

Dosificador de medicamentos inteligente

Documento para optar por el Título de Diplomado en *Internet of Things*
Universidad Católica Boliviana “San Pablo” Regional La Paz

Wilber Álvaro Rojas Fernández
Estudiante del Diplomado en Internet of Things

Fabio Richard Díaz Palacios
Coordinador del Diplomado en internet of Things

Resumen—Un gran número de personas incumplen involuntariamente las dosis de su medicación, debido a descuidos humanos. Esto muchas veces repercute en la efectividad del tratamiento y recuperación. El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un dispositivo dosificador inteligente para incrementar el cumplimiento de los tratamientos médicos en base a pastillas. El dispositivo hace uso de Google Calendar y Ubidots para la programación del consumo, también incluye un monitoreo de los suministros, como la cantidad de pastillas o agua. El sistema propuesto se comunica con 5 servicios de internet, entre los cuales, implementó los recordatorios por Telegram. El prototipo físico cuenta con la capacidad de almacenar 4 tipos de pastillas y 2 suministros solubles en agua de características arenosas o en polvo, como el azúcar. Para la explicación del prototipo físico, se desarrolló un prototipo en Solidworks y un diagrama de las conexiones del circuito. Todos los mecanismos desarrollados fueron implementados mediante el uso de la impresión 3D. Las pruebas en el prototipo funcional muestran una variación a la hora de la activación programada, retrasándose hasta 10 minutos de la hora exacta. Sin más complicaciones, se concluyó que el dispositivo es eficaz para ayudar en el cumplimiento de la dosificación de pastillas.

Palabras clave—Dispensador, Dosificador, Medicación, IoT, Ubidots, Particle.

Línea de investigación: Ciencia, Tecnología e Innovación, Tecnologías de asistencia; desarrollo de dispositivos inteligentes aplicado a la asistencia de personas con discapacidad motora, sensorial, cognitiva.

I. INTRODUCCIÓN

Seguir las prescripciones de medicación es importante para obtener resultados positivos en un tratamiento. De manera más formal, se puede referir al cumplimiento de las prescripciones como la adherencia a la medicación. La falta de adherencia a la medicación se asocia con resultados adversos y mayores costos de recuperación. No obstante, la no adherencia a los medicamentos puede ser intencionada o no. El incumplimiento involuntario es un proceso en el que el paciente puede ser descuidado en el transcurso de completar el tratamiento.

La mayoría de las desviaciones en la toma de medicamentos se deben a omisiones o retrasos en la toma de dosis. Además,

Este trabajo fue entregado para su revisión en fecha 21 de Mayo de 2021. El autor declara que el trabajo es de su completa autoría y referencia adecuadamente otros trabajos.

los tratamientos que requieren terapia a largo plazo se han asociado con la falta de adherencia. También existen otros factores relacionados como la edad joven y la depresión [1].

Vrijens et al. realizaron un estudio, en donde, aproximadamente la mitad de los pacientes a los que se les recetó un medicamento a largo plazo habían dejado de tomarlo en un año [2]. Asimismo, la mayoría de los pacientes tenía al menos un período de “vacaciones de medicamentos”, esto quiere decir que hubo una falta en el cumplimiento de la medicación de por lo menos 3 días seguidos. En la imagen 1, se muestra la disminución a lo largo del tiempo desde el inicio del tratamiento, y se observa que para el día 200 el 35 % de los pacientes ya habían interrumpido el protocolo.

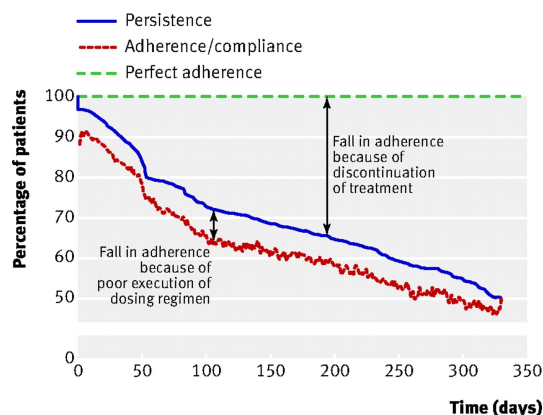


Figura 1. Seguimiento de la dosificación en el transcurso de un año [2].

Aproximadamente el 95 % de los pacientes omitieron una dosis en su tratamiento de un año [2], es decir, tuvieron un intervalo de más de 30 horas desde la última dosis tomada. De acuerdo con Vrijens, la efectividad de ejecución, repercute en la efectividad de persistencia. Se puede hacer énfasis entonces, en la importancia de recordar los horarios de medicación para incrementar la calidad del tratamiento, por lo que en este proyecto, se desarrollará un dispositivo IoT que pueda ser implementado para ayudar en el cumplimiento de la medicación por píldoras.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Desarrollar un dispositivo dosificador inteligente para incrementar el cumplimiento de los tratamientos médicos en base a pastillas.

B. Objetivos Específicos

- Implementar un sistema de control IoT.
- Diseñar un mecanismo capaz de dispensar múltiples píldoras automáticamente.
- Implementar una programación para el horario de consumo.
- Diseñar un mecanismo que otorgue complementos para el consumo bebible.
- Implementar un sistema de notificación y monitoreo.

III. RESULTADOS

A. Materiales

Los materiales electrónicos utilizados en este proyecto se los listó en la tabla I. Aparte de los listados, también se usó la impresión 3D para la materialización de los mecanismos diseñados.

Tabla I
COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Componente	Cantidad
Particle Argon	1
Motor DC 755	1
Servomotor SG90	4
Motor Nema 17	2
Bomba de agua	1
AD20P-1230A	1
Driver L298N	1
Driver TB6600	1
Driver Relay 4 Canales	1
Sensor de Nivel de Agua ZPC5	1
Buzzer Pasivo 5v	1
Transistor 2n2222	2
Resistencia 1K	2
Resistencia 10K	1
Fuente de 5v	1
Fuente de 12v	1

B. Circuito

Un diagrama completo del circuito del proyecto se puede encontrar en el Apéndice 1. En esta sección se explicarán algunos puntos importantes que se tuvo en cuenta en el desarrollo.

Se implementaron 8 motores en total, por lo que se usó fuentes de voltaje externas. Se investigó la corriente necesaria para el funcionamiento de los componentes, como se puede ver en la tabla II, y se calculó el amperaje requerido para ambas fuentes de voltaje. Se obtuvo que la corriente necesaria para la fuente de 5v es 4.88A y para la fuente de 12v es de 4.4A.

Tabla II
AMPERAJE DE LOS COMPONENTES

Componente	Cantidad	Amperaje
Fuente de 5 voltios		
Servomotor SG90	4	200mA
L298N	1	4A
Driver Relay	1	80mA
Fuente de 12 voltios		
AD20P-1230A	1	400mA
TB6600	1	4A

En el cálculo, se analizó que los dos motores Nema17 que se usaron para el mecanismo del dispensador de azúcar y café del punto C-II, no tienen la necesidad de funcionar al mismo tiempo. Es por eso que se ha implementado un driver de relés de 4 canales, el cuál cambiará las salidas A+, A-, B+ y B- del driver TB6600. Esto incrementa la corriente necesaria de la primera fuente 80mA, pero al usar un driver para dos motores, disminuye la corriente requerida en la segunda fuente 4A.

Por otra parte, se implementó transistores como switches para la activación de algunos componentes. En la primera versión del circuito, se planteó esta función de activación mediante el uso de relés, sin embargo, la corriente necesaria para el accionamiento de un relé de 3v supera a lo que los pines digitales de la placa Argon pueden otorgar. Finalmente, tomando en cuenta los datos de la tabla II, y que la corriente de funcionamiento de la Placa Argon es de 500mA a 5v, la potencia requerida para el funcionamiento del dispositivo es de:

$$P = V * I \quad (1)$$

$$P = 5V * (4,88A + 0,5A) + 12V * 4,4A$$

$$P = 79,7[W]$$

Se podría calcular también el consumo energético diario del dispositivo, suponiendo que este encendido las 24 horas.

$$E = P * t \quad (2)$$

$$E = \frac{79,7 * 24}{1000} = 1,91[kWh]$$

C. Mecanismos

Se desarrollaron dos mecanismos para este proyecto: el dispensador de pastillas, y el dispensador de azúcar y café. Para su desarrollo en este proyecto, también se elaboraron los mecanismos en Solidworks. Finalmente, se puede hacer una revisión del prototipo real en el Anexo 3.

C-I. Dispensador de pastillas: La idea del mecanismo del dispensador de pastillas se obtuvo del proyecto de Gursimran [3]. Se usa dos servomotores para controlar la salida de las pastillas, como se observa en la figura 2. A pesar de la simplicidad de este mecanismo, se ha concluido que es uno de los más eficientes al momento de automatizar la dosificación.

Las alternativas a esta solución implementan una rosca dividida en secciones [4]. El problema con la solución alternativa es que su almacenamiento es más limitado, por

lo que tiene ser recargado con más frecuencia. Además, su organización se basa en el horario del consumo de las pastillas, al contrario del dispensador diseñado, en donde la organización se basa en el tipo de pastilla, sin importar el horario. Finalmente, para evitar utilizar una gran cantidad de salidas PWM de la placa Argon, se diseñó un mecanismo que utiliza los mismos dos servomotores para controlar la salida de 2 pastillas, esto se puede observar en el Apéndice 2.

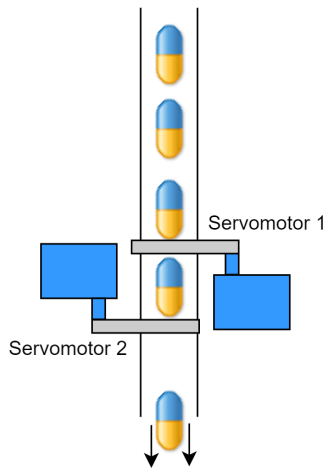


Figura 2. Esquema del mecanismo dispensador de pastillas.

C-II. Dispensador de azúcar y café: La base para el diseño del dispensador de azúcar se obtuvo de la empresa de Polonia “Kazak” [5]. Se lo modificó para que su accionamiento sea electrónico, mediante la implementación de un motor a pasos. Para adicionar un suministro de café se diseñó una unión por medio de tubos en la salida de estos mecanismos, esto se puede observar mejor en el Apéndice 2. El funcionamiento completo de esta implementación hace uso del AD20P-1230A para adicionar agua al vaso del usuario, para luego ser mezclado por medio del batidor magnético accionado por el motor DC. La referencia para el diseño del batidor magnético se obtuvo de Instructables [6].

IV. IMPLEMENTACIÓN IOT

El sistema IoT del proyecto se compone de una conexión entre 5 servicios: Ubidots, Particle, IFTTT, Calendar y Telegram. Se explicará la implementación en cada uno de estos servicios en los siguientes puntos. Un diagrama de esta implementación se puede ver en el apéndice 1.

A. Ubidots

El servicio Ubidots permite ser usado como base de datos para las variables del sistema, almacena la información históricamente y genera una gráfica independiente para cada variable, como se ve en la figura 3. Con el uso de la librería de Particle es posible que la placa Argon almacene y recupere datos de este servicio.

Ubidots permite también la creación de Dashboards, en donde se pueden añadir indicadores, tablas, interruptores,

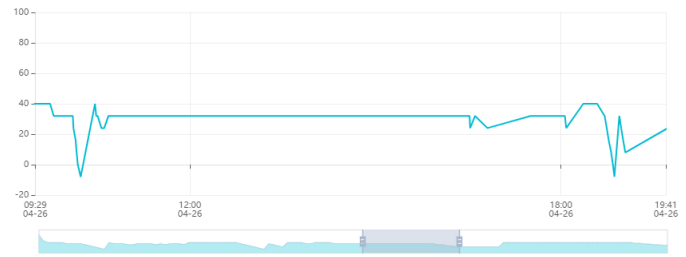


Figura 3. Gráfico de una variable de Ubidots.

sliders, etc. Todos los ítems mencionados sirven para interactuar de manera más sencilla con las variables del sistema. En lo que respecta a este trabajo, los Dashboards se usaron para hacer una simulación de una aplicación ideal para el proyecto.

Se dividió la implementación del servicio de Ubidots en dos secciones para la interacción con el usuario, una sección de pedido y una sección de datos. Así mismo, la sección de pedido está compuesta de 3 partes o subsecciones:

■ Subsección de pastillas

En esta subsección se selecciona qué pastillas el usuario quiere tomar mediante el uso de switches digitales, como se ve en la figura 4.

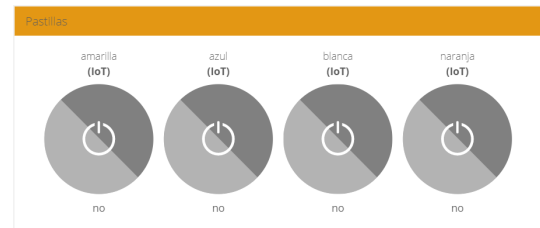


Figura 4. Selección de pastillas.

■ Subsección de bebidas

La primera versión implementó switches como en el caso anterior, en donde el usuario podría pedir un valor entre sí o no, sin embargo, esto sería suponer que todos los usuarios consumen sus pastillas con la misma cantidad de agua, café y azúcar. La implementación de sliders en el dashboard de Ubidots se usó para cambiar el estado de las variables a valores no binarios, permitiendo así una mejor personalización en los requerimientos del usuario, como se ve en la figura 5.

■ Subsección de envío

Se implementó un switch que al cambiar de estado en sentido RISING mandará una señal de activación al servidor de Particle. Idealmente este componente digital debería ser un botón, sin embargo, Ubidots actualmente

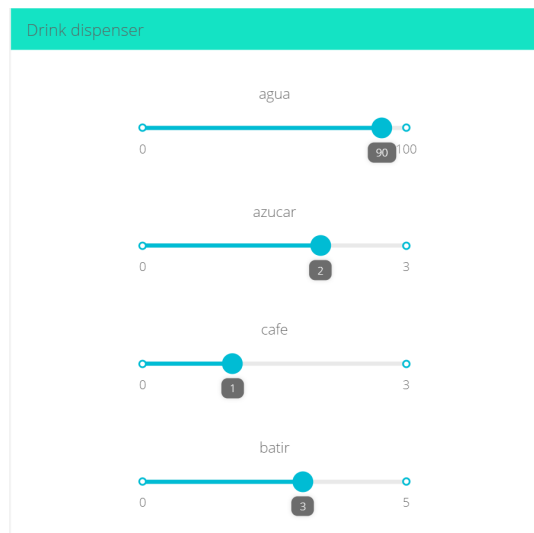


Figura 5. Selección de bebida.

no tiene programado un botón para su implementación en los Dashboards.

Por otro lado, la sección de datos está compuesta por una tabla que contiene la cantidad y la hora en la que se consumió por última vez cada pastilla.

Consumo		
VARIABLE NAME	DATE	PILLS LEFT
pastilla amarilla	05/05/2021 13:22	7.00
pastilla azul	05/03/2021 18:14	16.00
pastilla blanca	05/03/2021 17:42	20.00
pastilla naranja	05/05/2021 13:27	3.00

Figura 6. Consumo de las pastillas.

Además, contiene indicadores que muestran el porcentaje de agua, azúcar y café que el dispositivo físico almacena en ese momento.

B. Particle

El servidor de Particle hace posible la interacción entre servicios IoT y hardware. Recibe los mensajes enviados por Ubidots y IFTTT, como se ve en la figura 7 y 8. Luego de procesar la parte del hardware en base a la solicitud recibida, envía un mensaje a Ubidots para actualizar los datos de la figura 6. Además, Ubidots responde si los datos han sido recibidos correctamente.

C. IFTTT, Google Calendar y Telegram

IFTTT es un servicio que permite automatizar la interacción entre otros servicios de internet. En este proyecto se implementó Google Calendar para la programación de los horarios en los que se consumirá el medicamento. Cuando

NAME	DATA	DEVICE	PUBLISHED AT
hook-response/Ubi...	{"pastilla-azul": [{"sta...	particle-internal	5/3/21 at 6:09:05 pm
hook-sent/Ubidots...		particle-internal	5/3/21 at 6:09:05 pm
UbidotsMessage	{"pastilla azul": {"valu...	Argon	5/3/21 at 6:09:05 pm
UbidotsWebhook	iniciar	api	5/3/21 at 6:08:49 pm

Figura 7. Mensaje de Inicio de Ubidots.

NAME	DATA	DEVICE	PUBLISHED AT
hook-response/Ubi...	{"pastilla-azul": [{"sta...	particle-internal	5/3/21 at 6:14:27 pm
hook-sent/Ubidots...		particle-internal	5/3/21 at 6:14:27 pm
UbidotsMessage	{"pastilla azul": {"valu...	Argon	5/3/21 at 6:14:27 pm
UbidotsWebhook	Calendarstart	api	5/3/21 at 6:14:10 pm

Figura 8. Mensaje de Inicio de IFTTT.

un evento llamado "pill" inicia, IFTTT manda un mensaje de activación al servidor de Particle, esto es equivalente a accionar el switch de enviar de la aplicación de Ubidots. Asimismo, se implementó las notificaciones por Telegram, asegurando que los usuarios reciban un recordatorio a la hora de tomar sus pastillas.

V. RECOMENDACIONES

Para su replicabilidad, en el mecanismo de pastillas se recomienda elaborar un diseño personalizado para cada píldora, debido a que, si el tubo contenedor tiene un diámetro interior muy elevado en comparación al diámetro de la píldora, puede provocar un atascamiento por un mal asentamiento de las píldoras en cola. Por otro lado, el mecanismo del dispensador de azúcar es replicable para añadir más complementos similares, para ello se necesitará la implementación de más motores a paso, se sugiere utilizar un conjunto de relés para intercambiar la salida del driver controlador, con el objetivo de hacer uso de un solo componente y disminuir el consumo energético. Finalmente, se recomienda una comunicación directa entre la placa Argón y Telegram, debido a que el servicio de IFTTT presenta retrasos al momento de activar algunos eventos.

VI. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un dispositivo que cuenta con dos mecanismos principales: El dispensador de pastillas, en donde su almacenamiento depende del tamaño de cada píldora. El dispensador de azúcar y café, que junto con el funcionamiento de la bomba de agua y el batidor magnético permite una solución más completa para los usuarios. Por parte de la implementación IoT, se ha desarrollado un sistema capaz de solicitar al dispositivo las pastillas y el complemento bebible por medio de la aplicación de Ubidots, con la opción de programar los pedidos en el servicio de Google Calendar. Además, en el servicio de Ubidots también se ha desarrollado un monitoreo de las variables más importantes del sistema.

Asimismo, se implementó recordatorios de los eventos programados a Telegram. Respecto a las pruebas del prototipo funcional, se ha podido notar que para el mecanismo de las pastillas se requiere un diseño personalizado para cada píldora. Por otra parte, la activación del sistema por medio de las programaciones en Google Calendar tienden a variar, adelantándose 2 minutos o retrasándose hasta 10 minutos en las pruebas. Según la investigación previa, este retraso no es capaz afectar la efectividad de un tratamiento, por lo que se considera que el prototipo es válido para un desarrollo más formal.

APÉNDICES

Los siguientes apéndices se encuentran en el mismo repositorio de Github, para una mejor revisión se ha separado los puntos de interés en los siguientes enlaces:

1. Diagrama del circuito:
https://github.com/WilberRojas/IoT_Dosificador/blob/main/Circuito.md
2. Mecanismos:
https://github.com/WilberRojas/IoT_Dosificador/blob/main/mecanismos.md
3. Prototipo Funcional:
https://github.com/WilberRojas/IoT_Dosificador/blob/main/prototipo.md
4. Código desarrollado para la placa Argon:
https://github.com/WilberRojas/IoT_Dosificador/blob/main/src/stepperL298N.ino

Dashboards de Ubidots:

5. Pedido:
https://industrial.ubidots.com/app/dashboards/public/dashboard/qjiZKvvSN_UD0r489xztflZ11zDqJjdyEKZhmq-uRaM?displayTitle=true
6. Datos:
https://industrial.ubidots.com/app/dashboards/public/dashboard/F6vTkCbCQBkJ2pRupIU9-EW1M6_ufowQUOtWs-vJPUw?displayTitle=true

REFERENCIAS

- [1] P. Michael, C. Bryson, and J. S. Rumsfeld, "Medication adherence," *Circulation*, vol. 119, 6 2009.
- [2] B. Vrijens, G. Vincze, P. Kristanto, J. Urquhart, and M. Burnier, "Adherence to prescribed antihypertensive drug treatments: longitudinal study of electronically compiled dosing histories," *BMJ*, vol. 336, 5 2008.
- [3] G. Singh, "Iot pill dispenser," Disponible en: <https://www.instructables.com/IoT-Pill-Dispenser/>, 2020.
- [4] LiveFine, "Dispensador automático de pastillas," Disponible en: <https://www.amazon.com/LiveFine-Automatic-Dispenser-Electronic-Medication/dp/B00FL620B0>.
- [5] Kazak, "Sugar dispenser," Disponible en: <https://coffe.kazak.com.pl/product/dozator-sahara/>.
- [6] kymyst, "Magnetic stirrer hotplate," Disponible en: <https://www.instructables.com/How-to-make-a-magnetic-stirrer-that-looks-like-a-p/>.



Wilber Álvaro Rojas Fernández
Estudiante de ingeniería Mecatrónica