

Tema: Diseño Mecánico: Diseño de un prototipo mecatrónico

“Diseño de una cámara de condicionamiento operante, su sistema de control e interfaz gráfica”

Diana Paula Vázquez Lezama, Leopoldo Adrián González González

**Facultad de Ingeniería de la UNAM, Av. Universidad 3000, Cd. Universitaria, Ciudad de México, 045101, México.*

**Autor contacto. Dirección de correo electrónico: pologlez@unam.mx*

RESUMEN

El presente trabajo muestra un caso de diseño de un prototipo mecatrónico siguiendo una metodología de ingeniería de diseño, así como el uso de algunas herramientas propuestas por diferentes autores, con el objetivo de obtener un prototipo funcional de una cámara de condicionamiento operante, con la finalidad de ser utilizada en trabajos experimentales en institutos dedicados a la investigación en neurociencias, psicología y afines. Se presentan las diferentes etapas de diseño realizadas así como los resultados obtenidos e imágenes de un primer prototipo resultante.

Palabras Clave: Diseño, Skinner Box, Cámara condicionamiento operante.

ABSTRACT

The present work shows a case of design of a mechatronic prototype following a methodology of design engineering, as well as the use of some tools proposed by different authors, in order to obtain a functional prototype of an operant conditioning chamber, in order to be used in experimental works in institutes dedicated to research in neurosciences, psychology and related. The different design stages carried out as well as the obtained results and images of a first resulting prototype are presented

Keywords: Design, Skinner Box, Operant conditioning chamber.

1. Introducción

El presente trabajo muestra un caso de ingeniería de diseño aplicada a la generación de un primer prototipo funcional de una cámara de condicionamiento operante (CCO).

Como objetivo del proyecto se planteó diseñar una CCO para ratones funcional para experimentos en el área de las neurociencias y afines y diseñar un software desde el cual, el usuario pueda controlar el sistema completo y obtener los resultados arrojados durante la rutina de condicionamiento.

1.1. Antecedentes del condicionamiento operante.

El condicionamiento operante (CO) es un “tipo de aprendizaje en el cual el comportamiento aumenta si viene seguido por un refuerzo [una recompensa] o disminuye si le sigue un castigo” [1]. Una CCO es en resumen una “cámara

que contiene una barra o una tecla [interruptor silencioso] que un animal puede manipular para obtener comida o agua como refuerzo, con un aparato que mide las veces que el animal presiona la barra o pulsa la tecla. (...)” [1].

1.2. Breve descripción de las cámaras de condicionamiento operante.

El primer prototipo de una CCO se desarrolló en el año de 1949 a manos del ingeniero Paul Whiteside Dippolito [2]; Dippolito trabajó de la mano con B. F. Skinner (importante psicólogo del siglo XX y padre del CO) para su desarrollo. En la Figura 1 se presenta una foto de las primeras CCO comerciales en 1949.

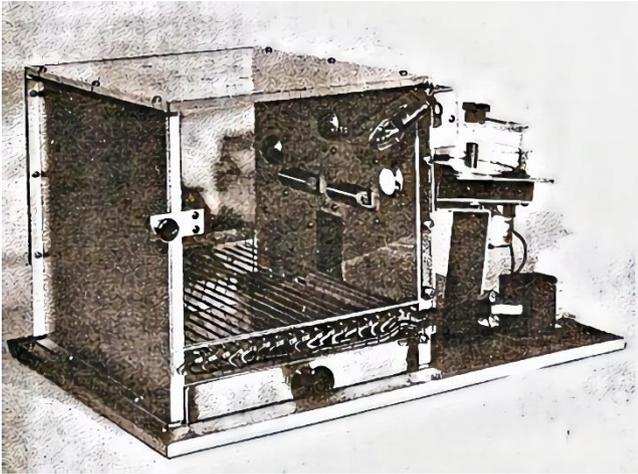


Figura 1 - Cámara de condicionamiento operante para ratas y monos pequeños de la compañía Grason-Stanled [3].

En el primer prototipo, se ubican algunos de los principales sistemas que hasta la fecha se siguen utilizando en las CO, como es un interruptor que puede mostrarse u ocultarse durante la rutina, una bocina controlada en frecuencia y potencia sonora, y un osciloscopio de cuatro canales el cual fungía de registro acumulativo.



Figura 2 - Cámara de condicionamiento operante para ratones de la compañía Bioseb [4].

Las medidas de las CCO no están definidas estrictamente; se busca que el sujeto en estudio tenga un espacio suficiente para poder caminar dentro de la cámara durante la rutina, las medidas varían entonces dependiendo del animal, sea este un roedor, ave, primate, etcétera [5].

Los aditamentos de las CCO si bien se han vuelto más sofisticados y avanzado conforme la tecnología, no han cambiado su forma básica y función, véase por ejemplo la CCO modelo LE1002 (2017) de la Figura 2.

Actualmente los registros acumulativos se llevan a cabo de forma digital, donde el investigador puede elegir entre observar un gráfico u observar datos más simples como el número de pulsaciones en una sesión, el número de equívocos, la cantidad de alimento suministrada, entre otros datos relevantes.

2. Descripción del proceso de diseño de la CCO

Para comenzar con el proceso de diseño se establecieron los requerimientos enlistados a continuación:

- La CCO diseñada debe tener las funciones básicas de una comercial para ratones (a).
- La operación de detección de lengüetazo en el comedero debe realizarse sin hacer pasar corriente a través del animal (b).
- El costo de la CCO en cuanto a materiales debe ser menor al de una cámara comercial (c).

De los requerimientos anteriores se derivan las especificaciones de diseño que se presentan en la Tabla 1; para su realización se basa en la metodología planteada por Ulrich y Schmidt [6]. La primera columna indica el número de la métrica (M), la columna dos el número de requerimiento con el cual se asocia la métrica (R), la tercera columna muestra el enunciado de la métrica, la cuarta y quinta columna muestran la importancia (Imp.) y la unidad de la métrica.

Tabla 1 – Especificaciones de diseño basada en requerimientos.

M	R	Métrica	Imp.	Unidades
1	a	Materiales resistentes a la oxidación producida por la orina y heces del ratón.	1	pH
2	c	Costo en materiales menor al producto comercial (\$7,247.36USD) ¹	2	USD
3	a	Velocidad mínima de captura de los sensores en la CCO será de 10 ms	1	ms
4	a	La estructura de la CCO debe ser modular.	2	-
5	a	Contar con indicadores de luminosidad adecuada para ser vista por el animal.	1	lm
6	a	El interruptor silencioso debe retraerse durante la rutina con una	1	s

¹ Precio de una cotización de una CCO ofrecido por la empresa Med Associates por el paquete MED-307W-B2 en 2018.

		velocidad menor o igual a un segundo.		
7	a	Regular entrega alimento sólido como refuerzo.	1	Número de pellets
8	a	Sistema de control que permita registrar y controlar las rutinas desde una PC.	1	Binario
9	a	Grabación de la rutina de CO	3	Píxeles/ Binario
10	a	Detección de la cabeza del ratón en el comedero con velocidad mayor a 10 ms	1	ms
11	a	Almacenar los datos de la rutina	1	Binario
12	a	Materiales y estructura que permita higiene.	3	-
13	b	Detectar la lengua del ratón haciendo pasar una corriente igual a cero a través de él.	1	A
14	a	Interfaz para manipulación del usuario.	1	Binario

Para facilitar el diseño y la comprensión de las operaciones que realiza una CCO se realiza una descomposición funcional por sistemas según sugiere Dieter y Schmidt para la generación conceptual [7]. En la Figura 3 puede observarse la forma y disposición usual de los diferentes elementos de los que puede estar compuesta una CCO.

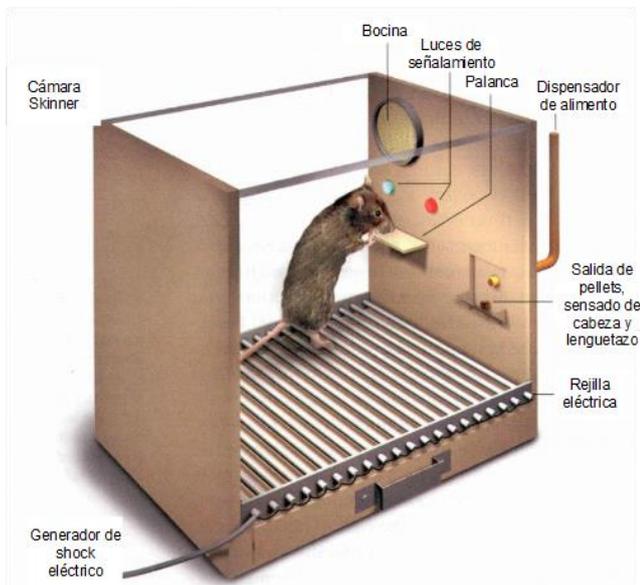


Figura 3 – Ejemplificación de la configuración usual de las partes de una CCO para ratón.

Se eligieron un total de ocho sistemas a diseñar según la prioridad de estos en las rutinas de condicionamiento; a continuación se describen brevemente:

- **Sistema de palanca (SP):** Sensor en forma de palanca que el ratón oprime para liberar el refuerzo; debe activarse con una fuerza no mayor a 1.57 N [9,17].
- **Sistema de iluminación (SI):** Tipos de señales luminosas; una mantiene iluminado el interior de la CCO y otra indica al ratón cuando el SP puede accionarse.
- **Sistema de alimentación (SA):** Dispensa el refuerzo, sea este alimento sólido en forma de pellet o agua.
- **Sistema de lick (SL):** Detecta el lengüetazo del ratón en el comedero o si existe aún un pellet en él; la detección debe realizarse sin pasar corriente a través del ratón.
- **Sistema de video (SV):** Graba en un formato de video la rutina de condicionamiento.
- **Sistema head (SH):** Detecta la cabeza del ratón cuando se acerca al comedero buscando el refuerzo.
- **Sistema de control (SC):** Controla y procesa las señales provenientes de SP, SI, SA, SL, SV y SH.
- **Sistema de estructura (SE):** Comprende el exterior de la cámara. Es donde estarán soportados el resto de los sistemas y donde estará introducido el animal durante la rutina.
- **Sistema de interfaz (SIN):** Interfaz que permite al investigador programar y visualizar los resultados de las rutinas de condicionamiento en la computadora; funge de registro acumulativo y tiene una relación directa con SC.

Como especificación importante de diseño se tiene que todas las señales deben ser adquiridas a una velocidad no menor a 10 μ s para evitar la pérdida de datos importantes de la rutina.

2.1. Generación y selección conceptual

Para los sistemas SP, SA, SH, SC se propusieron diferentes conceptos de solución, lo cuales se detallan en la Tabla 2; se utilizó el método de comparación por pares y matrices de decisión propuesto por Ulrich y Eppinger [6], para elegir la propuesta de solución más adecuada. Para SI, SV, SL y SIN, sólo se propuso una solución.

Tabla 2 –Diferentes propuestas conceptuales de solución organizados por sistema.

1. SP (sensor de pulso)	2. SP (actuador de palanca)	3. Conceptos para SA	4. Conceptos para SH	5. Conceptos para SC
1.1 Sensor infrarrojo	2.1 Biela manivela	3.1 Dispensador de embudo	4.1 Por capara web	5.1 Arduino
1.2 Sensor mecánico de switch	2.2 Tornillo sin fin	3.2 Dispensador de disco	4.2 Por sensor de detección infrarrojo	5.2 PIC
	2.3 Piñón cremallera			5.3 NoMADA

Para seleccionar entre los diferentes conceptos se definieron los siguientes criterios de evaluación:

- **Costo (A) (0.04).** costo de los materiales y los procesos de manufactura necesarios para llevar a cabo el concepto.
- **Manufactura (B) (0.17).** facilidad de manufactura; considera disponibilidad y la velocidad con la cual pueden realizarse. Para SC significa la facilidad de programación del microcontrolador.
- **Asequibilidad (C) (0.22).** facilidad de obtención de los materiales que requiere el concepto, considerando el costo de los mismos.
- **Mantenimiento (D) (0.09).** el sistema de no requerir mayores ajustes después de ser instalado, como cambio de piezas, limpieza, alineación, lubricación, etcétera.
- **Eficiencia de respuesta (E) (0.26).** Alcanzar su función objetivo en el menor tiempo posible y con el mínimo uso de recursos. Para el caso de SE, se considera con el número de pasos necesarios para montar y desmontar un sistema en el SE.
- **Tiempo de respuesta (F) (0.17).** Velocidad en que el sistema es capaz de llevar a cabo su función objetivo.
- **Tiempo de vida (G) (0.04).** Duración del sistema considerando sus componentes y la posibilidad de que al fallar alguno, el sistema completo deba ser remplazado.

El valor entre paréntesis corresponde al factor de peso obtenido mediante el método de comparación por pares e indica su importancia en la evaluación de los conceptos [6].

Se realizó una matriz de decisión por sistema (SP, SA, SH, SC); cada sistema recibió una calificación de su desempeño en cada criterio basada en las capacidades y limitantes que ofrece.

Debido a su importancia dentro el diseño y a modo de ejemplificar el método seguido se muestra en la Figura 4 la matriz de decisión de SP (extracción y retracción de palanca).

Criterios	Peso	Alternativas					
		SSALP C1		SSALP C2		SSALP C3	
A	0.04	6	0.36	6	0.24	8	0.32
B	0.17	6	1.02	6	1.02	8	1.36
C	0.22	6	1.32	5	1.1	8	1.76
D	0.09	7	0.63	8	0.72	9	0.81
E	0.26	7	1.82	7	1.82	9	2.34
F	0.17	7	1.19	8	1.36	9	1.53
G	0.04	7	0.28	8	0.32	9	0.36
			6.57		6.65		8.57

Figura 4 – Matriz de decisión para sistema 2. SP en su función de extracción y retracción de la palanca [4].

Al realizar esta evaluación para SP, SA, SH y SC se decidió utilizar los conceptos 1.2, 2.1, 3.2, 4.2 y 5.1 (numerados por sistema en la Tabla 1).

2.2. Diseño de detalle de los conceptos seleccionados.

Una vez obtenidos los conceptos obtenidos se seleccionan materiales y asignan una configuración dentro de la CCO. Esta etapa centra su atención en los sistemas SL, SH, SP y SE, por considerarlos de mayor relevancia, esto debido a que éstos sistemas son los que requieren más atención en su diseño debido a la tarea que van a desempeñar en las rutinas.

Un dibujo de la configuración de la CCO, se muestra en la Figura 5. La base se manufacturó con acero inoxidable AISI 316 debido a su función como recolector de desechos como son orina y heces del animal; por otro lado los postes que forman las paredes de la cámara se manufacturaron con perfil cuadrado de aluminio de 12.7 mm, debido a que su facilidad de maquinabilidad permitía realizar la forma del perfil requerida de forma rápida y económica. Una rejilla extraíble de varilla de acero inoxidable AISI 316 de 3.18 mm se incluyó como parte esencial de las CCO.



Figura 5 – Dibujo la de CCO diseñada donde se aprecian los sistemas SP, SE, SL, SH y SI.

Las placas que se introducen entre los perfiles para formar las paredes de la cámara son de tres medidas diferentes (pared simple: 70x50x3 mm; pared doble: 70x100x3 mm; pared completa: 70x250x3 mm); este sistema permite que la CO sea modular y pueda usar diferente tipo de materiales (metales o plásticos), según la necesidad de la rutina y el investigador.

Para SP el sistema de biela manivela seleccionado se ocupó en una configuración de yugo escoces, el cual se actúa a través de un servomotor de prueba [10]; el dibujo de SP puede ver se la Figura 5. La palanca a ser pulsada por el ratón se fabricó de acero inoxidable AISI 316 y se montó sobre el yugo escoces. El sensor de switch elegido fue el D2HW-22 de la marca OMRON debido a que la fuerza requerida para

activarlo es de 0.5 N [8], por lo que cumple con la especificación.

Los sistemas SL y SH van montados en el comedero del ratón. En SL para evitar el paso de corriente a través del animal se decidió utilizar un microfotossensor de la marca OMRON modelo EE-SX954W, capaz de sensar objetos desde 1.8 mm [11] de diámetro, y dado que la lengua del ratón alcanza los 2 mm [12], es posible detectarla a través de este método.

Para SH se omite utilizar cualquier tipo de sensor infrarrojo de tipo difuso pues implica que el sensado de la cabeza del ratón cambie dependiendo de cuán lejos del sensor introduzca la cabeza. Se opta por el uso de un diodo laser, el cual emite un haz de luz que es detectado por un LDR, la señal analógica, se calibrarla considerando la luz que emite el SI.

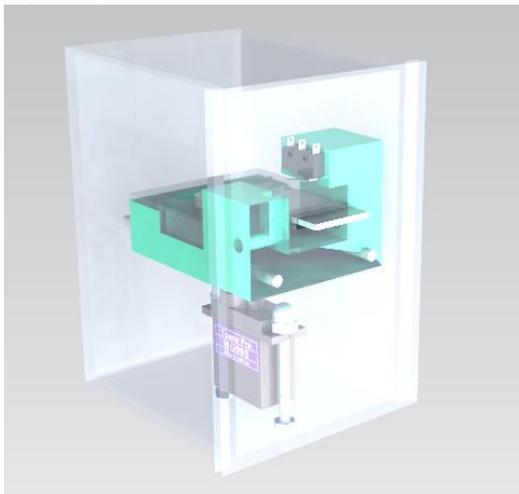


Figura 6 – Dibujo de SP, sin la parte electrónica.

El tipo de LDR debe responder en un tiempo menor de 10 ms; se recomiendan los tipos PGM5616D, PGM5626D o similar pues su tiempo de respuesta es de 10 ms [13]. Para poder colocar ambos sensores se diseñó un comedero especial que permite la disposición de los sensores de SI y SH. El dibujo de conjunto se muestra en la Figura 7.

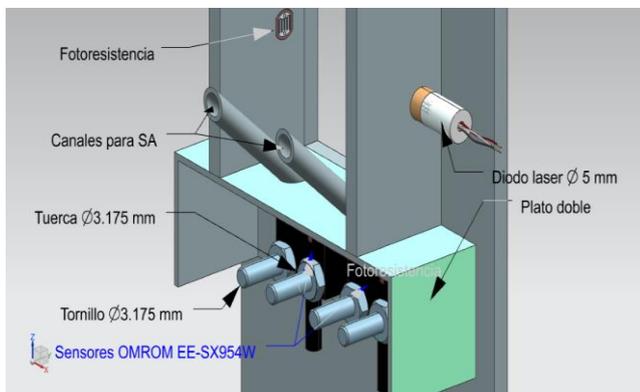


Figura 7 – Dibujo de ensamble de SI con sensores EE-SX954W, PGM5626D y diodo laser.

En cuanto a SA, puede verse su configuración final en la Figura 8, se diseñó su base con un ángulo de 45° para poder sostener los demás componentes con un orificio para poder guiar a los pellets hasta el comedero. El disco tiene un diámetro de 60 mm y gira con un servo motor SG90S; el disco transporta los pellets en las muescas de 4 mm, para dejarlos caer en el comedero.

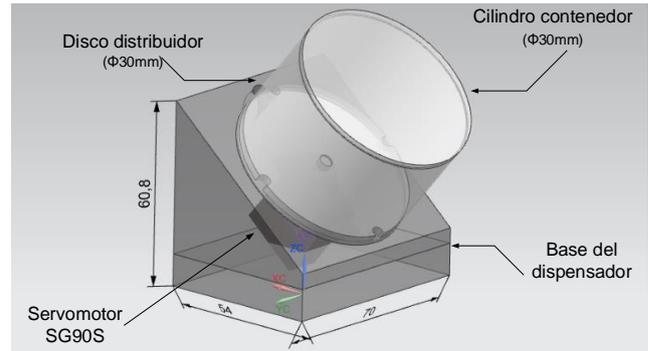


Figura 8 – Ensamble de SA con sensores con disco distribuidor y servomotor SG90S.

Para SI se diseñaron dos tipos de señaladores, uno con un solo LED ámbar y un segundo con tres LEDs de colores rojo, verde y ámbar como se aprecia en la Figura 9; este tipo de indicadores son los más comúnmente usados en las CCO para ratón [14]. Para iluminar el interior de la CCO se implementa el mismo diseño que para los señaladores pero con un LED de luz blanca de 10 mm

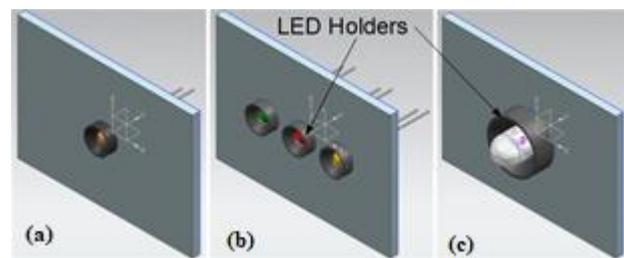


Figura 9 – (a) Señalador ámbar; (b) Señalador tricolor; (c) Iluminador.

El diseño para cada señalador o iluminador implica una placa (material metálico o plástico) de 70x50mm con 3mm de espesor, en las cuales se perforan barrenos pasados con el diámetro adecuado para insertar el tipo de LED deseado (de 5mm para los señaladores y de 10mm para el caso del House Light). Adicional se utiliza un LED holder acorde al tipo de LED a insertar.

El sistema SIN interpreta la configuración que el investigador ingresa para la rutina, la instrumentación aplicada a la CCO y procesada a través de SC no podría ser leída, analizada y desplegada si no se contara con el SIN.

El SIN cuenta con la lógica requerida para interpretar lo que el SC detecta por medio de los sensores dentro de la CCO. También se encarga de almacenar los datos sustraídos por el SC en un archivo digital, asegurando así un posterior análisis de datos, siendo capaz de mostrar el tiempo real en que sucedieron las acciones del animal estudiado. Se utilizó Visual Studio como software de desarrollo y C# como lenguaje de programación bajo la licencia estudiantil otorgada a la UNAM.

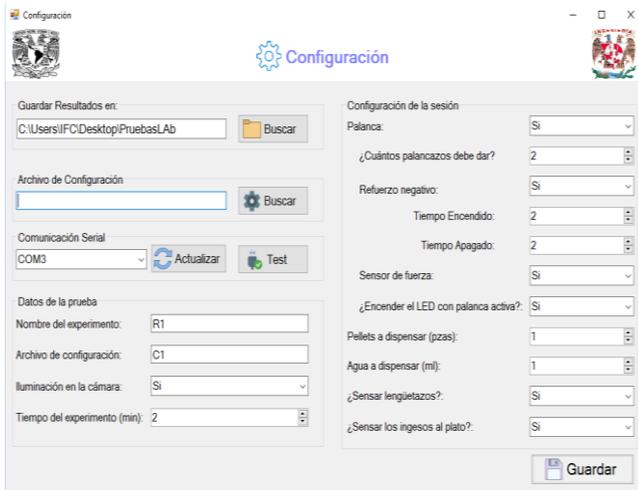


Figura 10 – Pantalla principal del SIN (interfaz gráfica) para programar la rutina en la CCO.

En la Figura 10 y 11 se puede visualizar una captura de la pantalla principal del programa de interfaz (SIN) para programar las rutinas. A continuación se hace una breve descripción de las partes que la componen.

- **Guardar resultados en.** Carpeta en donde se guardan los resultados obtenidos durante la rutina.
- **Archivo de configuración.** Se puede buscar en el equipo las distintas rutinas creadas previamente por el usuario para así reutilizarlas.
- **Comunicación serial.** Se selecciona el puerto utilizado por el microcontrolador Arduino.
 - Actualizar.* En caso de que se cambie de puerto o que no sea encontrado el microcontrolador.
 - Test.* Utilizado para verificar la conexión entre el computador y el microcontrolador.
- **Nombre del experimento.** Nombre del archivo en que se guardan los datos obtenidos durante el experimento.
- **Archivo de configuración.** Nombre con que se guarda la configuración creada por el investigador; pueden ser utilizadas nuevamente en caso de ser necesario.
- **Iluminación en la cámara.** Si se selecciona "Si" la luz de la cámara permanece encendida durante el experimento. En caso de que se seleccione "No" se desactiva el campo "Refuerzo negativo" y el subcampo "Tiempo apagado" debido a que la luz se encuentra previamente desactivada.

- **Tiempo del experimento.** Se refiere a la duración del experimento, llegando hasta "60" min.
- **Palanca.** Se desea introducir la palanca a la CCO.
- **Cuántos pulsos debe dar.** En caso de seleccionar "No" en **Palanca**, este campo no aplica. Se refiere a la cantidad de pulsos que debe dar el ratón en la palanca antes de que sea dosificado el alimento.
- **Refuerzo negativo.** El castigo es apagar el houselight de la CCO debido a que el ratón no realiza la tarea deseada por el experimentador. El tiempo se cuantifica en segundos.
- **Tiempo encendido.** Tiempo en el cual el ratón debe realizar los palancazos requeridos.

Tiempo apagado. Tiempo de duración del castigo sin superar la duración total del experimento.

Sensor de fuerza. Si se la **Palanca** esta activada en este campo, se detectará la fuerza ejercida sobre dicho sensor sólo si se detecta un pulso en la palanca.

- **Encender el LED indicador con palanca activa.** El usuario puede decidir entre las opciones "Si" / "No". El LED sirve para indicarle al ratón que la palanca se encuentra disponible.
- **Pellets a dispensar.** Pueden dosificarse hasta 3 pellets en caso de que el ratón haya cumplido la rutina o la cantidad de pulsos indicados.
- **Sensar lengüetazos.** Contabiliza cualquier intervención en el sensor. Detecta si la lengua del ratón ingresa al plato (en caso de no haber pellet). En caso de que haya un pellet en el plato, cuenta desde el momento en que cae al plato hasta el momento en el que es retirado.
- **Sensar los ingresos al plato.** Contabiliza cualquier intervención del sensor. Detecta si la cabeza del ratón ingresa a la cabina y su tiempo de permanencia en la misma.

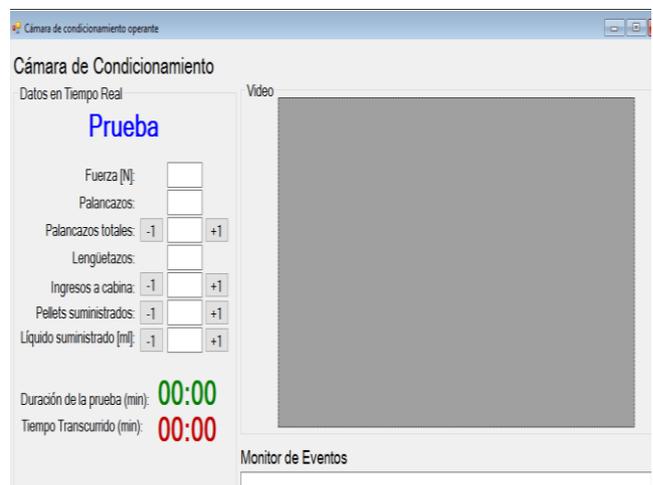


Figura 11 – Ventana de visualización de resultados la rutina y video de SV.

- **Fuerza:** Dato obtenido al presionar el sensor de fuerza adherido a la palanca.
- **Palancazos:** Cantidad de palancazos realizados hasta entregar el refuerzo.
- **Palancazos totales:** Muestra los palancazos realizados durante todo el experimento. El usuario puede aumentar o disminuir con resolución de uno el valor mostrado en caso de que lo considere necesario.
- **Lengüetazos:** Hace un conteo de las intervenciones detectadas por el sensor. Al no ser verificable por el usuario, este campo no se puede modificar.
- **Ingresos a cabina.** Hace un conteo de las intervenciones detectadas por el sensor SH. El usuario puede aumentar o disminuir con resolución de uno el valor mostrado en caso de que lo considere necesario
- **Pellets suministrados:** El usuario puede aumentar o disminuir con resolución de uno el valor mostrado en caso de que lo considere necesario, esto debido a que el sistema de dosificador de pellets no cuenta con un sensor que detecta la cantidad de pellets dosificados. El disco del dosificador debe realizar un giro completo (360°) hasta entregar los pellets programados por el usuario

2.3. Prototipos de los sistemas de CCO.

A continuación se muestran en las Figuras 12 a la 16, los prototipos realizados para SP, SA, SI, SH y SC.

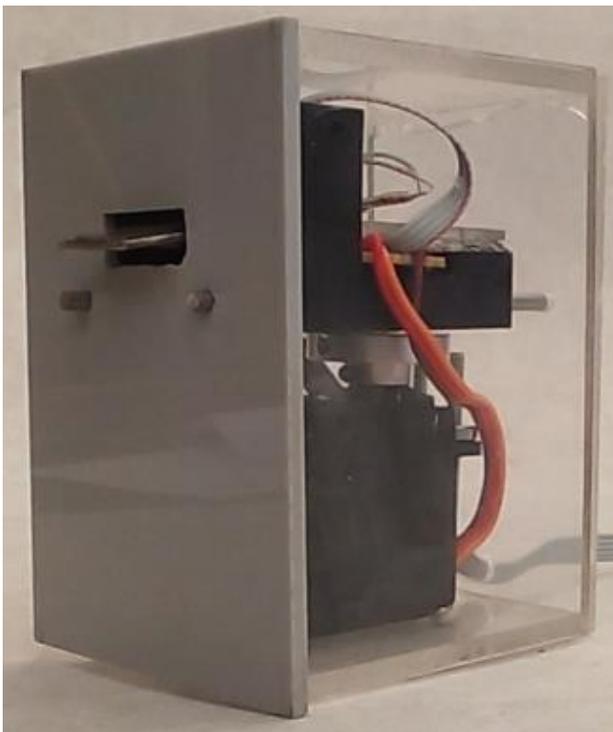


Figura 12– Prototipo de SP.

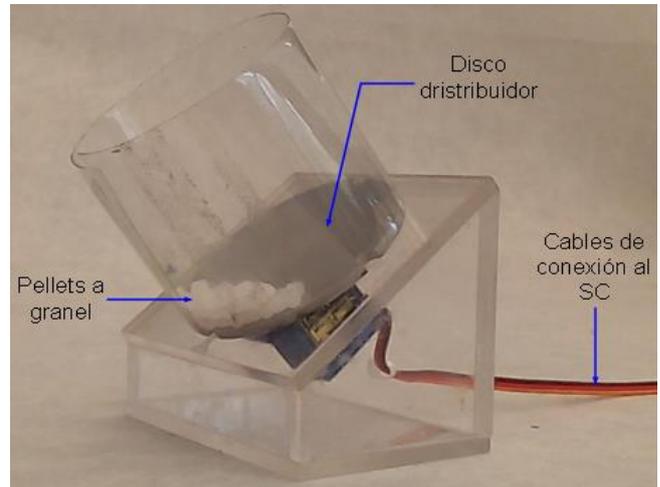


Figura 13 – Prototipo de SA.

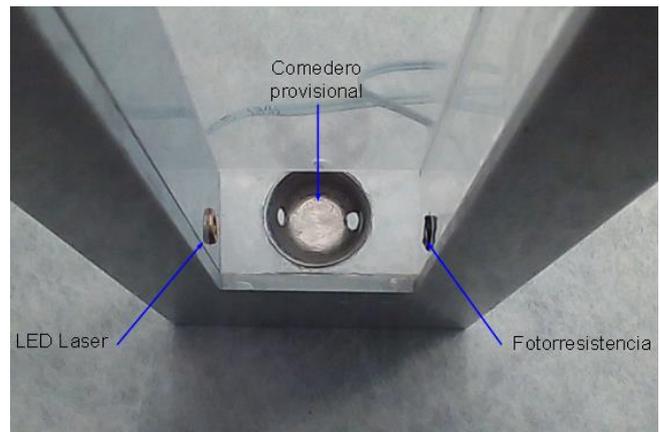


Figura 14 – Prototipo de SH.

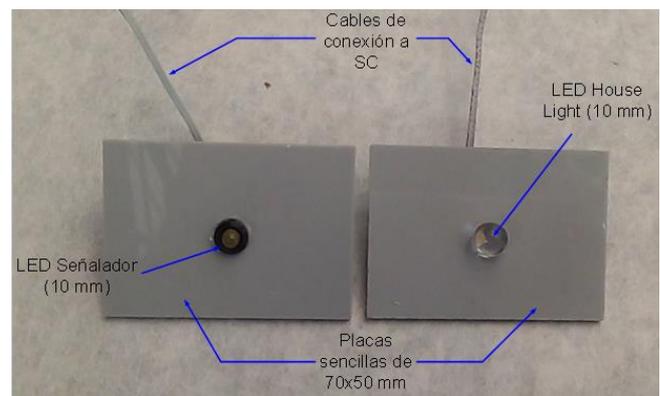


Figura 15 – Prototipo de SI.

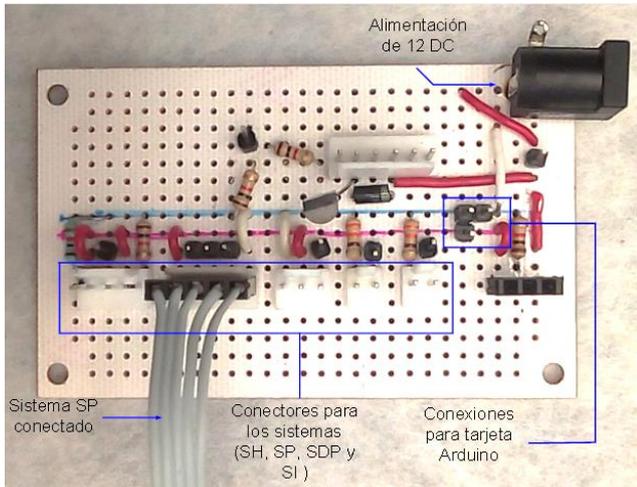


Figura 16 – Prototipo de tarjeta de SC que se conecta a Arduino.

La tarjeta de la Figura 16 permite conectar de forma más adecuada y ordenada todos los sistemas que integran la CCO. La alimentación de la tarjeta es con una fuente de 12V de CD; dado que muchos de los sistemas funcionan a 5 V se utiliza un regulador LM7805 de la marca Fairchild Semiconductor.

Al considerar la fricción entre las piezas de los servomotes puede decirse que consumen hasta 1 A cada uno (el de SP y SA), sin embargo en ningún momento de la rutina los servomotes son activados al mismo tiempo, por lo que el voltaje que se exige al LM7805 por los motores no excede 1 A y el regulador es capaz de proporcionar esa cantidad de corriente garantizando un funcionamiento adecuado [15].

Por otra parte la corriente calculada que exigen los sensores utilizados es la siguiente:

- Microswitch D2HW-22 OMROM conectado con una resistencia de 10 k Ω exige una corriente de 500 μ A.
- Sensor de fuerza para SP con la fuerza que aplica en promedio el ratón (152.957 gramos fuerza), produce una resistencia eléctrica de 10 k Ω [8], sumando la resistencia de 10 k Ω del resistor soldado a la placa para su funcionamiento implica una corriente de 250 μ A.
- Los LEDs de SI conectados cada uno con una resistencia de 330 Ω en suma exigen una corriente de 30.30 mA [16].

A través de los cálculos realizados se deduce que la corriente que exige el circuito ronda los 1.031 A, lo cual está por debajo del máximo permitido para el LM780 [15].

Finalmente en la Figura 16 se muestra el sistema SE ensamblado con los sistemas SH, SI, SP y SA. Cabe mencionar que el prototipo de SL no se realizó debido a que el presupuesto del proyecto no consideró el costo de los sensores OMRON modelo EE-SX954W.

3. Conclusiones

El diseño de la CCO presentado en este trabajo se llevó a cabo de manera satisfactoria, esto debido a que se realizó un análisis teórico acorde a una metodología de diseño y llevando a cabo un prototipo funcional.

El objetivo planteado en inicio se validó parcialmente, si bien el diseño de la cámara logró en teoría un desempeño adecuado para un trabajo experimental al cumplir con las especificaciones de diseño, se deben realizar más pruebas de tal forma que se logre cuantificar realmente la precisión en la captura de las señales de los sensores.

En cuanto al diseño de la interfaz, también se cumplió el objetivo, pues tiene mayor facilidad de uso que el tipo de interfaz que se utiliza en los equipos de condicionamiento operante comerciales.

Se cumplió además con el requerimiento de sensar la lengua del animal sin necesidad de pasar corriente a través de él, opuesto al método que ofrecen los productos comerciales; esta alternativa presenta una ventaja para algunos estudios específicos que se llevan a cabo en estos equipos.

Finalmente cabe mencionar que el proyecto aún tiene oportunidad de mejora y desarrollo, que de ser llevadas a cabo, pudiera ofrecer una buena alternativa en la oferta de productos comerciales de su clase.

Agradecimientos

Se agradece a la Ing. Paola Reyes, por su colaboración en la propuesta de diseño de la CCO, así como al Ing. Jesús Trenado S. por su apoyo para la fabricación de diversos componentes y asesoría para la manufactura y ensamble de la CCO.

REFERENCIAS

- [1] D. G. Myers, Psicología, Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2006.
- [2] «Boston Globe,» Boston Globe, 2012. [En línea]. Available: <http://www.legacy.com/obituaries/bostonglobe/obituary.aspx?pid=160690976>>. [Último acceso: 16 Mayo 2018].
- [3] G. S. Reynolds y L. F. Campos, Compendio de condicionamiento operante, México: Editorial Ciencia de la Conducta, 1977.
- [4] Bioseb, « SKINNER BOXES Model: LE1002 - for mouse. ».
- [5] M. N. Richelle, B. F. Skinner - A reappraisal, Londres: Routledge, 2016.
- [6] K. T. Ulrich y S. D. Eppinger, Diseño y desarrollo de productos, Mexico D. F: Mc Graw Hill, 2012.
- [7] G. E. Dieter y L. C. Schmidt, Engineering Desing, Nueva York: Mc Graw Hill, 2009.
- [8] OMRON Industrail AUtomation , «D2HW Sealed Ultra Subminiature Basic Switch,» [En línea]. Available:

- <http://www.omron.com>. [Último acceso: 19 Octubre 2016].
- [9] A. Aartsma-Rus y M. van Putten, «Assensing Functional Performance in the Mdx Mouse Model.» *Journal of Visualized Experiments*, pp. 1-11, 2014.
- [10] «ServoDatabase,» [En línea]. Available: <http://www.servodatabase.com>. [Último acceso: 16 Octubre 2016].
- [11] OMRON, «Ultra-compact Pre-wired Photomicrosensor (Non-modulated) EE-SX95,» [En línea]. [Último acceso: 18 Noviembre 2016].
- [12] H. Aoyagi, S.-i. Iwasaki y T. Asami, «Three-Dimensional Architecture of the Mouse Tongue Using Micro-CT with a Focus on the Transverse, Vertical and Genioglossus Muscles,» *Surgical Science*, vol. 6, pp. 358-368, 2015.
- [13] TOKEN, «Yourduino,» 2010. [En línea]. Available: <http://yourduino.com/docs/Photoresistor-5516-datasheet.pdf>. [Último acceso: 6 Septiembre 2016].
- [14] Med Associates Inc., «Med Associates Inc.,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.med-associates.com/product-category/mouse-stimulus-lights/>. [Último acceso: 18 Mayo 2018].
- [15] Fairchild Semiconductor, «MC78XX/LM78XX/MC78XXA,» Fairchild Semiconductor, 2001. [En línea]. Available: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/82833/FAIRCHILD/LM7805.html>. [Último acceso: 9 Diciembre 2016].
- [16] N. Instruments, «Data Lights,» [En línea]. Available: http://www.datalights.com.ec/site2/images/stories/robotica/nap/nap_fsr.pdf. [Último acceso: 18 Enero 2017].
- [17] D y F. Tecuapleta, Interviewees, Adquisición de equipo y costos de cámaras. [Entrevista]. 2015.