

Diseño y Construcción del Prototipo de Código Abierto de una Incubadora con Agitación Orbital

Loza Matovelle, D.*; Torres, M.**; Ruilova, M.*; Albán, L.*; Velasco, R.*; Segura, L. J.*; Dabirian, R.*

* Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Sangolquí, Ecuador.
e-mail: {dcloza; maruilova; lmalban; ljsegura; rmvelasco }@espe.edu.ec; dabirian@gmail.com

**Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura, Sangolquí, Ecuador.
e-mail: mmtorres@espe.edu.ec

Resumen: El artículo describe el desarrollo de un prototipo de código abierto de una incubadora con agitación orbital. El prototipo consta de tres elementos: Un sistema mecánico que realiza el movimiento orbital, balanceado dinámicamente para evitar vibraciones. Un sistema térmico aplicando convección forzada, obteniendo una temperatura homogénea en la cámara de incubación con uso de ventiladores. Un sistema electrónico que utiliza una plataforma Arduino. También, se programó un controlador de temperatura y velocidad de agitación con precisión de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ y ± 1 rpm. Se realizó una interfaz humano-máquina para el ingreso de variables como tiempo de trabajo, velocidad y temperatura del equipo. Las pruebas realizadas en el prototipo son del control de la velocidad de agitación y homogenización de la temperatura en su interior. El desarrollo de este primer prototipo se lo hizo con tecnología abierta y materiales de bajo costo obteniendo niveles similares de eficiencia comparadas con equipos industriales.

Palabras claves: Prototipo, incubadora, código abierto, bajo costo, convección forzada.

Abstract: This paper describes the design of an open-source orbital-shaker incubator prototype. The machine contains three components: A mechanical system which creates the orbital movement and is dynamically balanced in order to reduce vibrations. A thermal system based on forced convection, which permits to calibrate a homogeneous temperature inside the incubator chamber while several fans are activated. The electronic system, which is based on Arduino embedded systems. Furthermore, the temperature and velocity controllers have been programmed with $\pm 0.5^\circ\text{C}$ and ± 1 rpm precision. Besides, it contains a human-machine interface (HMI) which is used to enter operating parameters such as time, velocity and temperature of the working process. The shaking velocity and homogenization temperature control were also tested. The prototype construction was made by applying open-source technology, low cost materials and its behavior is similar to that of industrial equipment.

Keywords: Prototype, incubator, open source, low cost, forced convection.

1. INTRODUCCIÓN

La filosofía de código abierto ha revolucionado y cambiado sustancialmente la forma de ver y crear cientos de soluciones a los problemas cotidianos [1]. Es así, que durante estos últimos años se ha facilitado la obtención de mejoras continuas de cientos de equipos y herramientas sobre todo en el ámbito científico y laboral, obteniendo como resultado la reproducción de herramientas de primera necesidad a menor costo e incluso con un valor agregado [1, 2].

Las ventajas que presenta el uso de tecnología abierta [3] se ve reflejada en el crecimiento de proyectos, accesibilidad, la dependencia tecnológica se minimiza, costos reducidos, entre otros. En este ámbito los equipos de laboratorio no son la

excepción y por ello se ha planteado el desarrollo del prototipo de la incubadora utilizando dichas ventajas. En este ámbito los equipos de laboratorio no son la excepción y por ello se ha planteado el desarrollo del prototipo de la incubadora utilizando dichas ventajas. Las incubadoras con agitación orbital se encuentran constituidas principalmente por la integración de dos equipos.

El primero es una cámara diseñada para mantener una temperatura, atmósfera y humedad controladas con el objetivo de conservar organismos vivos en un entorno adecuado para su crecimiento. Segundo con un mecanismo de agitación orbital que se utiliza en los laboratorios para la homogenización y preparación de combinaciones de sustancias en función de la aplicación con el objetivo de regular la velocidad de funcionamiento.

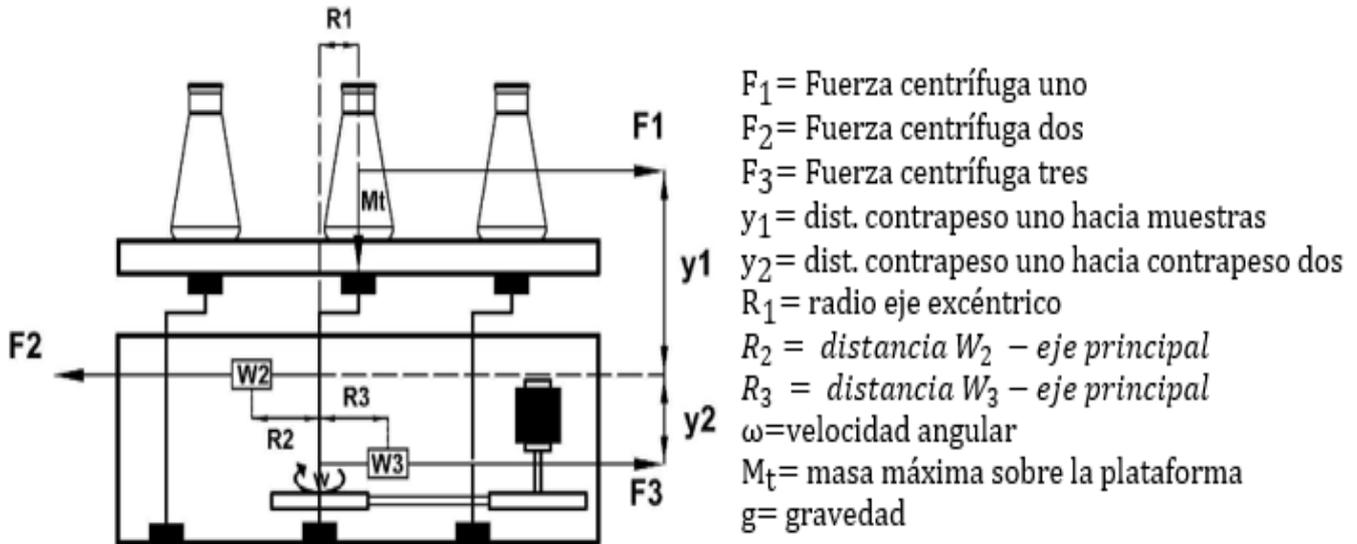


Figura 1. Cuerpo libre de la incubadora para el dimensionamiento de los contrapesos

Un sistema similar realizado en Ecuador sobre una cámara para simular condiciones ambientales se puede encontrar en [4].

Debido a la evolución de la tecnología se han logrado desarrollar varias formas y diseños relacionados a la incubadora con agitación. Por tal motivo, existen patentes entre las cuales destacamos: "Incubating Orbital Shaker" desarrollada por Michael D. Manera [5]. Este prototipo consiste en una incubadora con agitación orbital que posee un controlador de temperatura de precisión de 0.1 °C, interfaz de ingreso de las variables de rpm, tiempo y temperatura, sensor de vibración, balanceo estático en el eje excéntrico y transmisión de calor forzada.

Las incubadoras son equipos de uso continuo, que sirven para mantener el desarrollo microbiológico progresivo de cultivos bacterianos especialmente. En los ambientes mencionados se regula factores de crecimiento en condiciones óptimas como por ejemplo, la temperatura, la humedad y ventilación. Además, incluyen la capacidad de controlar temperaturas extremadamente bajas (microbiológicas), humedad y niveles de dióxido de carbono y agitación (cultivos celulares). Por lo tanto, su campo de aplicación es muy útil en varias materias de estudio tales como: biología celular, microbiología, biología molecular, bacteriología, micología, hematología, cultivos celulares entre otros.

El presente artículo presenta una alternativa tecnológica de código abierto y bajo costo. Este prototipo de incubadora con agitación ha sido realizado utilizando plataforma de código abierto Arduino, tanto para el control de los actuadores como para el ingreso de datos a través de un HMI (del inglés *Human Machine Interface*). Consta además de un mecanismo de agitación orbital mediante flechas excéntricas. Para la reducción de vibraciones se diseñó un sistema de balanceo

dinámico. También, se incluye el análisis del sistema térmico aplicando convección forzada por medio de ventiladores al interior de la cámara de calor e incubación con una resistencia eléctrica. Finalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento en el prototipo en cuanto a la estabilización de la temperatura y el control de agitación, comparada con incubadoras comerciales obteniendo resultados similares. Es decir la temperatura fluctúa dentro de un rango de $\pm 1^\circ\text{C}$ lo cual es un valor común para los equipos comerciales.

2. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

2.1. Sistema Mecánico.

El sistema refiere a los componentes mecánicos que permiten a la plataforma de la incubadora poseer un movimiento orbital [6, 7]. El sistema se compone de una chumacera de piso, la que se encarga de mantener firme la el eje motriz (Fig. 1). El mismo gira gracias a la transmisión de potencia que ofrece un motor a pasos, a través de una banda tipo 3V hacia una polea en el primero de los ejes que conforman el mecanismo. En el eje se encuentran ubicados dos masas que hacen la función de contra pesos. Los cuales se encuentran ubicados a diferentes alturas y opuestas al sentido del centro de todo el eje.

En la parte superior se ubica un eje excéntrico que es el que realiza el movimiento orbital. Para reducir las perturbaciones o fuerzas vibratorias en la incubadora con agitación se debe realizar un balance dinámico del mecanismo [8], el mismo consiste en agregar contrapesos.

La Fig. 1 establece las fuerzas actuantes para el análisis matemático del balanceo dinámico. Aplicando análisis de equilibrio tanto en fuerzas como en momentos obtenemos:

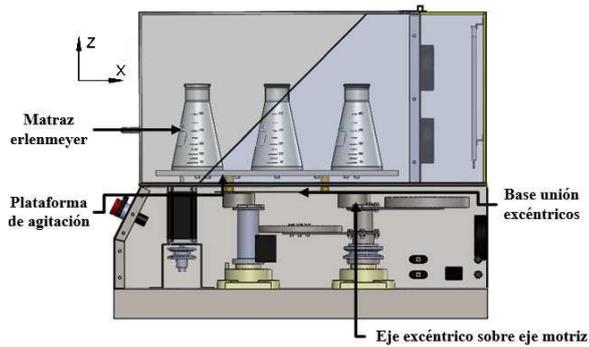


Figura 2. Elementos sobre el eje excéntrico para cálculo del torque

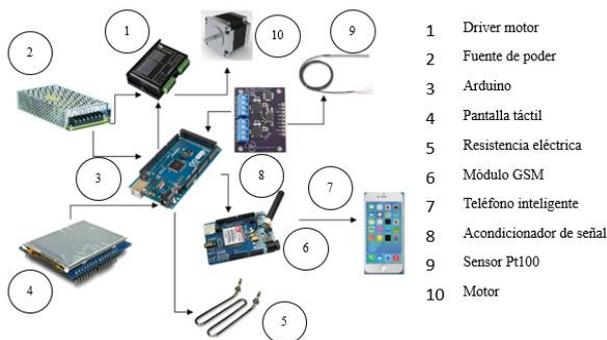


Figura 3 Sistema de control y componentes pertinentes para controlador a través de Arduino

$$F_1 = M_t \times \omega_2 \times R_1 \times g \quad (1)$$

$$F_2 = W_2 \times \omega_2 \times R_2 \times g \quad (2)$$

$$F_3 = W_3 \times \omega_2 \times R_3 \times g \quad (3)$$

De aquí logramos obtener los valores de los contrapesos W_3 y W_2 que serán los encargados de eliminar cualquier tipo de vibración en la máquina. Así también, el motor tiene la potencia necesaria para mover todo el mecanismo. Calculando la inercia total del mecanismo y el peso máximo que soporta la máquina. (Fig. 2).

Mediante el cálculo de la inercia de todos los elementos (4), que componen el sistema de agitación obtenemos los valores necesarios para el cálculo del torque en (5).

$$I = \left(\frac{1}{2}\right) \times m \times (a^2 + b^2) \quad (5)$$

$$\sum T = I \times \alpha \quad (6)$$

Realizando el debido análisis matemático logramos obtener los valores de torque necesario para la correcta selección del motor.

Adicionalmente, el sistema posee dos ejes secundarios o conducidos, los cuales son el apoyo para que el sistema tenga un movimiento adecuado y soporte todo el peso de las diferentes muestras ubicadas en la bandeja que está unida a los 3 ejes antes nombrados.

El diseño del mecanismo de agitación permite el desmontaje de todas las partes para su mantenimiento y limpieza sin que la máquina sufra algún desperfecto en su funcionamiento.

2.2 Sistema Electrónico y Control.

Contiene componentes eléctricos y electrónicos (Fig. 3) encargados de interpretar y ejecutar los comandos que sean ingresados por el operador.

El sistema contiene dos sensores de temperatura Pt100 de clase A [9] los mismos que son utilizados ya que al ser un equipo médico se necesita gran precisión. El circuito utilizado para acondicionar la señal del sensor es el MAX31865 el cual, envía la información necesaria para que sea procesado por un microcontrolador Arduino Mega 2560 [10].

El modelamiento matemático de la incubadora presenta una función de transferencia lineal, sugiriendo así el uso de una estrategia de control sencilla pero robusta a la vez. Por lo tanto, para el control de temperatura se diseñó un controlador tipo PID [11]. Esta señal que es enviada por el microcontrolador permite controlar la cantidad de calor que genera la resistencia eléctrica por medio del relé de estado sólido.

Otro aspecto a controlar es la velocidad de agitación de la incubadora. Para ello se implementó un motor a pasos NE-MA 23 debido a la facilidad de instalación, presencia en el mercado, al alto torque de parada, torque constante en cualquier etapa de control, pero más significativamente debido a la facilidad de control. Al ser un motor a pasos se requiere de un tren de pulsos que gobierne la rotación de este actuador, es así que se incorporó un Arduino Nano [12] que envía las señales en función de la velocidad ingresada por el usuario. Es importante recalcar el hecho de que la incubadora es un equipo que requiere de un control preciso de las variables de operación. Las señales enviadas para el funcionamiento del motor son recibidas y procesadas por el driver MD556 que se encuentra a nexa a una fuente de alimentación dedicada al motor de 24VDC y 140W.

La incubadora con agitación posee una interfaz que facilita al usuario ingresar los datos y mantener un control de funcionamiento en tiempo real del sistema evitando errores por falta de información.

Todo el sistema es complementado con luces piloto de color verde y rojo, las cuales indican el estado de funcionamiento de la máquina. Así también, por un botón de emergencia el cual bloquea todo el sistema de agitación y de incubación en caso de ocurrir accidentes como derrame de las muestras, entre otros. Finalmente, se instaló un interruptor de dos posiciones para el encendido y apagado de todos los sistemas del equipo, el mismo que está conectado directamente al sistema de energía principal.

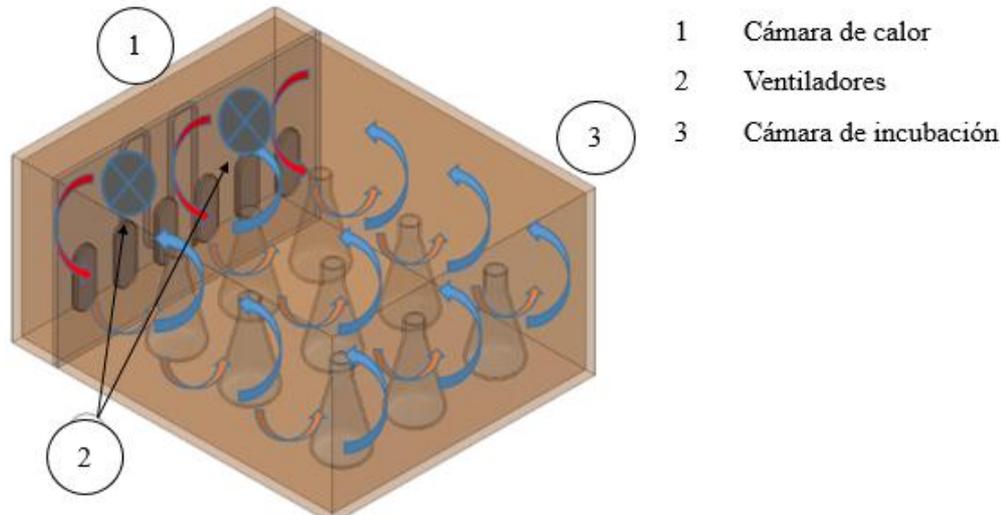


Figura 4. Sistema Térmico

2.3 Sistema Térmico

Su función es generar el calor y además de transferir el mismo desde el origen (resistencia eléctrica) hacia la cámara de incubación (Fig. 4) [13, 14]. El calor es distribuido a través de ventiladores que se encargan de mantener una temperatura homogénea dentro de la misma. El principal objetivo es tener un ambiente controlado y homogéneo en todos los puntos donde se ubican las muestras o cultivos a incubar y agitar. El requerimiento del diseño de la cámara de incubación es que debe ser completamente hermética, es decir, que no exista ninguna fuga o escape de calor hacia el exterior.

El requerimiento del diseño de la cámara de incubación es que debe ser completamente hermética, es decir, que no exista ninguna fuga de aire hacia el exterior y viceversa. Esto no solo que ayuda a que las muestras no se contaminen, sino que también tiene una connotación desde el punto de vista técnico. Un ambiente hermético requiere menos consumo de energía lo que deriva en una mayor eficiencia productiva de la máquina.

Con este antecedente, se ha definido al sistema térmico en dos cámaras separadas a través de una rejilla diseñada para el adecuado flujo de aire. La primera es una cámara de calentamiento en la cual se encuentra ubicada una resistencia eléctrica de 800 W, con suficiente potencia para calentar el volumen de aire contenido. Una de las características a destacar del actuador de esta cámara es que su geometría garantiza la calefacción homogénea del aire en todo el espacio.

En la frontera de las dos cámaras, se encuentran ubicados estratégicamente cuatro ventiladores, los mismos que cumplen un papel muy importante en la distribución del aire caliente que circulará de la cámara de calentamiento a la de incubación. Los ventiladores se encargan de transferir el aire desde la cámara de incubación hacia la cámara de calentamiento y viceversa.

Los ventiladores están debidamente controlados para que el flujo de aire presente tenga las condiciones necesarias para funcionar a una temperatura correcta (Fig. 5). La segunda, la cámara de incubación, es el lugar donde se encontrarán las muestras, las cuales necesitan de un ambiente con una temperatura constante. Además, una cámara de incubación requiere de flujo de aire laminar a fin de evitar variaciones bruscas o una mala homogenización del aire en su interior. Este tipo de transmisión de calor es denominada transferencia por convección forzada.

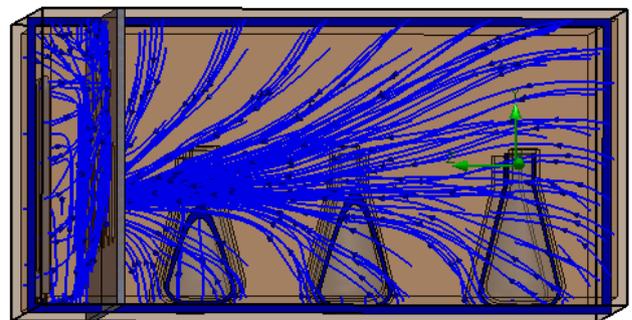


Figura 5. Simulación software CAD distribución del aire

Una parte fundamental al momento de la conservación de energía al interior de la incubadora es el aislamiento de la misma. Esto se logró mediante el uso de láminas que reducen casi en su totalidad la transferencia de calor hacia el exterior, el aislamiento llamado “*thermolon*”, es de excelente propiedades térmicas además de no ser abrasivo [15].

Finalmente, la compuerta de acceso que es de polimetilmetacrilato, el cual permite en menor escape de energía con relación a otros materiales como el vidrio [14]

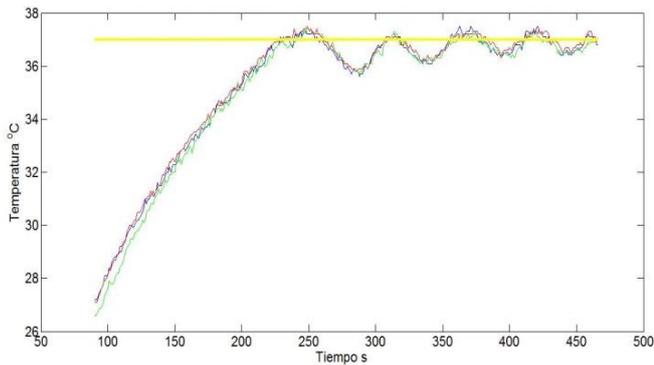


Figura 6. Homogenización de la temperatura en la incubadora con agitación

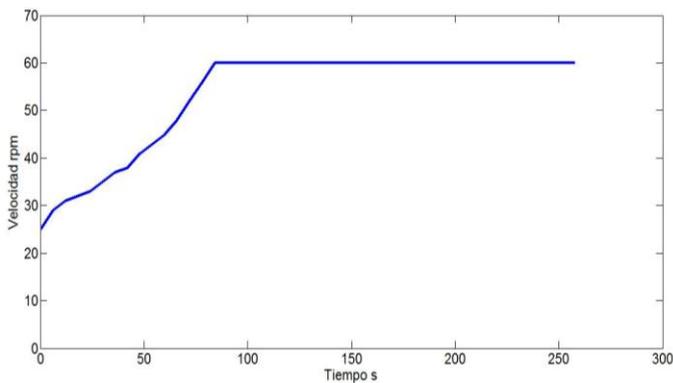


Figura 7. Controlador Proporcional del Motor

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la investigación se construyó el primer prototipo de la incubadora con agitación orbital con resultados favorables tanto de la circulación del aire al interior (homogenización), así como en el control de temperatura y velocidad deseada.

Mediante el uso de un software CAD de ingeniería se realizó una simulación del sistema de calentamiento, tomando en cuenta las características de los actuadores que son parte de la misma. Entre los diferentes ensayos, se logró una ubicación que favorece a la recirculación y homogenización del aire al interior de la cámara de incubación. Con lo cual se logra que todo el sistema se mantenga en una temperatura constante (Fig. 6).

La homogenización del flujo de aire, el siguiente paso fue obtener una temperatura estable en toda la cámara de incubación. Para lo cual, tomamos tres puntos de control al interior de la cámara de incubación, con la ayuda de sensores de temperatura.

Tomando en cuenta el rendimiento de equipos de laboratorio, se realizó el control y la calibración de todos los sensores y actuadores de nuestro equipo, obteniendo un controlador de temperatura (Fig. 6) que se asemeja a los equipos comerciales, como es el caso de una incubadora con agitación LAB-

NET 311DS [16] el cual tiene parámetros similares de funcionamiento como lo es la temperatura y velocidad.



Figura 8. Prototipo final incubadora con agitación orbital propuesto

Para el controlador en la parte de la velocidad se diseñó un controlador tipo proporcional, con el cual se reduce los pulsos por minutos cada cierto tiempo, provocando un incremento de velocidad de constante aproximadamente dos revoluciones por minuto (Fig. 7).

Se ha desarrollado una interfaz hombre – máquina en la cual el usuario debe ingresar los parámetros deseados tales como: temperatura, velocidad angular y tiempo de funcionamiento. El sistema tiene un módulo GSM que de manera remota puede avisar al celular que el proceso se ha terminado con éxito o ha sucedido algún error en la ejecución.

En la Fig. 8 se encuentra el prototipo de la incubadora con agitación orbital. Teniendo en su parte frontal un panel de control, y en su parte interior la cámara de incubación, la bandeja de la misma y los soportes de los Erlenmeyers.

4. CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

Se diseñó y construyó un prototipo de incubadora con agitación orbital de código abierto y de bajo costo. Un equipo comercial con control de temperatura y movimiento orbital está alrededor de 10000 dólares en el mercado actual, en el desarrollo de nuestro prototipo se gastó alrededor de 1500 dólares. Dicho ahorro proviene de dos fuentes: el uso de microprocesador de Arduino para control del proceso de temperatura y agitación. Segundo, el ahorro inherente que viene con la construcción de partes metálicas del equipo, en contraparte a comprar las partes construidas.

El cual consta de un mecanismo de agitación de movimiento orbital controlado electrónicamente por un controlador PID con incremento de 1 rpm. Además, se incluye un sistema de balanceo dinámico para reducir las vibraciones ocasionada por las flechas excéntricas del mecanismo. Incluyendo un sistema térmico empleando la transferencia de calor por convección forzada y un controlador de temperatura con una precisión menor a 0.5 C. También posee una HMI para el ingreso de las variables de temperatura, velocidad de agitación y tiempo de trabajo empleando “hardware” y “software” de código abierto [17].

El sistema térmico es diseñado por convección forzada. Consiste principalmente por una cámara de calentamiento donde se encuentra la niquelina. Se utilizó cuatro ventiladores para poder homogeneizar la temperatura en toda la zona de incubación. Se ubicaron dos ventiladores encargados de recircular el aire. También, otros dos ventiladores para expulsar el calor acumulado desde la zona que se encuentra la resistencia eléctrica hacia las muestras colocadas en el equipo.

El control de la velocidad de agitación es muy importante al momento de realizar los ensayos, gracias al tipo de motor usado (motor a pasos), su funcionamiento es más sencillo y sobre todo preciso, ya que al tener el control de los pulsos gracias a un controlador tipo proporcional.

La rentabilidad económica de la construcción de nuestro prototipo es muy importante comprada con las encontradas en el mercado internacional teniendo un costo menor de aproximadamente un 50 % constituyendo una alternativa en nuestro país de fomentar la innovación y fabricación de estos equipos. Reduciendo así las tasas de importación de los mismos que son de alta utilización en los laboratorios, con una calidad óptima para el desarrollo de la docencia, utilizando los mismos recursos y el conocimiento técnico multidisciplinario de la universidad.

AGRADECIMIENTOS

Parte muy importante de este proyecto son las personas que trabajan en el Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. El presente trabajo fue patrocinado por el Proyecto Prometeo de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de la República del Ecuador.

REFERENCIAS

- [1] J.M. Pearce, *Open-Source Lab: How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs*, Elsevier. 2013.
- [2] M. Jakubowski, *Open Source Ecology: Civilization start kit*. 2012. Available: http://opensourceecology.org/wiki/Civilization_Start-Kit_DVD_v0.01/es
- [3] D. K. Fisher, P.K. Gould, Open-Source Hardware Is a Low-Cost Alternative for Scientific Instrumentation and Research, *Modern Instrumentation*, 1, 2012, 8-20.
- [4] T. Oviedo y M. Fajardo, Diseño y construcción de una cámara para simular condiciones ambientales a 7000 m.s.n.m, *Rev. Politécnica*. 31(1),2012, 46–51.

- [5] M.D. Manera, M. Yankowy, M. Elefante y H. Busch, *Incubating orbital shaker*. US20080056059 A1. 2008
- [6] R. Norton, *Diseño de Maquinaria*, Ed Mc Graw Hill, 2009
- [7] R. Mott, *Diseño de elementos de máquina*, Ed Pearson Education, 2006
- [8] R. Norton, *Cinemática y Dinámica de Mecanismos*, Ed Mc Graw Hill. 2011
- [9] R. Bishop, *The Mechatronics Handbook*, Ed CRC Press, 2002
- [10] A. Gibb, *Building Open Source Hardware*. Addison-Wesley. 2015
- [11] B.C. Kuo, *Sistemas de Control Automático*, Ed Prentice Hall Hispanoamerica S.A. 2004
- [12] Arduino Nano, 2015. Available: <http://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardNano>
- [13] Y. Cengel, *Transferencia de Calor y Masa - Un Enfoque Práctico*, Ed Mc-Graw Hill, 2007
- [14] J.P. Holman, *Transferencia de Calor*. Mc-Graw Hill, 2013
- [15] Polyton: *Ficha técnica de nuestros productos- Thermolon*. 2008, Available: <http://www.polyton.com/es/marcas-productos/thermolon>
- [16] *311DS environmental shaking incubator Data Manual*, LabNet, 2010. Available: <http://northamerica.labnetinternational.com/products/311ds-shaking-incubator>
- [17] R. Herrera, “Herramientas de Software Libre para Aplicaciones en Ciencias e Ingeniería”, *Rev. Politécnica*, 32, 2013, pp 2-8.