control en Arduino, el controlador PID. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/teoria-de-control-en-arduino-el-controlador-pid>. (Accedido en abril.17, 2022).
- 11 Woldeamanue, L. H., Ramaveerapathiran A. Design of Multivariable PID Control Scheme for Humidity and Temperature Control of Neonatal Incubator. *IEEE Access*, vol. 12, pp. 6051–6062, 2024, doi: 10.1109/access.2024.3349426.
- 12 Medical electrical equipment. Part 2-19: Particular requirements for the basic safety and essential performance of infant incubators, IEC 60601-2-19, Edición consolidada 2020.
- 13 Medical electrical equipment. Part 2-20: Particular requirements for the basic safety and essential performance of infant transport incubators, IEC 60601-2-20 2020.
- 14 Widhiada W., Antara I. N., Budiarsa I.N., Karohika I.M. The Robust PID Control System of Temperature Stability and Humidity on Infant Incubator Based on Arduino AT Mega 2560. Vol. 248, no. 1, p. 012046, Apr. 2019, doi: 10.1088/1755-1315/248/1/012046. Disponible en: <http://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019E&ES..248a2046W/abstract>. [Accedido sept. 15, 2021].
- 15 Mohammed S.S., Mohammed Z.G., Khaleel K.N., Abbas A. A. Smart Infant Incubator Based On Mega Microcontroller. *IEEE*, Aug. 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/IICETA47481.2019.9013004. Disponible en: https://jglobal.jst.go.jp/en/detail?JGLOBAL_ID=202002210394997654. [Accedido sept. 15, 2021].
- 16 Latif A., Widodo H.A., Atmoko R. A, Phong T.N., Helmy E. T. Temperature and Humidity Controlling System for Baby Incubator. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 2, no. 3, pp. 190–193, May 2021, doi: 10.18196/JRC.2376. Disponible en: <https://journal.umy.ac.id/index.php/jrc/article/download/7716/5772>. [Accedido sept. 15, 2021].

- 17 Vanegas K.J.H. "Sistema de gestión y control para incubadora Neonatal," Tesis de maestría, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, 2021. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10584/9918>. [Accedido: Sep. 15, 2021].
- 18 Casallas L. H. K., Sánchez L.A, Quintero H. A. Metrología aplicada a la calibración de incubadora neonatal. Revista EIA, vol. 17, no. 34, pp. 1–12, Oct. 2020, doi: 10.24050/REIA.V17I34.1331. Available: <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/download/1331/1338>. [Accedido sept. 15, 2021].
- 19 Ogata K. Ingeniería de control Moderna. Quinta Edición. Pearson. 2010.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno de los autores manifestó la existencia de posibles conflictos de intereses que debieran ser declarados en relación con este artículo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Ezequiel Rodríguez Acosta: Líder del proyecto. Diseño de la electrónica del controlador realizado, así como en la instalación y montaje de los componentes, partes y piezas de toda la electrónica del equipo. Desarrolló la interfaz visual interactiva del equipo. Participó en la programación del controlador. Diseño de experimento y ensayos para la comprobación del funcionamiento del equipo. Participó en todos los exámenes y pruebas realizados al prototipo.

Yelena Matias Domínguez: Diseño de la electrónica del controlador. Desarrollo de la programación del controlador

Darien Piña Sánchez: Diseño de la electrónica del controlador realizado, así como en la instalación de los componentes, partes y piezas de toda la electrónica del equipo. Interfaz visual interactiva del equipo. Desarrollo de la programación del controlador. Diseño de experimento. Participó en todos los exámenes y pruebas realizados al prototipo. Revisión del documento.

Adriana Acosta Corzo: Conceptualización del proyecto. Asesoría en el diseño de los ensayos de comprobación. Organización y revisión crítica del artículo.

AUTORES

Ezequiel Rodríguez Acosta: Graduado de Ingeniería Biomédica en la Universidad Tecnológica de La Habana. Ha trabajado como especialista en desarrollo de la empresa ICEM y especialista en soluciones tecnológicas y biomédicas en la Incubadora Tecnológica de GELECT. Trabaja en Cervecería Cubana, La Habana, Cuba. Correo: ezequiel96ra@mail.com <https://orcid.org/0009-0001-9400-2976>. Sus principales intereses de investigación están relacionados con los sistemas biomédicos y desarrollo de equipos electrónicos.

Yelena Matias Domínguez: Graduada de Ingeniería Automática. Ha trabajado en la Incubadora Tecnológica de GELECT, como Especialista en Soluciones Tecnológicas para Automatización, Control de Sistemas y Electrónica, La Habana, Cuba. Actualmente está cursando la Maestría en Ingeniería Eléctrica, campo: Instrumentación en la Universidad Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México, México. Correo: yelenamd96@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9253-8881>. Sus principales intereses de investigación están relacionados con el control de sistemas, instrumentación e inteligencia artificial

Darien Piña Sánchez: Graduado de Ingeniería Automática. Dirigió la Incubadora Tecnológica de GELECT, ha trabajado como Especialista en Soluciones Tecnológicas para Automatización, Control de Sistemas y Electrónica, La Habana, Cuba. Actualmente es líder del Departamento de desarrollo de la empresa Mecatek en La Habana, Cuba. Además, está cursando la Maestría en Ingeniería Eléctrica, campo: Procesamiento de Señales, en la Universidad Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México, México. Correo: dariens8@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-8692-9931>. Sus principales intereses de investigación están relacionados con sistemas embebidos, inteligencia artificial, sistemas industriales avanzados.

Adriana V. Acosta Corzo: Graduada de Ingeniería electricista. Es profesora titular y doctora en ciencias técnicas. Trabaja en la Dirección central de tecnologías informáticas de la empresa de telecomunicaciones, ETECSA, La Habana, Cuba. Correo: acostavac1965@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-4810-316X>. Sus principales intereses de investigación están relacionados con el control predictivo no lineal y la instrumentación industrial.



Esta revista se publica bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)