

# Dispensador automático de medicamentos sólidos para pacientes mediante uso de sistemas embebidos

**Paulo Miguel Benavides Bastidas**

**Juan David Cuaspué Vallejo**

**Cristian Alexander López Narváez**

Estudiantes del Programa de Ingeniería Mecatrónica

**Dagoberto Mayorca Torres**

Asesor y Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica

**Richard Giovanni Morán Perafán**

Co-asesor y Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica



Figura 1. Ingeniería Mecatrónica.

## Resumen

Uno de los principales propósitos de la formación como ingenieros mecatrónicos es atender las necesidades y problemáticas de la sociedad, apoyados en las áreas de diseño mecánico, IoT y sistemas de control. Así, se plantea el desarrollo de un prototipo mecatrónico dispensador de medicamentos automático (PDMA), capaz de gestionar la pauta posológica en casa para pacientes ambulatorios o personas que tomen regularmente medicamentos prescritos. El sistema propuesto debe resguardar las buenas prácticas para la seguridad de los pacientes. La principal innovación de este prototipo es que puede monitorear y seguir el estado de un paciente con relación al cumplimiento de la pauta posológica y la disponibilidad de los medicamentos en los horarios establecidos, adicionalmente, este dispositivo permitirá almacenar los medicamentos en su cubierta original para evitar la contaminación o deterioro.

## Introducción

La disminución de capacidades físicas y cognitivas en las personas dificulta el consumo efectivo de los medicamentos prescritos. Esta situación se agrava más en pacientes de la tercera edad, quienes pueden olvidar las dosis establecidas o equivocarse de medicamento y horario. En este documento se describe el desarrollo de un prototipo mecatrónico capaz de gestionar la pauta posológica del paciente y entregar los medicamentos a la hora programada, generando alertas visuales, auditivas y remotas a través del uso de un dispositivo móvil y una base de datos en la nube.

## Fundamentos para el desarrollo del proyecto

De acuerdo al DANE a marzo de 2020 el 95.9% de la población en Colombia tiene cobertura en salud (Ministerio de Salud, 2020).

En el año 2011, por cada 100.000 afiliados se registraron 6.126 servicios de atención domiciliaria. El pico más alto de uso se obtuvo en el año 2009, cuando se alcanzaron un poco más de 9.000 servicios domiciliarios por cada 100.000 afiliados. (Asociación Colombiana de Empresas de Medicina Integral [ACEMI], 2013, p. 77)

El 1 de noviembre de 2010, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) reportó al Ministerio de la Protección Social que Nariño cuenta con un registro de 58.564 personas con algún tipo de discapacidad. De este mismo grupo 26.568 personas refieren discapacidad visual (DANE, 2020).

En las personas de la tercera edad, las alteraciones y enfermedades crónicas provocan un aumento del consumo de medicamentos que son vitales para su bienestar y su supervivencia. Por tal motivo, los adultos mayores son uno de los grupos de población con alto riesgo de problemas relacionados con la administración de medicamentos y constituyen la población objetivo para el desarrollo de este tipo de sistemas (Casas-Vásquez, Ortiz-Saavedra y Penny-Montenegro, 2016)

Por otra parte, en los adultos mayores es frecuente la disminución de capacidades físicas y cognitivas, que dificultan llevar a cabo la administración de medicamentos en los horarios, dosis y tipos recetados. En cuanto a enfermedades crónicas no transmisibles, se evidencia:

Una tendencia sostenida al incremento, (...) generando entre un 71,4 % y un 82,4 % de la demanda en los servicios de atención en las personas entre 27 y 59 años y los mayores de 60 años, respectivamente (...).

En cuanto a la proporción de pacientes hipertensos controlados reportados a la Cuenta de Alto Costo para el periodo 2014 existen 1.592.488 pacientes (...). Cobra relevancia el reporte del conjunto de mediciones para la prevención y el tratamiento de enfermedades coronarias y otras afecciones cardíacas y vasculares, ya que son una de las principales causas de muerte en la población general y representaron para el período 2005-2012 el 16,01 % de todos los años de vida potencialmente perdidos. (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015, pp. 28-29)

A partir de los datos estadísticos mencionados, se evidencia la necesidad de fortalecer las medidas que giran alrededor de la seguridad del paciente, no solo desde el ámbito hospitalario, sino incluyendo el ambulatorio.

La construcción de una cultura de seguridad debe ser apoyada por asistencia tecnológica, que permita un monitoreo en tiempo real de la calidad de vida de los pacientes y la efectividad de los tratamientos terapéuticos, que para este caso se puede enfocar en una fuente de información sólida para analizar efectividad y fallas relacionadas con el uso de los medicamentos.

Por lo tanto, este proyecto se enfoca en asistir a la administración de los medicamentos consumidos en casa, proporcionando un sistema que apoya la pauta posológica a personas con limitación en las capacidades físicas y cognitivas, para la toma adecuada (tipo, hora y dosis) de medicamentos prescritos. Además, la aplicación de las buenas prácticas para la seguridad en

la utilización de medicamentos es un tema principal a considerar. Frente a lo anterior, se plantea la pregunta: *¿Cómo desarrollar un prototipo dispensador que permita administrar medicamentos de una forma efectiva y segura?*

### Productos existentes en el mercado

Para el desarrollo de este proyecto se consideraron cuatro tipos diferentes de dispensadores comerciales (Muñoz, 2016), a saber:

**Dosificadores semanales:** El dosificador observado en la Figura 1 tiene un precio aproximado de 140.000 COP (Pesos Colombianos) y se lo debe recargar manualmente cada semana.



Figura 2. Dispensador semanal.  
Fuente: Muñoz, 2016.

**SPD (Servicio Personalizado de Dosificación):** El dosificador mostrado en la Figura 2 puede ser recargado por el farmacéutico semanal y mensualmente. Su precio está alrededor de los 30.000 COP, es sencillo de utilizar, pero no tiene ningún tipo de aviso.



Figura 3. Dosificador SSD.  
Fuente: Muñoz, 2016.

**Dosificadores automáticos:** El dosificador de la Figura 3 tiene un precio de 2'700.000 COP, posee una capacidad de recarga para dos semanas que debe ser realizada por el farmacéutico, tiene una alerta auditiva que se activa cada vez que el usuario debe tomar un medicamento.



Figura 4. Dosificador automático.  
Fuente: Muñoz, 2016.

**Dosificador de Carrusel:** El dosificador de la Figura 4 es el más utilizado, tiene un precio cercano a 350.000 COP. Posee 28 compartimentos para realizar su recarga, es relativamente sencillo de utilizar, tiene la capacidad para distribuirse durante una semana con cuatro tomas diarias, dos semanas con dos tomas diarias y 28 días con una toma diaria. Tiene alertas para las tomas, pero la recarga la debe realizar el farmacéutico.



Figura 5. Dosificador de carrusel.  
Fuente: Muñoz, 2016.

## Otros proyectos similares realizados

También se realizó la consulta de artículos científicos, destacando cuatro dispensadores a nivel internacional. Estos fueron:

- Design of Automatic Medication Dispenser (Mukund & Srinath, 2012).
- Automated medicine dispensing machine (Kadam, Kale, Nimase, Padwal & Khandare, 2016).
- A Low-Cost Automated Pill Dispenser for At-Home Use (Chariah, Kumia, Zubarrain, He & Rahemi, 2016).
- Smart Medication Dispenser (Shinde, Bange, Kumbbar & Patil, 2017).

Las características comunes de estos dispositivos son correcta administración de medicamentos por pacientes que no cuentan con la supervisión de un profesional, reducción de los costos del cuidado en casa e igualar o superar las presentaciones de los dispensadores ya existentes en el mercado.

En su arquitectura usan sistemas embebidos como microcontroladores o arduinos, teclados alfanuméricos o matriciales, módulo de reloj de tiempo real, pantallas, bombillos led, buzzer, motores paso a paso o servos y sensores ópticos, sistemas de transmisión como radio frecuencia (RF) o módulos GSM.

Su funcionamiento también es muy similar, a la hora de tomar el medicamento se enciende un led y se produce una alarma auditiva. El usuario presiona un botón y la máquina hace la entrega del medicamento, mientras la alarma y el led se apagan. El prototipo que tiene transmisor RF envía a un servidor o cualquier equipo conectado a la red todos los eventos relacionados con la máquina, como dispensación de medicamentos, recomendaciones y alertas de desabastecimiento. Así mismo, el equipo que usa conectividad GSM envía las alertas por mensajes de texto o llamadas telefónicas. Los equipos cuentan con capacidad de entregar capsulas o píldoras de cualquier tamaño, hasta por 31 días y 21 medicamentos diferentes.

Para dispensadores comerciales y prototipos investigados no se encontró una manera efectiva de introducir el medicamento dentro de su blíster y que el dispensador haga la entrega del mismo. Para este proyecto, se plantea garantizar la plena conservación de las características físico-químicas del medicamento, conservándolo en

su blíster hasta que el usuario lo consuma; así mismo, se evitará que el medicamento se contamine con otros medicamentos, sustancias o agentes externos.

### Diseño del prototipo

A continuación, se realiza una descripción metodológica empleada para el desarrollo del prototipo de investigación, en las que se definen las siguientes etapas: Planteamiento de necesidades, definición de los requerimientos funcionales, modelo de descomposición funcional y análisis de subfunciones.

### Planteamiento de necesidades

Se hizo una revisión de los productos en uso, tales como los dispositivos que actualmente se comercializan, otros proyectos similares y los requerimientos actuales regulados por la normatividad colombiana, los cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. *Categorización de necesidades*

Requerimiento	Redacción de Necesidades
Entregar los medicamentos a la hora adecuada	El equipo permitirá dispensar el medicamento correcto en la hora programada.
Generar alertas visuales	El equipo generará alertas visuales para indicar el momento en el que el usuario debe tomar el medicamento.
Generar alertas auditivas	El equipo generará una alerta sonora para indicar el momento en el que el usuario debe tomar el medicamento.
Generar alertas remotas en caso de que no se tomen los medicamentos	El equipo contará con una aplicación móvil monitoreada por un encargado.
Disponibilidad de la información del uso de la máquina y la toma de los medicamentos	El equipo contará con una base de datos para hacer seguimiento al uso adecuado de la máquina y la toma de los medicamentos.
Generar alertas de desabastecimiento	El equipo emitirá un aviso en la máquina y en la aplicación móvil, indicando el desabastecimiento de los medicamentos.
Equipo Portátil	El equipo será diseñado de un tamaño muy manejable para un fácil transporte.

Baterías recargables	El equipo contará con baterías con una capacidad suficiente para garantizar el funcionamiento durante 24 horas.
Equipo fácil de programar	El equipo contará con métodos para facilitar su programación.
Equipo fácil de abastecer	El equipo contará con un método que facilita la recarga de los medicamentos.

Fuente: propia.

### Especificaciones del proyecto

Luego de la revisión de la norma con relación a la administración de medicamentos y algunos aspectos de bioseguridad, como la entrega del medicamento en condiciones óptimas, se procedió a elaborar una lista de requerimientos que satisficiera las necesidades del paciente, de los cuidadores y del personal médico encargado de las prescripciones posológicas, que se describen a continuación:

- Entregar medicamentos sólidos, empacados dentro de su cubierta o empaque, para garantizar la conservación de las propiedades farmacológicas y evitar que se mezcle con otros medicamentos.
- Manejo automático de 3 tipos diferentes de medicamentos.
- Volumen máximo de la máquina completa 30 cm<sup>3</sup>.
- Control para abastecimiento por medio de conexión BT.
- Voltaje de trabajo 12VDC.
- Generación de alertas visuales y auditivas.
- Registro del historial del uso de los medicamentos en una base de datos.

### Modelo de descomposición funcional

Teniendo en cuenta el planteamiento de necesidades y las especificaciones del proyecto, se representa el problema como una caja negra, identificando las variables de entrada y de salida.

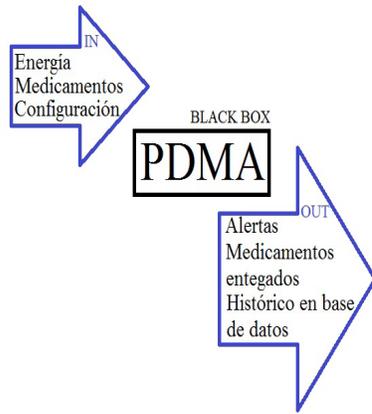


Figura 6. Caja negra.

Fuente: propia.

### Subfunciones generadas

Con lo anterior, se divide la caja negra en subfunciones, con el fin de identificar con más detalle que debería hacer cada elemento del proyecto para llegar al funcionamiento correcto.

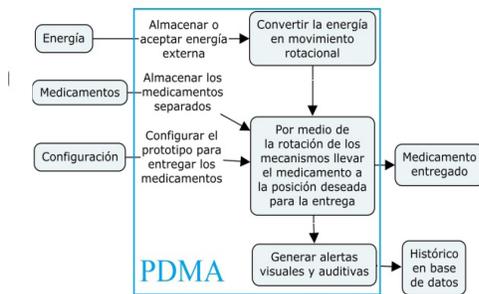


Figura 7. Subfunciones caja negra.

Fuente: propia.

### Análisis de subfunciones

El objetivo es encontrar soluciones a la función general ocupándose sobre cada subfunción. De este análisis se obtuvieron las soluciones presentadas en las Tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Tabla 2. Solución de energía

Almacenar o aceptar energía externa	
<b>Conceptos generados:</b>	<b>Soluciones:</b>
Etapa electrónica de regulación para conectar el prototipo directamente a la red local de energía a 110VAC.	Implementación de un convertidor de voltaje AC-DC.
Disponer de una batería recargable que garantice el funcionamiento del prototipo en ausencia de energía eléctrica.	Batería recargable.

Fuente: propia.

Tabla 3. Solución almacenamiento

Almacenar los medicamentos separados	
<b>Conceptos generados:</b>	<b>Soluciones:</b>
Se dispondrá de tres anillos concéntricos para tres tipos diferentes de medicamentos.	Modelo pastel dividido en tres anillos concéntricos.
Cada anillo tiene un compartimento donde se ubicará exclusivamente una pastilla.	

Fuente: propia.

Tabla 4. Solución mecánica

Convertir la energía en movimiento rotacional	
<b>Conceptos generados:</b>	<b>Soluciones:</b>
Usar mecanismos de engranajes paralelos impulsados por motores DC.	Engranajes paralelos compuestos por un piñón impulsor acoplado a un motor DC y una rueda impulsada acoplada a un eje.

Fuente: propia.

Tabla 5. Solución de configuración

Configurar el prototipo para entregar los medicamentos	
<b>Conceptos generados:</b>	<b>Soluciones:</b>
Crear una APP que por medio de conectividad BT configure la máquina para entregar los medicamentos a la hora indicada	Aplicación para configuración de la máquina por conectividad BT.

Fuente: propia.

Tabla 6. Integración de hardware y software

Por medio de la rotación de los mecanismos llevar el medicamento a la posición deseada para la entrega.	
<b>Conceptos generados:</b>	<b>Soluciones:</b>
El software de la máquina debe permitir la ejecución de los movimientos necesarios para ubicar el medicamento en la posición ideal y que este sea entregado bajo una sencilla orden del usuario (pulsar un botón)	Desarrollo de software en arduino usando la placa ESP32 que incluye WiFi y conectividad BT.

Fuente: propia.

Tabla 7. Sistema de alertas

Generar alertas visuales y auditivas	
<b>Conceptos generados:</b>	<b>Soluciones:</b>
El prototipo debe generar alertas visuales y auditivas que le indiquen al usuario el momento en que debe tomar su medicamento.	Panel de luces LED y kid de parlantes.

Fuente: propia.

### Estado actual del proyecto

Se cuenta con un diseño preliminar del hardware basado en tres anillos concéntricos segmentados (Figura 7). Actualmente se está trabajando en el acoplamiento de los motores, diseñando y adaptando los mecanismos para lograr que cada compartimento se ubique en la posición deseada y que permita hacer una entrega efectiva del medicamento.

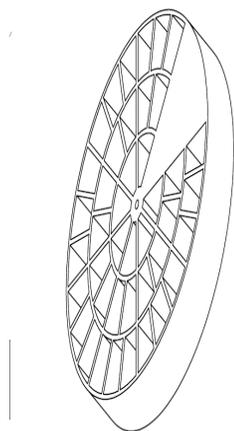


Figura 8. Sección de almacenamiento de medicamentos.

Fuente: propia.

Por otra parte, se desarrolló una versión preliminar de la app para configuración de la máquina; mientras que la base de datos aún se encuentra en una fase de diseño.

Nuestros esfuerzos actuales se concentran en finalizar la configuración mecánica del prototipo, acoplar los sensores y motores para un control automático de los mecanismos.

Se proyecta obtener un prototipo mecatrónico que, después de ser abastecido y configurado fácilmente por el usuario, sea capaz de entregar efectivamente los medicamentos a la hora programada, generando alertas visuales y auditivas sobre todos los eventos programados en la máquina. Así mismo, llevar el registro en una base de datos del cumplimiento en la toma de los medicamentos con la idea de que esta información pueda ser utilizada por el personal de la salud para ejercer más control y afinar los tratamientos médicos.

### Referencias

- Asociación Colombiana de Empresas de Medicina Integral (ACEMI). (2013). Cifras e indicadores del sistema de Salud. Bogotá, D. C., Colombia. Recuperado de [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/salude\\_en\\_cifras-2013.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/salude_en_cifras-2013.pdf)
- Casas-Vásquez, P., Ortiz-Saavedra, P. y Penny-Montenegro, E. (2016). Estrategias para optimizar el manejo farmacológico en el adulto mayor. *Revista Peruana de medicina experimental y salud pública*, 32(2), 335-341. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2016.332.2153>
- Chariah, C., Kumia, N., Zubarrain, J., He, S. & Rahemi, H. (2016). *A Low Cost Automated Pill Dispenser for At-Home Use*. American Society for Engineering Education.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2020). Discapacidad. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/discapacidad>
- Kadam, S., Kale, A., Nimase, P., Padwal, S. & Khandare, S. (2016). *International Journal of Technical Research and Applications*, 4(3), 73-76.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). Informe Nacional de Calidad de la Atención en Salud 2015. Bogotá. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/>

sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/informal-calidad-atencion-salud-2015.pdf

Ministerio de Salud. (2020). Cifras de aseguramiento en salud. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/Paginas/cifras-aseguramiento-salud.aspx>

Mukund, S. & Srinath, N. (2012). Design of Automatic Medication Dispenser. *Computer Science & Information Technology*, 251-257. DOI: 10.5121/csit.2012.2324

Muñoz, M. (2016). *Proyecto de dosificador de pastillas para personas con autonomía reducida* (Tesis de pregrado). Universitat Politècnica de Catalunya. Escuela Superior de Ingenierías Industrial, Aeroespacial y Audiovisual de Terrassa. Recuperado de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100825/REPORT\\_212.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100825/REPORT_212.pdf)

Shinde, S., Bange, N., Kumbbar, M. & Patil, S. (2017). Smart Medication Dispenser. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering*, 6(4), 200-204.