

# DESARROLLO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CUNA MECEDORA AUTOMÁTICA

**Alberto José Echeverría Reina, Julián David Martínez Rodríguez y Fabián Fernández Villota**

Semillero de Investigación en Mecatrónica SIMEC

Grupo de Investigación INTELIGO

Institución Universitaria Antonio José Camacho

Recibido: 20/01/2020. Aprobado: 24/06/2020

Cómo citar este artículo:

Echeverría Reina, A.J., Martínez Rodríguez, J.D. y Fernández Villota, F. (2020). Desarrollo de un sistema mecatrónico para la construcción de una cuna mecedora automática. *Revista Sapientia*, 12 (23), 13-31.

## RESUMEN

En este artículo se examina la problemática de los bebés que lloran por no lograr descansar adecuadamente debido a posibles trastornos de sueño. Como consecuencia de esto, el tiempo de descanso de los padres se reduce y la fatiga aumenta debido a las actividades que implica el cuidado del infante. Para brindar un aporte desde la Mecatrónica, se plantea el objetivo de desarrollar una cuna inteligente que identifique el llanto del bebé y lo arrulle automáticamente o manual desde un mando inalámbrico y así brindar un soporte a los padres en la rutina del descanso para el infante. La metodología de investigación del proyecto se aborda por medio de técnicas de investigación exploratoria, descriptiva y comparativa, donde se examinan productos similares del mercado nacional e internacional, para la recolección de información tecnológica y aspectos económicos que conlleve a un diagnóstico de los productos clasificados y así, establecer las especificaciones técnicas para el desarrollo del prototipo. Se efectuó una prueba en el prototipo construido y en una hamaca artesanal con una sola bebe que paso por toda la rutina de cuidado y sin el padecimiento de ningún tipo de molestia, como por ejemplo hambre o dolor. Finalmente, los resultados analizados permiten concluir que el dispositivo estimula el sueño en el infante y, por consiguiente, ayuda a mejorar el estado anímico de los padres.

## PALABRAS CLAVES

Cuna Inteligente, Mecatrónica, Llanto, Sueño, Bebé.

## ABSTRACT:

This article examines the problems of babies who cry for not getting adequate rest due to possible sleep disorders. As a consequence, the parents' rest time is reduced and fatigue increases due to the activities

involved in caring for the infant. To provide a contribution from mechatronics, an objective is set to develop a smart crib that identifies the baby's cry and to lull it automatically or manually by means of a wireless control and thus provide support to parents in the routine of rest for the infant. The research methodology of the project is approached through exploratory, descriptive and comparative research techniques, where similar products are examined in the national and international market, for the collection of technological information and economic aspects that lead to a diagnosis of the classified products and thus, establish the technical specifications for the development of the prototype. A test was carried out on the prototype built and in a handmade hammock with a single baby who went through the entire care routine and without suffering from any type of discomfort, such as hunger or pain. Finally, the results analyzed allow us to conclude that the device stimulates sleep in the infant and, therefore, helps to improve the mood of the parents.

## KEY WORDS:

Smart Crib, Mechatronics, Crying, Sleep, Baby

## INTRODUCCIÓN

La llegada de un bebé es para muchos padres un motivo de alegría y orgullo. Sin embargo, implica una gran responsabilidad y mucha atención durante los primeros meses de vida. Antes de que un bebé empiece a hablar, usa el llanto como lenguaje de comunicación para expresar diferentes necesidades.

Existen al menos seis diferentes tipos de llantos atribuidos a las siguientes causas: hambre, dolor, fatiga, molestia, desahogo y atención de deseo (Brazelton, 2007). Cuando el infante llora, y aunque previamente haya sido alimentado, cambiado, bañado e inspeccionado para descartar que algo le duele o lo fatiga, solo queda suponer que la causa de su llanto se debe a una atención de deseo por ser

cargado, para posteriormente dormir una siesta o conciliar el sueño nocturno. Un sueño adecuado es fundamental para el desarrollo físico y mental del infante. Sin embargo, el Instituto Europeo de Calidad de Sueño establece que una tercera parte de los bebés sufren trastorno de sueño que originan patologías como la obesidad y la hiperactividad en el niño. Además se generan otras consecuencias colaterales como la afectación del estado anímico de los padres, luego de experimentar la fatiga que produce una larga rutina entorno al cuidado del bebe y no lograr que el infante descanse apropiadamente (Sánchez, 2018).

Un método tradicional para que el niño concilie el sueño es mecerlo en hamacas artesanales que ancestralmente las abuelas construyen con elementos caseros. En muchos casos es una buena alternativa porque el bebé se calma y mientras se duerme, la sensación de balanceo de la hamaca provoca un arrullo que estimula el sueño. Sin embargo, el movimiento de la hamaca está supeditado a que una persona la mueva.

Para atender esta problemática se estableció el objetivo de desarrollar un sistema mecatrónico para la construcción de una cuna que permita mecer un bebé automáticamente para arrullarlo y calmar su llanto. Para lograr técnicamente este propósito, es necesario analizar el sentimiento del bebé e identificando los patrones de su llanto (Liu Ying, 2018) para establecer el patrón apropiado adjudicado al descanso y descartar los demás patrones relacionados con otras necesidades como hambre o molestias de origen fisiológico. Una vez es detectado el llanto en función de frecuencias de sonido preestablecidas se efectuarán automáticamente las acciones correspondientes que van desde activar música hasta el accionamiento del sistema de balanceo (Shahadi H, 2019)

Existen opiniones acerca de si mecer a un bebe es apropiado o no. Algunos pedagogos aseguran que al mecer a los bebés se está maleducando, puesto que se acostumbran a solo relajarse y dormir de esa manera (Brazelton T. Berry, 2004). No obstante, al-

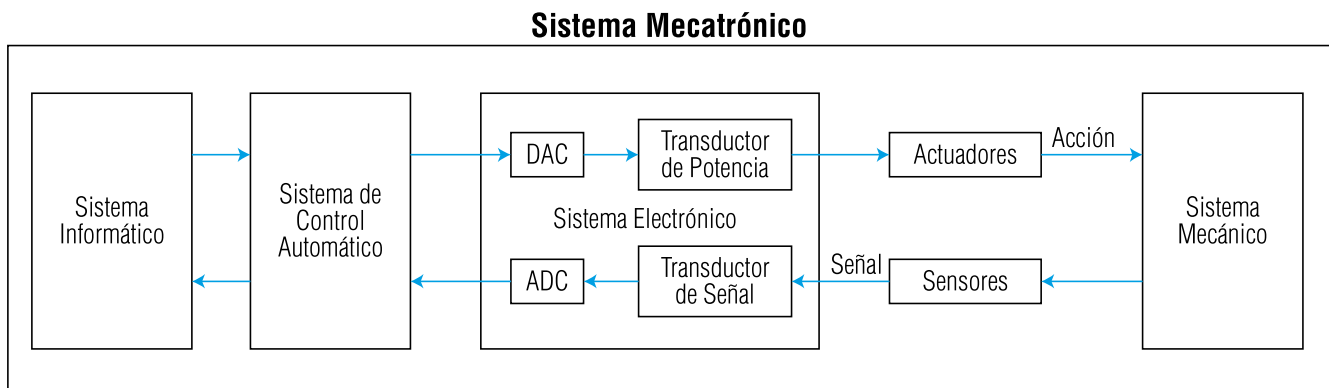
gunos estudios médicos indican lo contrario, dado que recomiendan mecer al bebé para favorecer el sueño y dar sensación de seguridad (Redol Labarta, 2014). Otros estudios han llegado a la conclusión que la forma más eficaz de mecer a un bebé comprende entre sesenta y setenta oscilaciones por minuto para recrear las percepciones que el niño sentía en el vientre de su madre (Rigori Emmanuelle, 2016).

Teniendo en cuenta las ventajas mostradas por los estudios médicos acerca de mecer a los bebés, además de ser una buena estrategia para que concilien el sueño, los autores encuentran razones suficientes que justifican el desarrollo del proyecto, puesto que aborda la problemática planteada, de modo que, tanto padres como bebés no sufran de trastornos, fatiga e insomnio asociado a la falta de sueño.

## MARCO TEÓRICO

### Enfoque Mecatrónico

Un sistema Mecatrónico tiene el enfoque de reunir sinérgicamente un conjunto de disciplinas como la Electrónica, Mecánica, Informática y Automática para desarrollar productos innovadores que toman información del medio para procesarlas y ejecutar acciones inteligentes nuevamente al medio (Bolton, 2006). Esto se logra aplicando un método de diseño concurrente que busca desarrollar el mejor producto posible, teniendo en cuenta las restricciones establecidas. Los elementos tecnológicos involucrados en estos sistemas se muestran en la siguiente figura.



**Figura 1.** Diagrama de bloques de un sistema mecatrónico

Fuente: Elaboración propia

### Diseño Concurrente

A diferencia del tradicional diseño secuencial, en el cual las etapas de diseño siguen un orden especificado, el diseño concurrente adoptado en el desarrollo de productos mecatrónicos, consiste en diseñar simultáneamente todos los subsistemas que conforman el producto (Ulrich & Eppinger, 2013). Para el caso de un producto mecatrónico, dichos subsistemas son: Subsistema Mecánico, Subsistema eléctrico, Subsistema Electrónico, Subsistema Informático y el Subsistema de control. Ambos métodos de diseño buscan que

el producto logre satisfacer la necesidad establecida por los usuarios y, para ello, se requiere de un equipo talentoso de desarrollo. Sin embargo, en el tradicional método secuencial es habitual la existencia de reprocesos debido a conflictos entre departamentos de desarrollo, generando retrasos y deficiente uso de los recursos. Mientras que, en el método concurrente, el conjunto de actividades técnicas se integra paralelamente de modo que se optimicen los recursos empleados para concebir un producto innovador y extraordinario de manera eficiente y eficaz.

## METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se emplea un diseño metodológico que se muestra en la figura No. 2, el cual inicia con una investigación exploratoria (Barrera, 2000) en el mercado nacional e internacional. En esta primera fase de la metodología se encontró que a nivel local y nacional existen muchos fabricantes de cunas y cama-cunas que construyen en madera sus productos pero carecen del componente tecnológico. En el mercado internacional se hallaron algunos antecedentes que resuelven el problema planteado en esta investigación, sin embargo son productos muy sofisticados y de difícil adquisición por su alto costo. Por otra parte se decidió explorar las tradiciones ancestrales del entorno y se encontró

que en algunos hogares se emplean hamacas artesanales hechas con materiales caseros que proporcionan una solución parcial y muy económica al problema planteado. Seguido de una técnica de investigación descriptiva (Barrera, 2000) se realiza un diagnóstico de las características de cada producto similar explorado en la fase anterior y clasificar aquellos que brinden pautas para el desarrollo un prototipo innovador y extraordinario, viable y competitivo, que dé solución al problema planteado y cumpla los objetivos trazados en este proyecto. Como resultado de un análisis de benchmarking y de vigilancia tecnológica del mercado de cunas, se clasificaron aquellos competidores como se muestra en la tabla No. 1 que aportan características competitivas al producto a desarrollar.







**Figura 2.** Diseño metodológico de la investigación

Fuente: Elaboración propia



Tabla 1. Benchmarking de productos similares

Tipo de Cuna	Costo	Características
	€ 1,148 Euros	Procedencia: España Sensor de temperatura y humedad Movimiento de balanceo Luz integrada de vigilancia Material: Madera y algodón Control por App móvil Medidas: 99,3 x 63,2 x 120,8 cm
	\$ 1,295 USD	Procedencia: Suiza Sensor de temperatura y humedad Micrófono para detectar el llanto Dos motores para el balanceo Bocinas para reproducir sonido Control por App móvil Material: Madera, plástico, algodón Peso: 38 libras Medidas: 91.4 x 40.6 x 81.3 cm
	\$ 400.000 COP	Procedencia: Colombia Peso: 42 kg Medidas: 100 x 50 x 90 cm Material: Madera de pino
	Ninguno	Procedencia: Colombia Peso: 5 kg Medidas: 100 x 50 x 40 cm Material: Cuerda, Sábana

Para lograr el objetivo de esta investigación se establecen las siguientes etapas para el desarrollo del producto.

### Etapa de Diseño Mecánico

Para la parte mecánica se empleó software CAD que sirvió para modelar la cuna y, posteriormente, el mecanismo que suministra el movimiento angular oscilante para la cuna. El diseño mecánico se ideó en tres partes: el corral, la estructura que sostiene el corral y el mecanismo de movimiento angular.

### Modelado del corral

La cuna junto a la estructura que la sostiene fueron modeladas en Solidworks teniendo en cuenta medidas estándar de un bebé. El modelo final del corral fue el siguiente:

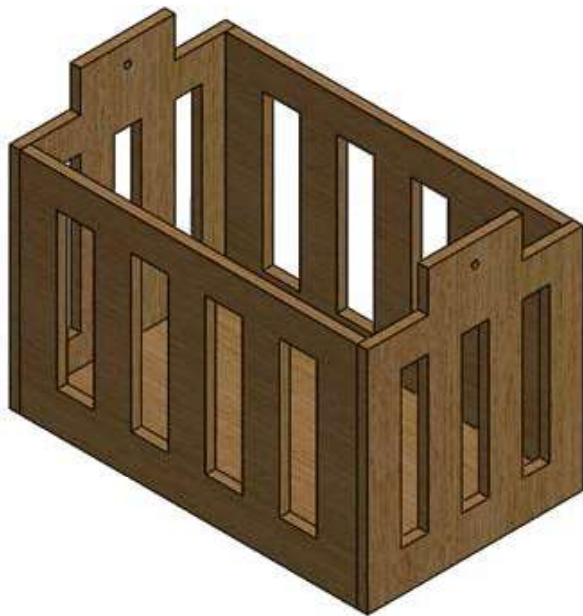


Figura 3. Modelo tridimensional del corral  
Fuente: Elaboración propia

### Modelado de la estructura

La estructura está compuesta por dos soportes verticales, la columna de la estructura consiste en un objeto esbelto representado como una tabla y en la parte inferior una base conformada por apoyos con suficiente área en el suelo para garantizar estabilidad estructural. El modelo final de la estructura fue el siguiente:



Figura 4. Modelo tridimensional del soporte vertical  
Fuente: Elaboración propia

### Modelado del mecanismo de Whitworth

Este mecanismo de barras articuladas es la fuente de movimiento para la cuna, dado que permite producir el movimiento angular alternante a partir del movimiento de rotación de una manivela accionada por un motor eléctrico, de modo que se proporcione el movimiento de vaivén al corral.

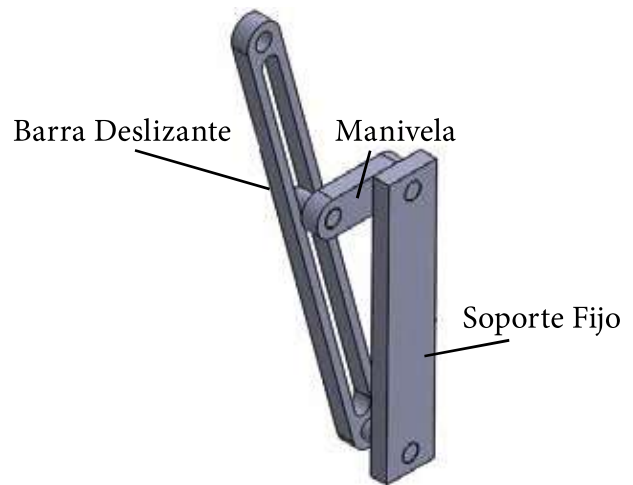
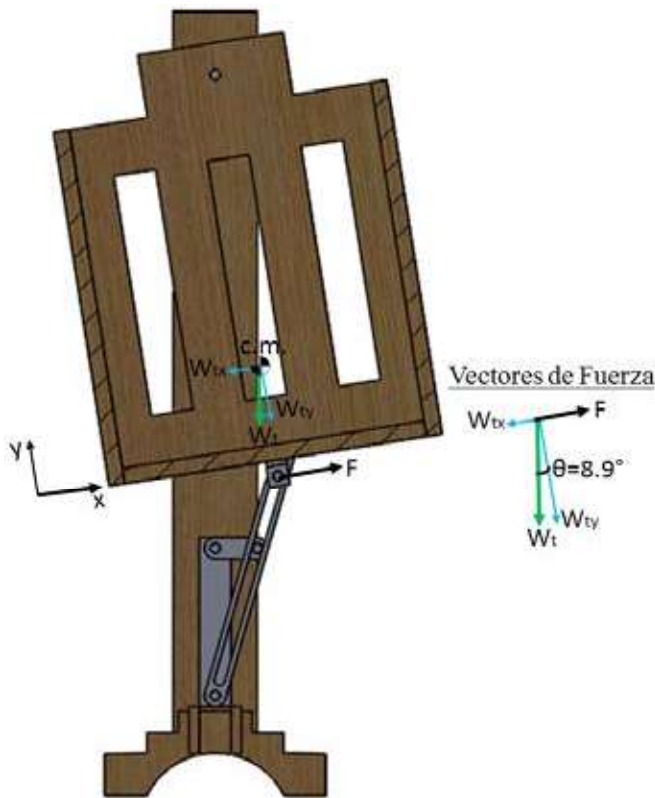


Figura 5. Modelo tridimensional del mecanismo de Whitworth  
Fuente: Elaboración propia

### Etapa de Selección del motor

Para el prototipo es requerido un actuador. Este será un motor, puesto que el mecanismo de Whitworth seleccionado anteriormente así lo requiere en el eslabón de entrada. Por otra parte, el motor será de alimentación eléctrica DC; para determinar el torque y la velocidad de giro se calculará a continuación la carga mecánica:

Primero se procede a calcular la fuerza requerida para mover la cuna. Para ello se realiza un diagrama de cuerpo libre donde la cuna está en uno de sus extremos inclinada a  $8,9^\circ$  respecto la vertical como se muestra a continuación:



**Figura 6.** Diagrama de cuerpo libre cuna  
Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se establece una ecuación de equilibrio cinemático en el eje x debido a que es en dicho eje donde el movimiento es realizado basado en el valor del ángulo  $\theta$

$$\sum F_{\text{ejes}} = 0$$

$$F - W_{tx} = 0 \rightarrow F = W_{tx} \text{ [Ec.1]}$$

Descomponiendo  $W^t$  se tiene que:

$$W_{tx} = W_t \sin \theta ; W_{ty} = W_t \cos \theta$$

Considerando que el corral tiene una masa de 2kg y el bebé una masa de 6kg como máximo se tiene una masa total de 8kg, por lo tanto, el peso total  $W_t$  es de 78,48N y F es:

$$F = 78,48 \sin(8,9^\circ) \rightarrow F = 12,14N$$

Con esta fuerza calculada el paso siguiente es determinar el momento o torque necesario en el punto donde se originará el movimiento que procederá del motor a seleccionar.

Ahora se procederá a realizar un diagrama de cuerpo libre tomando en cuenta los ejes coordenados xy en sus posiciones convencionales y la cuna en uno de sus extremos. En ese diagrama de cuerpo libre participan la fuerza F calculada anteriormente y el peso total.

Con este diagrama de cuerpo libre se pretende calcular una fuerza y un momento en el punto P (punto donde se originará el movimiento rotatorio procedente del motor a seleccionar), que es equivalente al sistema de fuerzas del diagrama de cuerpo libre que se muestra a continuación:

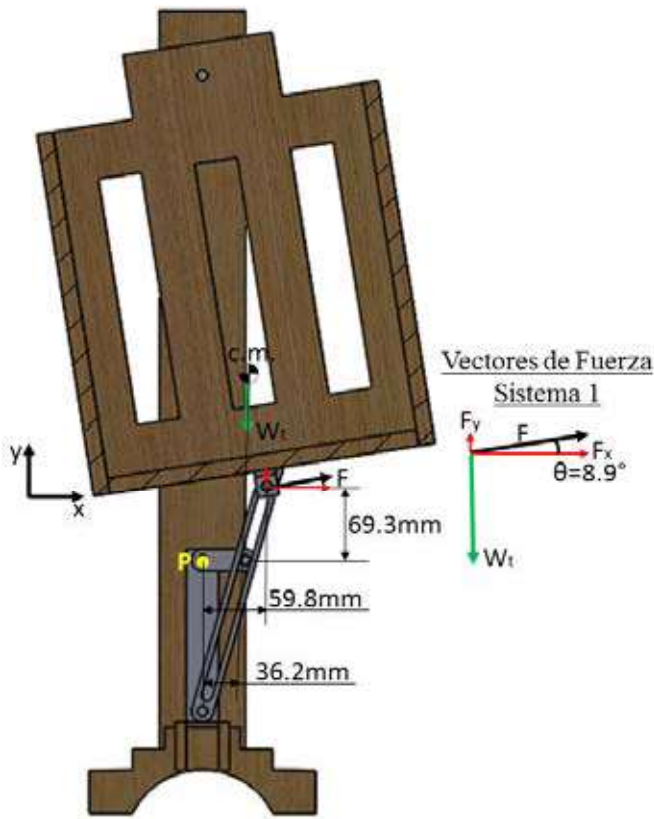


Figura 7. Diagrama de cuerpo libre. Sistema 1 de fuerzas en la cuna  
Fuente: Elaboración propia

Aplicando sumatoria de fuerzas en x al mismo tiempo que en y, se tiene un vector que será la fuerza equivalente en el punto P como se detalla a continuación:

$$F_{eq\_P} = F_x \hat{i} + (F_y - W_t) \hat{j} \quad [Ec.2]$$

Descomponiendo F se tiene que:

$$F_y = F \sin \theta ; F_x = F \cos \theta$$

$$F_y = 12,14 \sin(8,9^\circ) ; F_x = 12,14 \cos \theta(8,9^\circ)$$

$$F_y = 1,87N ; F_x = 12,00N$$

$$F_{eq\_P} = 12\hat{i} + (1,87 - 78,48)\hat{j}$$

$$F_{eq\_P} = 12\hat{i} - 76,61\hat{j}$$

$$|F_{eq\_P}| = 77,53N$$

Después de calcular la fuerza equivalente en el punto P, se procede ahora a calcular la sumatoria de momentos respecto al punto P de las fuerzas del diagrama de cuerpo libre del sistema 1, como se detalla a continuación:

$$\sum M_p = (0,0693m)(12N) + (0,0598m)(1,87N) + (0,0362m)(-78,48N) \quad [Ec.3]$$

$$\sum M_p = 0,83Nm + 0,11Nm - 2,84Nm$$

$$\sum M_p = -1,9Nm$$

$$\sum M_p = 1,9Nm \text{ en sentido horario}$$

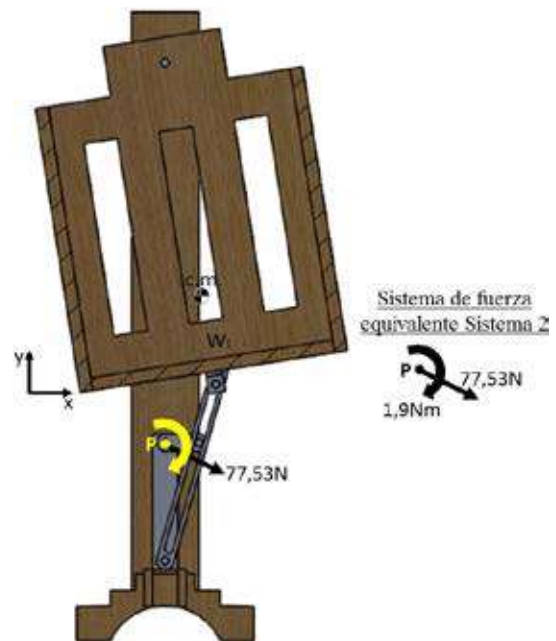


Figura 8. Diagrama de cuerpo libre sistema de fuerza equivalente en la cuna  
Fuente: Elaboración propia

El momento calculado en el punto P equivale al torque que el motor tendrá que suministrar como mínimo para mover la cuna. Si el torque del motor es mayor podrá moverlo también, aunque no es conveniente sobredimensionar por lo que hasta un 20% por encima del momento calculado es suficiente torque en un motor para esta aplicación

No obstante, para realizar una selección adecuada del motor es conveniente también calcular la velocidad de rotación del motor. Para ello se partirá de que la cuna realizará 70 oscilaciones cada minuto. Con ello es posible calcular la velocidad angular en el punto de pivote del corral y la velocidad angular en el punto de pivote del balancín en el mecanismo de Whitworth. Una vez calculada la velocidad del balancín se procederá a calcular la velocidad angular de la manivela en el mismo mecanismo y esa será la velocidad angular que deberá proporcionar el motor.

Teniendo en cuenta que una oscilación del corral corresponde a  $17,8^\circ$  y se estableció anteriormente que el corral tendrá 70 oscilaciones por minuto entonces la distancia recorrida sería de  $1246^\circ$ , los cuales se debe recorrer en un minuto lo que conlleva a establecer que la velocidad angular N es:

$$N = \frac{1246^\circ}{\text{min}} \rightarrow N = \frac{1246^\circ}{\text{min}} \times \frac{\pi \text{rad}}{180^\circ} \times \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}} \rightarrow N = 0,36 \text{rad/s}$$

En el trayecto B de la figura 9, la velocidad tangencial es:

$$v_{iB} = N \cdot r_B ; \text{ donde } r_B = 385,4 \text{ mm [Ec.4]}$$

$$v_{iB} = (0,36 \text{rad/s})(0,3854 \text{m}) ; v_{iB} = 0,14 \text{m/s}$$

Si la velocidad del trayecto A de la figura 9 es igual a la velocidad del trayecto B, entonces W se puede calcular de la siguiente manera:

$$W = \frac{v_{iA}}{r_A} ; \text{ donde } r_A = 204,6 \text{ mm [Ec.5]}$$

$$W = \frac{0,14 \text{m/s}}{0,2046 \text{m}} ; W = 0,68 \text{rad/s}$$

A continuación, mediante un análisis vectorial de tipo cinemático sobre el mecanismo de Whitworth se procederá a calcular la velocidad angular de la biela, puesto que es el eslabón motriz que mueve el corral.

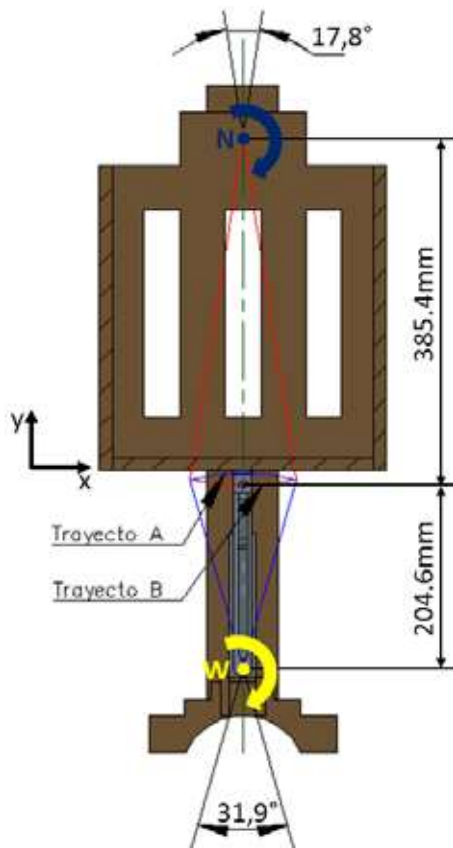
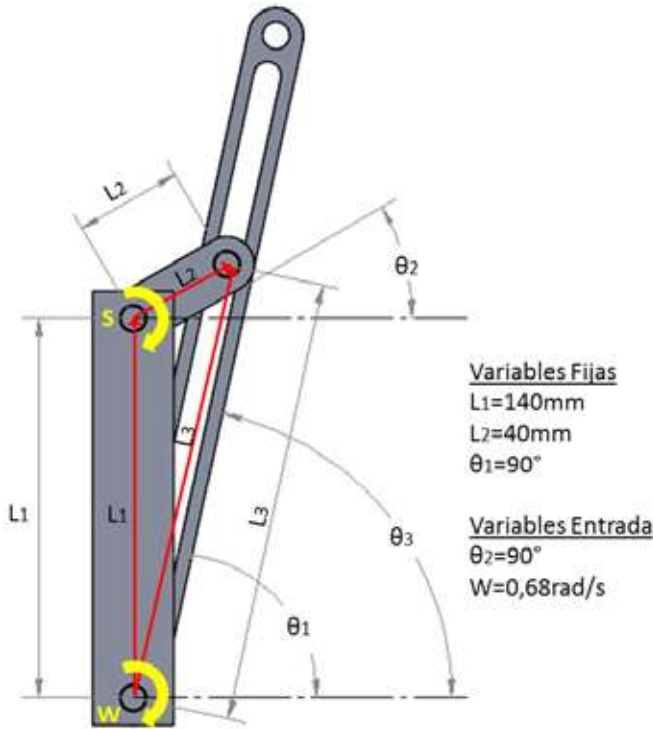


Figura 9. Diagrama de velocidad de rotación de la cuna  
Fuente: Elaboración propia





**Figura 10.** Diagrama vectorial para análisis cinemático del mecanismo de Whitworth  
 Fuente: Elaboración propia

Aplicando las ecuaciones al circuito vectorial del mecanismo se obtiene la siguiente expresión:

$$\vec{L}_1 + \vec{L}_2 = \vec{L}_3$$

Para facilitar los cálculos matemáticos se procederá a reemplazar cada vector por la forma de Euler como se muestra a continuación:

$$L_1 e^{0_1j} + L_2 e^{0_2j} = L_3 e^{0_3j} \quad [Ec.6 \text{ Ecuaciones de posición}]$$

Reemplazando en la ecuación 6 la forma de Euler por su equivalente trigonométrico y asociando los términos imaginarios y reales se obtiene un sistema de ecuaciones como se muestra a continuación

$$L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos \theta_2 = L_3 \cos \theta_3$$

$$L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin \theta_2 = L_3 \sin \theta_3 \quad [Ec.7]$$

Ya resuelto el sistema en la ecuación 7 se procede ahora a determinar las velocidades del mecanismo. Para ello se toma la ecuación 6 y se deriva con respecto al tiempo, obteniendo lo siguiente:

$$(L_1 e^{0_1j} + jL_1 e^{0_1j} \theta_1') + (L_2 e^{0_2j} + jL_2 e^{0_2j} \theta_2') = (L_3 e^{0_3j} + jL_3 e^{0_3j} \theta_3') \quad [Ec.8]$$

Reemplazando en la ecuación 8 la forma de Euler por su equivalente trigonométrico y asociando los términos imaginarios y reales se obtiene un sistema de ecuaciones como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} -L_2 \theta_2' \sin \theta_2 &= L_3' \cos \theta_3 - L_3 \theta_3' \sin \theta_3 \\ L_2 \theta_2' \cos \theta_2 &= L_3 \sin \theta_3 - L_3 \theta_3' \cos \theta_3 \end{aligned} \quad [Ec.9]$$

Resolviendo el sistema en la ecuación 9 se obtiene una expresión algebraica para calcular la velocidad de la manivela, como se muestra a continuación:

$$S = \theta_2' ; W = \theta_3'$$

$$S = \frac{L_3 W (\sin \theta_3 \tan \theta_3 + \cos \theta_3)}{L_2 (\sin \theta_2 \tan \theta_3 + \cos \theta_2)} \quad [Ec.10]$$

Reemplazando los valores en la ecuación y con theta\_2=90°, theta\_3=90° se obtiene la máxima velocidad de la manivela que es **S = 3,06 rad/s = 29,2RPM**

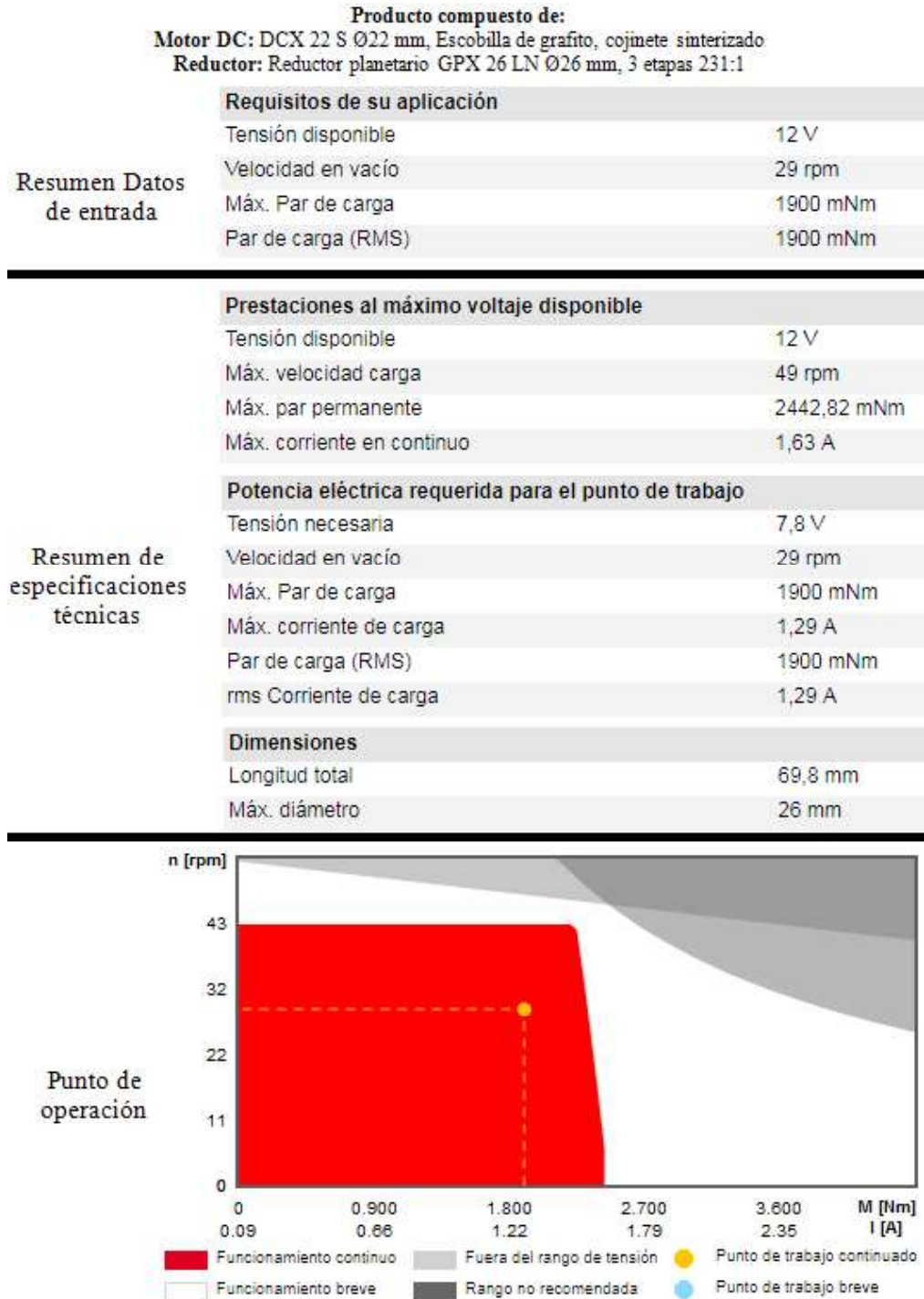
Con estos cálculos realizados se procede a seleccionar un motorreductor empleando un software de selección disponible en la página web del fabricante Maxon, como se ilustra a continuación:

Etapa	Datos
 <p style="text-align: center;"><b>CARGA</b></p>	<p>Seleccionar modo operativo <span style="float: right;">i</span></p> <p>Funcionamiento continuo <span style="float: right;">▼</span></p> <p>Máx. velocidad carga    nmax <input type="text" value="29,2"/> rpm <span style="float: right;">▼</span></p> <p>Par de carga (RMS)        Mrms <input type="text" value="1,9"/> Nm <span style="float: right;">▼</span></p>
 <p style="text-align: center;"><b>REDUCTOR</b></p>	<p> <input type="radio"/> con o sin reductor maxon  <input checked="" type="radio"/> con reductor maxon  <input type="radio"/> sin reductor maxon                 </p>
 <p style="text-align: center;"><b>MOTOR</b></p>	<p> <input type="radio"/> con motores con escobillas o brushless  <input checked="" type="radio"/> con motores con escobillas (= maxon DC)  <input type="radio"/> con motores brushless (= maxon EC)                 </p>
 <p style="text-align: center;"><b>ALIMENTACIÓN</b></p>	<p>Tensión de alimentación    Vcc <input type="text" value="12"/> V <span style="float: right;">▼</span></p> <p>Corriente en continuo        ICont <input type="text" value="3"/> A <span style="float: right;">▼</span></p> <p>Corriente de pico            Imax <input type="text" value="10"/> A <span style="float: right;">▼</span></p> <p>Duración del pico            ton <input type="text" value="1"/> s <span style="float: right;">▼</span></p>

Figura 11. Procedimiento de selección de motor en aplicativo online

Fuente: Elaboración propia. <https://www.maxongroup.es>

Con los datos ingresados, la aplicación muestra los resultados:



**Figura 12.** Especificaciones técnicas del Motorreductor seleccionado

Fuente: Elaboración propia. <https://www.maxongroup.es>



### Etapa de selección del sensor de sonido

Para este proyecto se requiere de un sensor que detecte o capte una señal sonora, la cual será el llanto del bebé. El criterio de selección establece que el sensor de sonido tenga la función de ser calibrado a diferentes frecuencias y tenga la capacidad de filtrar la frecuencia de otras fuentes de sonido como voces o el ruido ambiental. En la búsqueda científica se analizaron tres detectores. Uno de los sensores es el sensor de sonido FC-04, el cual posee una única salida digital y es muy sensible a todo tipo de sonido y ruido. El sensor de sonido KY-037 posee una salida analógica y una digital, cuenta con un potenciómetro para ajustar la sensibilidad según la necesidad, sin embargo, es un poco propenso a detectar otras frecuencias diferentes que podrían generar una falsa alarma. Por último, el sensor KY-038 comparte las mismas características que su homólogo KY-037, pero posee la ventaja de filtrar frecuencias de ruido ambiental permitiendo generar una señal solamente cuando provenga del llanto del bebé. Debido a esto se eligió el sensor KY-038 porque se ajusta correctamente a los criterios de selección.

### Módulo Sensor de Sonido KY-038

Cuenta con un micrófono de condensador omnidireccional de alta sensibilidad, que permite detectar

con precisión hasta sonidos de muy baja intensidad. Además, posee dos salidas diferentes, una salida analógica y una salida digital. La salida analógica varía proporcionalmente su nivel de voltaje entre 0-5v de acuerdo a la intensidad del sonido. La salida digital activa un estado lógico alto y un led, cuando detecta algún sonido particular que previamente haya sido calibrado por el potenciómetro del módulo.

### Etapa del Sistema Electrónico y de Control

El sistema electrónico está compuesto por el sensor de sonido KY-038, el cual al detectar la frecuencia ajustada proveniente del llanto del bebé envía la señal para ser enviada a la tarjeta de control Wemos Esp8266, que procesa dicha señal para activar automáticamente por medio de un transistor y un relé el motor que mueve el mecanismo de balanceo de la cuna. Se incluye una tarjeta lectora de sonido denominada DFPlayer mini que posee una tarjeta SD con sonidos grabados y listos para ser reproducidos en el parlante. La activación de la música se realiza desde la aplicación como también la activación manual del motor. El esquema del circuito electrónico descrito es el siguiente:

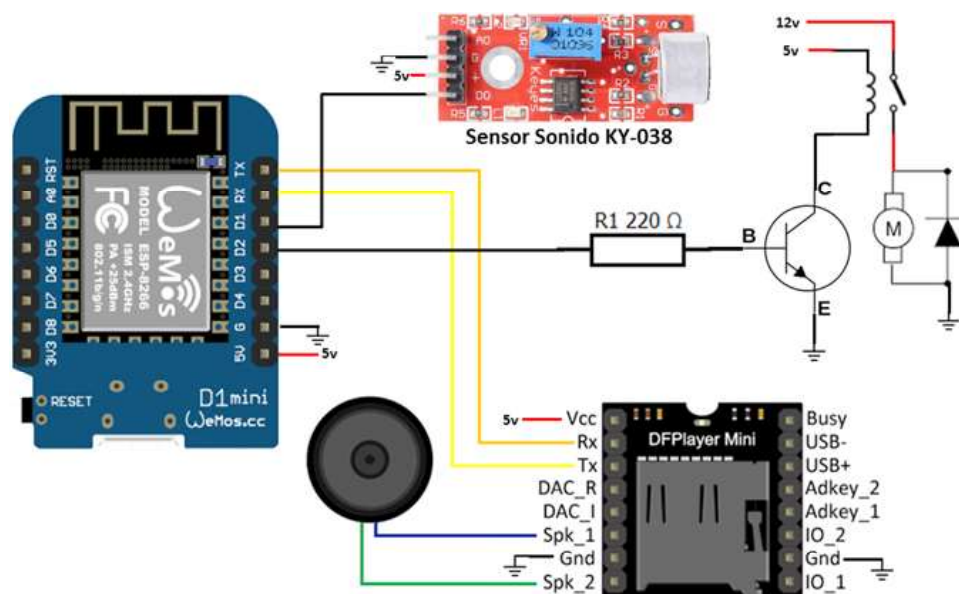


Figura 13. Circuito Esquemático de la cuna mecatrónica

Fuente: Elaboración propia.

**Etapa de creación de la Interfaz Gráfica**

El propósito del aplicativo informático de esta etapa de desarrollo es proporcionar al usuario una interfaz gráfica para manejar y configurar remotamente la cuna. Esta interfaz fue desarrollada en App inventor

y se puede instalar en móviles con sistemas operativos Android. Dentro de sus funciones se puede configurar la IP de la red WiFi, activar o desactivar manualmente la cuna y programar automáticamente el tiempo de meceo cuando el sistema detecta el llanto del bebé.



**Figura 14.** Interfaz de inicio e interfaz de mando

Fuente: Elaboración propia en APPInventor.

**Modelado final del prototipo**

Integrando en el software de CAD 3d, la concepción mecánica, los sensores, los actuadores y los circuitos electrónicos descritos anteriormen-

te, se obtiene el modelado final del producto a construir, como lo muestra la siguiente figura:

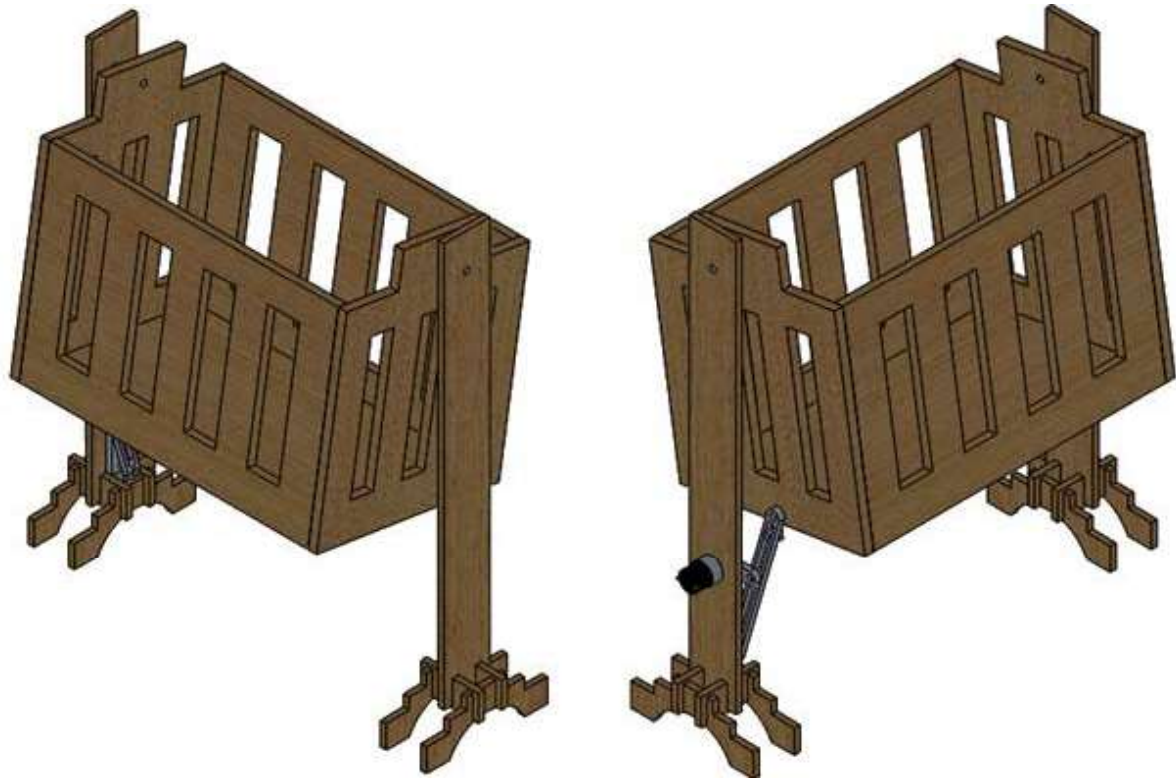


Figura 15. Modelado final en software CAD 3d de la cuna automática  
Fuente: Elaboración propia

### Construcción del prototipo

Para la construcción del prototipo final se empleó madera MDF para construir el corral y los dos soportes. Los eslabones y articulaciones del mecanismo de Whitworth se construyeron con acero galvanizado, se usaron dos rodamientos en la parte superior del corral de referencia 6000 2RS/C3 para el libre movimiento angular del corral y, finalmente, una caja impresa en ABS para alojar los componentes electrónicos.

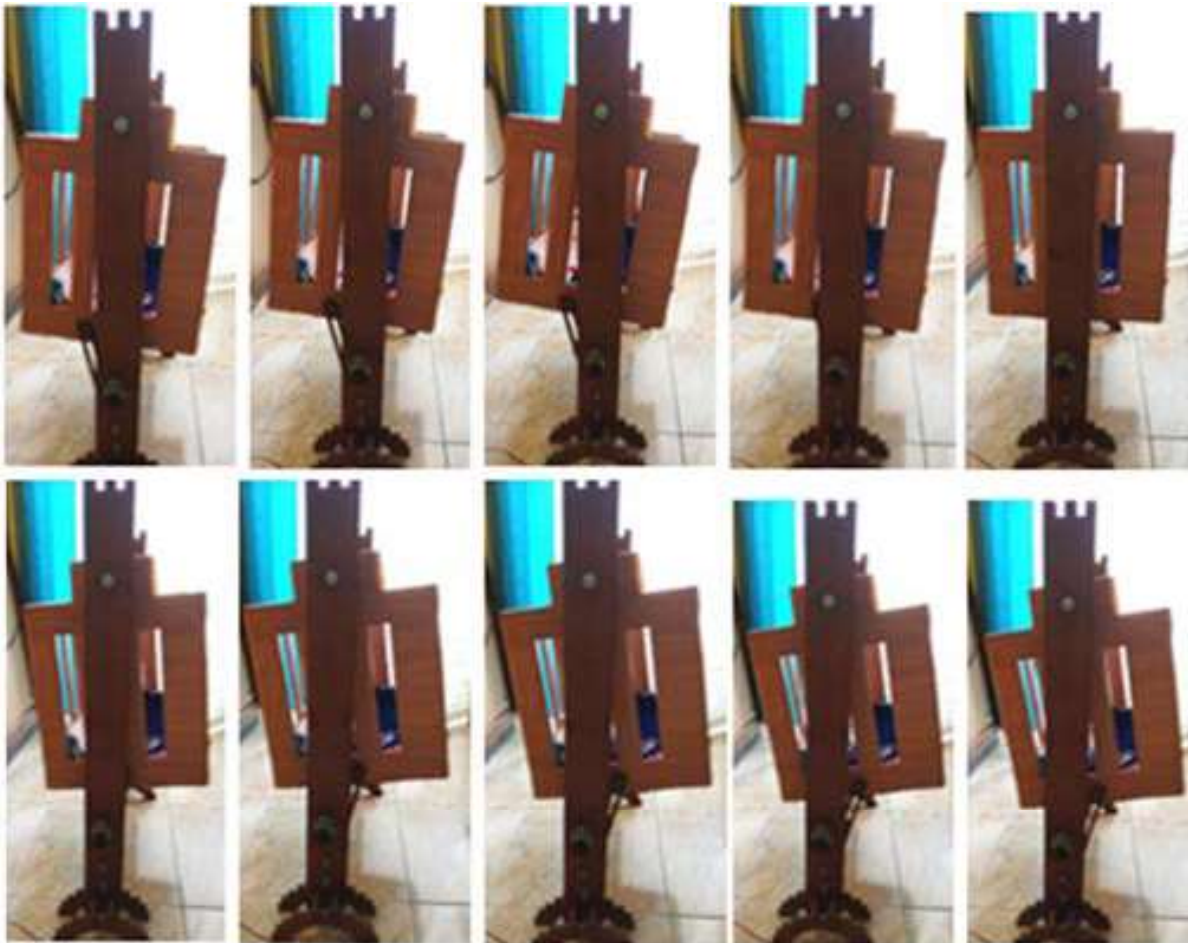


Figura 16. Perspectivas del prototipo final construido  
Fuente: Elaboración propia

**Pruebas**

En esta fase se describen las pruebas realizadas al prototipo. La primera prueba fue de tipo funcional y consistió en verificar el movimiento angular os-

tilatorio del corral generado por el mecanismo de Whitworth. En la siguiente figura se muestra un fotograma del respectivo movimiento:



**Figura 17.** Prueba del movimiento del corral  
Fuente: Elaboración propia

Una vez verificado el movimiento del corral se procedió a realizar una prueba operativa con un infante femenino de 5 meses de edad como se muestra en la tabla No. 2. Debido a los aspectos éticos de la investigación solo fue posible realizar una prueba porque se obtuvo el consentimiento de uno entre cuatro padres a los que se les pidió someter su bebé a la prueba operativa. Obtenido el único permiso de consentimiento y protegiendo la identidad del bebé la prueba se

llevó a cabo teniendo en cuenta que la bebé había terminado de comer, asegurándose de que no tuviera ninguna molestia y que estuviera limpia. Se introdujo la bebé en la cuna mecatrónica y se accionó el motor para balancearla. Transcurridos 4 minutos la bebé se quedó dormida. Por otra parte, esta prueba se repitió bajo las mismas condiciones, pero empleando una hamaca tradicional de construcción casera y al cabo de 6 minutos la bebé se durmió.



Tabla 2. Prueba operativa

Hamaca Artesanal	Cuna Mecatrónica
	

Fuente: Elaboración propia

### Resultados y discusiones

Aunque la prueba operativa se realizó con un solo infante, los resultados favorecen a la cuna mecatrónica porque evita el esfuerzo físico de los padres o el tutor para accionarla, mientras que la hamaca casera requiere ser empujada por al-

guien. Por otra parte, la cuna mecatrónica brinda un movimiento angular que arrulla al bebé suavemente y logra que el infante concilie el sueño en un tiempo menor que la hamaca convencional.

Tabla 3. Resultados comparativos entre dispositivos

Tipo de Cuna	Tiempo empleado para dormir al bebé	Locomoción
Hamaca Tradicional	6 Minutos	Genera el balanceo que requiere el bebé para dormir, pero produce fatiga en la persona que la mueve
Cuna Mecatrónica	4 Minutos	Genera el balanceo que requiere el bebé para dormir sin producir fatiga a los padres dado que no requiere de accionamiento muscular

Fuente: Elaboración propia

El aporte otorgado por el prototipo construido a una de las etapas más delicadas de un ser humano como es el primer año de vida, ratifica que la mecatrónica como disciplina de la ingeniería no solo puede ser aplicada al campo industrial, sino que también contribuye a repensar muchos productos convencionales de la cotidianidad que tienen una función ordinaria y transformarlos en productos innovadores, extraordinarios e inteligentes para brindar un servicio de alta satisfacción al usuario.

## CONCLUSIONES

La cuna mecatrónica es un dispositivo que no pretende romper el vínculo afectivo entre padres y bebés, por el contrario es un artefacto asistencial, dado que la función musical y su movimiento de balanceo, arrulla y estimula al infante para que pueda dormir. Simultáneamente brinda una contribución a los padres o tutores en la rutina de cuidado porque evita la fatiga producida por arrullar al bebé en brazos durante un prolongado tiempo. De esta manera tanto padres como infantes podrán descansar apropiadamente.

Los resultados indican que la cuna mecatrónica es más eficaz en la función de arrullar al bebé, porque emplea menos tiempo para lograr que el infante se duerma comparado con la hamaca tradicional.

El diseño asistido por computador empleado en el modelamiento 3D de la cuna permitió minimizar errores de ensamble, facilitar procedimientos de construcción del prototipo y determinar el centro de masa y el momento de inercia, necesarios para calcular y seleccionar el motor.

Durante la construcción del prototipo a escala real se debe tener en cuenta que la potencia eléctrica de la fuente que alimenta todos los circuitos debe proporcionar la corriente suficiente para contrarrestar las caídas de voltajes y proporcionar un óptimo funcionamiento a los actuadores como el parlante y el motorreductor.

## RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El mecanismo de Withworth posee un mejor desempeño fabricando sus piezas en un material diferente al metal, como empack, teflón o pvc para que la fricción sea menor y deslice con mayor facilidad.

A futuro el dispositivo desarrollado puede convertirse en un objeto conectado a internet mediante un servicio en la nube.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrera, J. H. (2000). Metodología de la Investigación Holística (Tercera Edición ed.). Caracas: Fundación Sypal.
- Bolton, W. (2006). Mecatrónica. Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica (3ra. Edición ed.). Alfaomega.
- Brazelton T. Berry, S. J. (2004). Como lograr que su hijo duerma. El método Brazelton. Chicago: Medici.
- Brazelton, T. B. (2007). Como calmar al bebe que llora. El método Brazelton. Chicago: Medici.
- Liu Ying, Z. D. (2018). Smart Crib Control System Based on Sentiment. IEEE 16th International Conference on Pervasive Intelligence and Computing, 8.
- Redol Labarta, M. (2014). Disposición para mejorar los conocimientos de una madre en el cuidado de su hijo recién nacido. Huesca: Trabajo fin de grado, Universidad de Zaragoza.
- Rigori Emmanuelle, A.-P. M. (2016). ¿Hay que coger al bebé en brazos cuando llora? Paris: De Vecchi.
- Sánchez, M. L. (2018). Desarrollo de un sistema de control de confort para cunas de bebés. Trabajo fin de máster en Ingeniería Industrial, Valencia-España.

Shahadi H, M. D. (2019). Design and Implementation of a Smart Baby Crib. 3rd International Conference on Engineering Sciences, 15.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). Diseño y Desarrollo de Productos. Boston: Mc Graw Hill.

## **AUTORES**

### **Alberto José Echeverría Reina**

Ingeniero Mecatrónico egresado de la Universidad Autónoma de Occidente, Especialista en Automatización de Procesos Industriales de la Universidad de los Andes y Magister en Energías Renovables y Eficiencia Energética por la Universidad a Distancia de Madrid. Ha trabajado en el sector industrial como Diseñador Mecánico e Ingeniero de Proyectos. Actualmente es docente ocasional tiempo completo e investigador de la Facultad de Ingenierías de la UNIAJC. Pertenecce al Grupo de Investigación INTELIGO y es Coordinador del Semillero de Investigación en Mecatrónica (SIMEC) donde desarrolla proyectos de investigación con estudiantes que aportan a las áreas de la automatización, robótica, mecatrónica y sistemas energéticos. Correo: aecheverria@admon.uniajc.edu.co

### **Julián David Martínez Rodríguez:**

Estudiante del programa de Tecnología en Mecatrónica Industrial y miembro del Semillero de Investigación en Mecatrónica (SIMEC). Correo: julian.david\_96@hotmail.com

### **Fabián Fernández Villota:**

Estudiante del programa de Tecnología en Mecatrónica Industrial y miembro del Semillero de Investigación en Mecatrónica (SIMEC). Correo: fabian-1994@hotmail.es