

ROBOT AUTÓNOMO DE DESINFECCIÓN PARA BUSES DE TRANSPORTE PÚBLICO MEDIANTE RAYOS UVC DE XENÓN

M. Alvarado¹, A. Kevin² *Nineth Semester Students Ricardo Palma University-Lima^{1,2}, {manuelalvaradocarlos, kevinsol1996}@gmail.com^{1,2}.*

Abstract— *The following paper develops the automation of a mobile robot capable of disinfecting a large percentage of viruses and bacteria inside a public transport bus using xenon UVC light bulbs for a short time. The module used for its movement and rotation is an MPU6050 and has been programmed through the Arduino platform. The precise design of the robot parts and their assembly was carried out using the SolidWorks program and their simulation was carried out using Simulink and Camtasia.*

Palabras Claves— Móvil, Automatización, Desinfección.

I. INTRODUCCION

En la actualidad, el mundo atraviesa una grave crisis debido a la pandemia originada por el letal virus denominado COVID-19. Ante estas circunstancias, los gobiernos de diferentes países han optado por tomar medidas drásticas para reducir el número de contagios y la expansión de dicho virus dentro de sus jurisdicciones [1]. Entre estos nuevos dictámenes, viene a colación la necesidad de mantener un distanciamiento social que se refuerza mediante una cuarentena focalizada, un constante aseo personal luego de exponerse al exterior y una limpieza total de los ambientes de trabajo y transporte por donde las personas circulan usualmente para realizar sus labores cotidianas [2]. No obstante, las opciones más comunes para realizar esta tarea incluyen la participación directa del ser humano en un entorno potencialmente peligroso, expuestos a un posible contagio pese a que pueda tomar las precauciones pertinentes, tales como uso de mascarilla y trajes sintéticos, o un efecto contraproducente de los elementos a usar durante la desinfección. Como ejemplo de esto, mostrado a través de un reportaje emitido por la cadena televisiva "ATV", la empresa peruana de transporte "CIVA" ha instaurado un protocolo de limpieza en sus buses usando una máquina esterilizadora que aplicaba rayos ultravioletas. Sin embargo, este aparato necesitaba de un usuario que lo desplazara, por lo que termina siendo dañino para la salud del operario, pudiendo llegar a producir quemaduras en la piel o hasta cáncer debido a su exposición a la radiación [3]. Es por ello que se necesita de un sistema autónomo que asegure el correcto mantenimiento de desinfección para evitar que el virus se halle en alguna superficie a la que el ser humano esté propenso a tener contacto.

Como primeras propuestas de este tipo de sistemas autónomos, la empresa Blue Ocean Robotics, ubicada en Dinamarca y dedicada al desarrollo, venta y producción de robots, se asoció con el Hospital Universitario de Odense para desarrollar el primer prototipo de robot desinfección UV en el año 2014[4]. Dos años más tarde, se fundó UVD Robots, una sucursal

de Blue Ocean Robotics cuyo objetivo era comercializar los robots desinfectantes globalmente en hospitales. En el 2019, ellos ganaron el premio IERA (Innovación y emprendimiento en robótica y automatización) gracias a su propuesta de robot autónomo de desinfección. Después de ello, su demanda ha aumentado ante la crisis actual del COVID-19, siendo exportado a países de Asia, Europa y Estados Unidos [5]. En marzo del 2020, la empresa de transporte público de Shanghái, Yanggao, implementó esta tecnología para más de 250 autobuses al día. A diferencia de una limpieza convencional, este proceso reduce la duración de la operación de 40 a 5 minutos [6].

Basándonos en todos estos conceptos, este proyecto se enfoca en el desarrollo de un robot móvil que realizara dicha labor en un plazo de tiempo prudente a través del corredor de un bus de transporte público, con un sensor que le permita detectar el final del carril para girar en su mismo eje y regresar al punto de partida. De esta manera, podrá abarcar una mayor parte del vehículo y apagarse por sí solo al culminar con el tiempo estimado. Toda su programación estará realizada en la plataforma de Arduino y se transmitirá por medio del módulo MPU6050 que será el direccionador para el robot autónomo.

II. DESARROLLO

A. Diseño:

Fluorescente de luz UVC por gas de xenón:

El robot desinfectante cuenta con ocho de estos fluorescentes, los cuales serán colocados en un soporte que los mantendrá rectos. Sus dimensiones son 50 cm de largo y 16 mm de ancho. Se escogió este tipo de luz ultravioleta porque posee una longitud de onda más corta y brinda un menor impacto a la salud humana en comparación a la luz ultravioleta del tipo A o B [7].



Fig.1 Modelo en CAD del fluorescente UVC de xenón.

MPU6050:

Es un módulo de doble sensor con tres ejes (movimiento horizontal, vertical y rotación respecto a un eje). Posee un pin de alimentación, señales de data, clock, pin de dirección y pin de interrupción. Su principal característica es poder cumplir con la función de giroscopio y acelerómetro, los cuales serán muy útiles para la secuencia de instrucciones que deberá seguir el robot autónomo desinfectante [8].

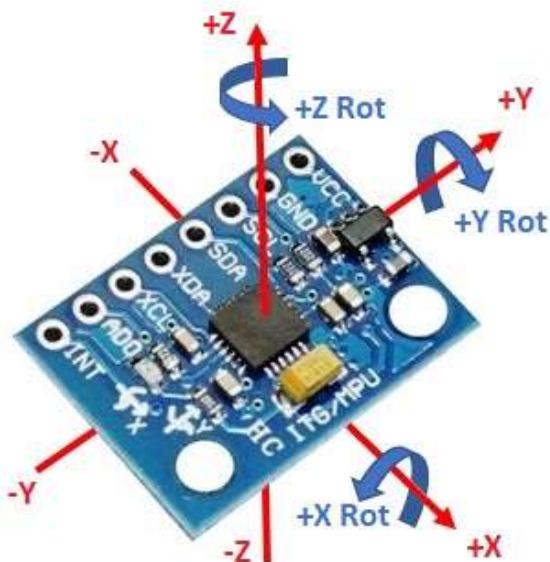


Fig.3 Esquema de los ejes del módulo MPU6050.

Arduino:

Una plataforma electrónica de código abierto tanto de software como hardware permite de una forma sencilla realizar proyectos interactivos. Existe una gran cantidad de placas, sensores y actuadores compatibles [9].



Fig.4 Plataforma Arduino Uno R3

SolidWorks:

Es un software CAD (diseño asistido por computadora) para modelado mecánico en 2D y 3D. Permite crear piezas y conjuntos, extrayendo de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Ideal para la estimación de las dimensiones del robot autónomo desinfectante [10].



Fig.5 Logotipo de la plataforma SolidWorks

Matlab-Simulink:

Es un entorno de programación visual, que funciona sobre el entorno de programación Matlab. Es ampliamente usado en ingeniería electrónica en temas relacionados con el procesamiento digital de señales (DSP), involucrando temas específicos de ingeniería biomédica, telecomunicaciones, entre otros. También es muy utilizado en ingeniería de control y robótica. Simulink será el programa en donde se realice una simulación y seguimiento del MPU6050 junto al Arduino [11].



Fig.6 Logotipo de la plataforma Camtasia.

Motorreductor K9P15B:

El motorreductor trifásico con freno que se usará debe ser alimentado con 220V, 60 Hz. Posee una potencia de 1/2 HP. El papel principal en un motorreductor lo desempeña el reductor y sus fases, los pares. Estas características transmiten la fuerza del motor del eje de entrada al eje de salida. Por lo tanto, el reductor funciona como un variador de velocidad y par. Es de tipo coaxial helicoidal y su caja reductora está compuesta de piñones. Puede ser aplicado de forma horizontal y vertical, además de poseer un diámetro de eje de 15 mm [12].



Fig.7 Motorreductor K9P15B

La cabeza está comprendida por la unión de los ocho fluorescentes y con un soporte tanto en la parte superior como inferior.



Fig.9 Pieza en CAD de los fluorescentes.

El cuerpo estaría hecho de Polipropileno con aditivo color negro de carbón para evitar daños en el mismo. Contará con 2 compartimentos: El superior soportará una Tablet de hasta 10 pulgadas, y en la parte inferior cuenta con un compartimento para ubicación de circuitería, así como las baterías del robot. A su vez se le agregó espacio para el cableado de alimentación para una Tablet de monitoreo.



Fig.10 Pieza en CAD del cuerpo del robot desinfectante.

La base se pensó como un diseño bastante simple, el cual posee 2 motores de $\frac{1}{2}$ HP para cada una de las ruedas delanteras y una rueda loca para permitir el giro fácil desde la parte trasera.

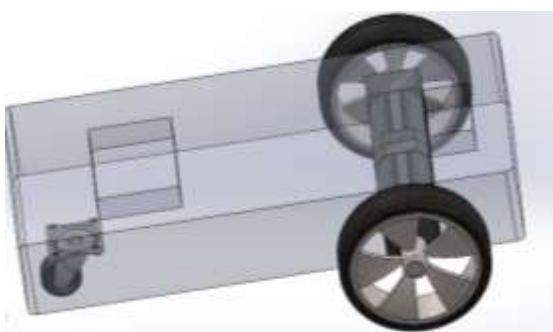


Fig.11 Pieza en CAD de la base del robot desinfectante.

El ensamblaje final de las piezas puede verse en la Fig.12. Se optó por un diseño minimalista para que sea de fácil manejo y portable. Sus principales características son: Portabilidad, Simplicidad y Utilidad, permitiendo que su desplazamiento se lleve sin contratiempos y los integrados dentro de su cuerpo no se vieran dañados por la luz ultravioleta que se emana en la cabeza durante el tiempo de encendido.

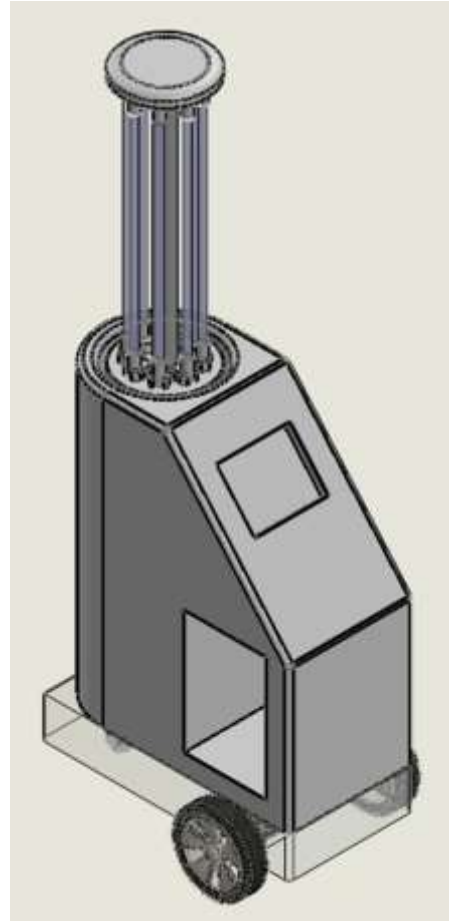


Fig.12 Ensamblaje final en CAD del robot desinfectante.

B. Programación:

El proceso del robot autónomo de desinfección UVC de xenón se da a través de la cabina de bus por donde se movilizará, realizando un desplazamiento lineal por el pasillo entre asientos, un giro de 180° que el módulo MPU6050 realizará con ayuda de las ruedas y un continuo avance hasta culminar los cinco minutos del temporizador.

El tiempo de este proceso está determinado en base a los estudios realizados por empresas en el continente asiático, las cuales estimaron que esos minutos serían suficientes para que la luz UVC erradicara un 99% de los virus y bacterias que se encontraran en el ambiente [13]. Además, el movimiento del robot se limita a uno lineal debido a que estará creado únicamente para la limpieza de los buses grandes de transporte público, atravesando exclusivamente el pasillo entre asientos. A continuación,

un algoritmo que resume el proceso automático del robot desinfectante.

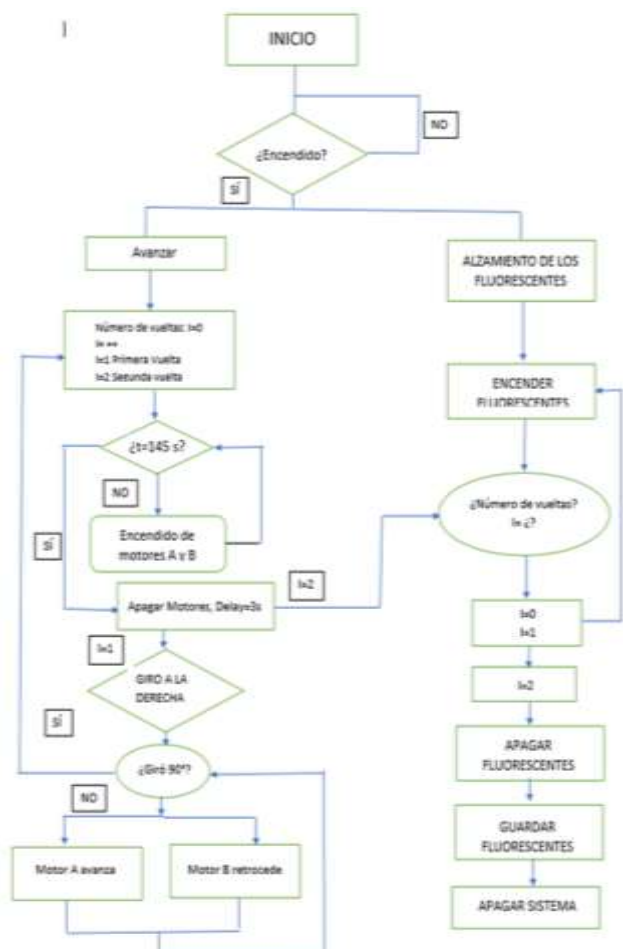


Fig.13 Algoritmo del robot autónomo desinfectante.

La parte lógica quedaría así:

Encendido -> Motor A y B avanzan.
 Inicio del temporizador (t hasta los 90 segundos) -> En caso de no llegar a los 90 segundos, continúa la marcha.
 Alcanza los 145 segundos -> Apagar motores y Delay de 3 segundos -> Registra una vuelta.
 Giro a la derecha -> Motor A avanza y Motor B retrocede (hasta cumplir el giro de 90° grados).
 Motor A y B avanzan -> Inicio del temporizador (t hasta los 145 segundos).
 Alcanza los 145 segundos -> Apagar motores y Delay de 3 segundos -> Registra una vuelta.
 Cuando se tiene dos vueltas registradas, se apagan el fluorescente. -> Se guarda los fluorescentes-> Se apaga el sistema.

Dentro de la programación a efectuarse, se tuvo que descargar una librería en específico para el manejo del MPU6050 dentro del programa de Arduino. Es importante tener en cuenta que la comunicación del módulo es por I2C, ya que esta entrada le permite trabajar con la mayoría de microcontroladores [14]. Los pines SCL y SDA tienen una resistencia pull-up en placa para una conexión directa al microcontrolador o Arduino. El pin ADDR internamente en el módulo tiene

una resistencia a GND, por lo que, si no se conecta, la dirección por defecto será 0x68. El módulo tiene un regulador de voltaje en placa de 3.3V, el cual se puede alimentar con los 5V del Arduino [15].

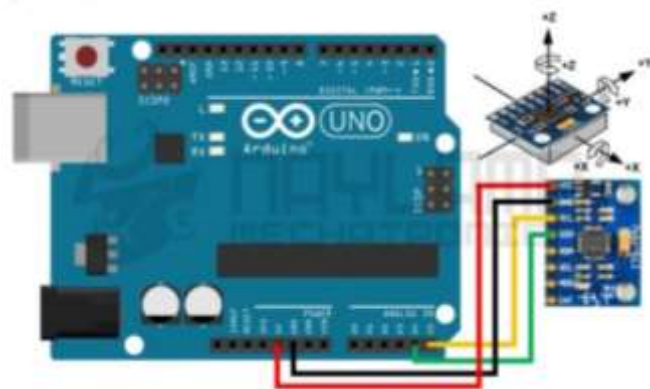


Fig.14 Esquema de las conexiones del circuito.

Tabla I. Conexiones entre el MPU6050 y Arduino

MPU6050	Arduino
VCC	5V
GND	GND
SCL	A5
SDA	A4

La librería del MPU6050 ofrece instrucciones de uso fácil para testear nuestro módulo y calibrarlo a los valores que se desean para un mejor control. Dentro de este conjunto de códigos, el más resaltante es el siguiente:

```
sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az);          (1)
sensor.getRotation(&gx, &gy, &gz);           (2)
```

La función (1) lee la aceleración de los componentes x-y-z como parámetro, es necesario dar la dirección de las variables como argumento, para lo que se usa: &variable. La función (2) realiza la lectura de la velocidad angular y guarda las lecturas en sus respectivas variables. Al inicializar el sensor, los rangos por defecto serán [16]:

- Acelerómetro: -2g a +2g
- Giroscopio: -250°/sec a +250°/sec

Una vez que se conecte el puerto serial y se dé inicio al programa, nos aparecerá una pantalla con los valores del sensor en posición horizontal.

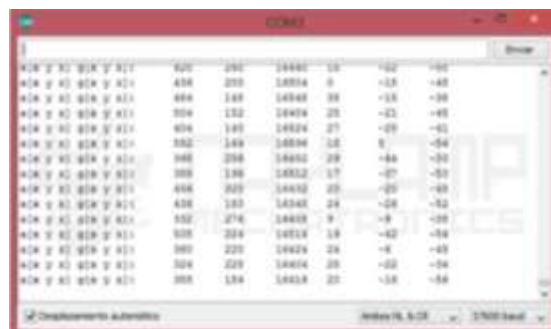


Fig.15 Muestra de las posiciones originales X,Y,Z.

Además, se tendrá que tener en consideración el OFF-SET que exista por no tener el módulo en posición completamente horizontal, necesiándose una configuración que compense ese error. Luego de cerciorarse de que los datos obtenidos de nuestro módulo sean los correctos mientras el programa corre, se procede a establecer los parámetros de la velocidad angular y la aceleración que se necesiten. En este caso, se optó por lo siguiente:

Tabla II. Parámetros asignados al MPU6050

Variable	Valor mínimo	Valor central	Valor Máximo
Lectura MPU6050	-32768	0	+32767
Aceleración	-2g	0g	+2g
Velocidad angular	-250°/s	0°/s	+250°/s

Una vez detallado dichos parámetros, necesitamos calcular el ángulo actual en el que se encuentra nuestro módulo. Para ello, necesitamos integrar la velocidad y conocer el ángulo inicial. Esto lo hacemos usando las siguientes fórmulas:

$$\theta_x = \theta_{x0} + \omega_x \Delta t \quad (3)$$

$$\theta_y = \theta_{y0} + \omega_y \Delta t \quad (4)$$

Donde θ es el ángulo de giro que se efectúa en el eje X y se proyecta en los otros ejes, mientras que ω es la velocidad angular en la que se efectuó dichos giros[17]. Ya que el objetivo de nuestro proyecto es que realice un giro de 90° al finalizar la primera vuelta, se deberá establecer dicho grado como un límite de registro que simultáneamente mande el comando de pare hacia los motores. El análisis se vio reflejado en la siguiente imagen:

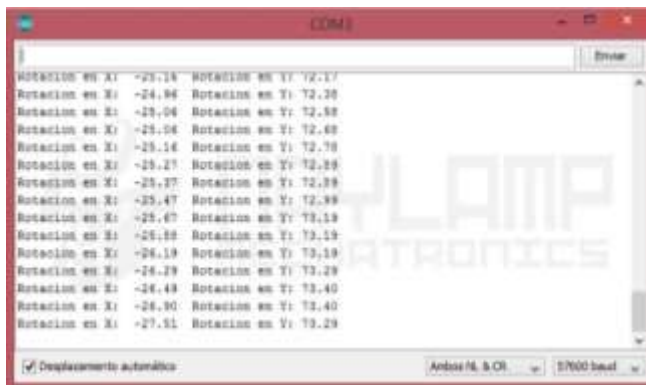


Fig.16 Rotaciones del módulo por el eje X e Y.

Una vez establecido el punto en el que el Arduino debe detener el giro del robot desinfectante, la función de giroscopio del MPU6050 cesará.

Una vez terminado el listado de comandos del Arduino, pasamos a simularlo en la plataforma de Simulink. Para ello, se debe descargar una librería especial llamada “Arduino-MPU6050 library pack” que se puede encontrar en la misma página oficial de Matlab. Con ello, podemos utilizar bloques que reflejen al MPU6050 y su conexión directa con el programa de Arduino, permitiendo visualizar mejor la oscilación de su velocidad angular a través de un gráfico [18].

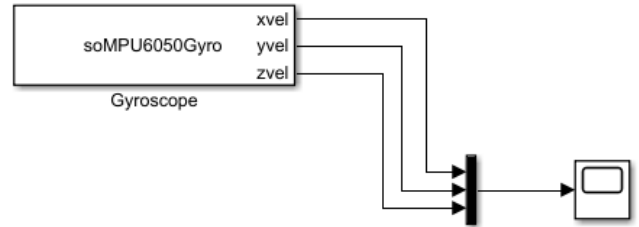


Fig.17 Esquema del MPU6050-Giroscopio en Simulink.

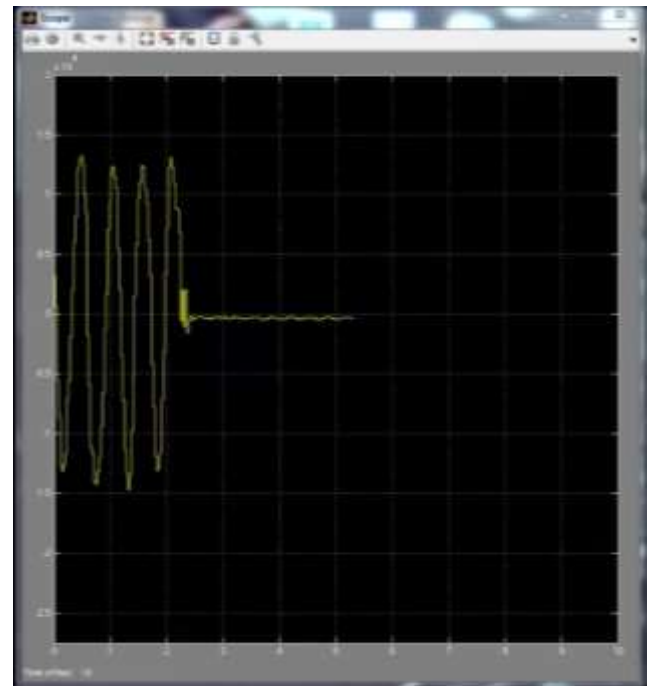


Fig.18 Gráfico de la velocidad angular del MPU6050.

Conociendo el valor que da el módulo en su posición de reposo dentro del cuerpo del robot desinfectante, podemos compararlo con el ángulo deseado para saber el valor del tiempo en el que se debe efectuar la vuelta en su mismo eje, además de posicionar correctamente al giroscopio. Tales valores son los que se les asigna a la programación inicial del Arduino para que el control de su movimiento sea ideal con la de los motores, aunque se debe tener presente la existencia de un Delay entre movimientos para el correcto desempeño de cada una de los comandos en el proceso automatizado. Finalmente, sumado a la alimentación de los motores que movilizarán las ruedas delanteras del robot, el Arduino almacenará el número de vueltas por medio de un contador hasta llegar al límite de dos.

III. CONCLUSIONES

El proyecto ha sufrido diversas modificaciones desde el momento de su concepción, optándose en una primera instancia como un sistema meramente automático. Sin embargo, se decidió que tendría un sistema de control el cual permita que el robot desinfectante pudiera movilizarse y girar en una superficie determinada. Al tratarse de un móvil, se tomará en consideración la adición de un sensor de proximidad que evite el choque contra la pared trasera del vehículo o una grada en la parte delantera del bus, con la que pudiese detenerse para evitar la colisión. Además, una cámara a tiempo real que deje ver el frente del robot y control remoto por bluetooth que permita conducirlo manualmente también sumaría a un mejor desempeño del mismo.

A causa de la actual pandemia que ha puesto en crisis nuestro sistema sanitario a nivel nacional, todos los datos y diseños recabados en este trabajo han surgido a partir de simulaciones realizados en computadora, por lo que pueden sufrir una modificación si es que llegasen a implementarse.

IV. REFERENCIAS

- [1] Deloitte Ecuador. 2020. El Impacto Económico De COVID-19 (Nuevo Coronavirus). [online] Available at: <<https://www2.deloitte.com/ec/es/pages/strategy/articles/el-impacto-economico-de-covid-19--nuevo-coronavirus-.html>> [Accessed 15 August 2020].
- [2] Who.int. 2020. Orientaciones Para El Público. [online] Available at: <<https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>> [Accessed 2 May 2020].
- [3] "Emergencia por COVID-19: Robot desinfecta con luz ultravioleta - ATV", ATV, 2020. [Online]. Available: <https://www.atv.pe/actualidad/robot-desinfecta-con-luz-ultravioleta-411720>. [Accessed: 28- Apr- 2020].
- [4] "Blue Ocean Robotics - We Create and Commercialize Robots", Blue-ocean-robotics.com, 2020. [Online]. Available: <https://www.blue-ocean-robotics.com>. [Accessed: 06- Jan- 2018].
- [5] F. Size, F. Size and B. WIRE, "Blue Ocean Robotics and its UVD Robots Recognized as Top 50 Most Influential Robotics Company by Robotics Business Review", Businesswire.com, 2020. [Online]. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20200615005010/en/Blue-Ocean-Robotics-UVD-Robots-Recognized-Top>. [Accessed: 08-May- 2019].
- [6] N. Perú and R. Gestión, "Rayos ultravioleta para desinfectar los autobuses en China", Gestión, 2020. [Online]. Available: <https://gestion.pe/mundo/coronavirus-rayos-ultravioleta-para-desinfectar-los-autobuses-en-china-noticia/>. [Accessed: 26- May- 2020].
- [7] "Tipos de luces UV « Blog Meetthings. Artículos sobre nuestros proyectos, nuestros productos y las últimas tendencias.", Meetthings.com, 2020. [Online]. Available: <https://meetthings.com/blog/index.php/12-04-2020/tipos-de-luces-uv/>. [Accessed: 07- Jul- 2018].
- [8] "MPU6050 Arduino, Acelerómetro y Giroscopio - HETPRO/TUTORIALES", HETPRO/TUTORIALES, 2020. [Online]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/modulo-acelerometro-y-giroscopio-mpu6050-i2c-twi/#:~:text=El%20MPU6050%20es%20un%20sensor,mediciones%20en%20el%20monitor%20serial>. [Accessed: 04- Oct- 2016].

- [9] "What is Arduino?", Arduino.cc, 2020. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction/>. [Accessed: 05- Feb- 2018].
- [10] "¿Qué es SolidWorks? - ADR Formación", ADRformacion.com, 2020. [Online]. Available: https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/_que_es_solidworks_.html. [Accessed: 22- Nov- 2017].
- [11] "Simulink - Simulación y diseño basado en modelos", La.mathworks.com, 2020. [Online]. Available: <https://la.mathworks.com/products/simulink.html>. [Accessed: 16- Apr- 2018].
- [12] "Motor Y Reductor Trifásico Con Freno 1/2 Hp - US\$ 455,00", Artículo.mercadolibre.com.pe, 2020. [Online]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-439709136-motor-y-reductor-trifasico-con-freno-12-hp-_JM?quantity=1#position=9&type=pad&tracking_id=a964c487-2606-49d0-86a6-72a8c36e97f1&is_advertising=true&ad_domain=VQCATCORE_LST&ad_position=9&ad_click_id=OGIOZDdjYjktYTI4Ny00YTdhLTk2MTQtN2U5MGViMWY3ZWY5. [Accessed: 15- Sep- 2020].
- [13] "Qué es la luz UVC que se utiliza en algunos países para eliminar el coronavirus de superficies (y qué riesgos conlleva)", BBC News Mundo, 2020. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-52626354#:~:text=Y%2C%20finalmente%2C%20está%20la%20ult ravioleta,la%20superficie%20de%20la%20Tierra>. [Accessed: 12- May- 2020].
- [14] "Tutorial MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio", Naylampmechatronics.com, 2020. [Online]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/45_Tutorial-MPU6050-Acelerómetro-y-Giroscopio.html. [Accessed: 05- Feb- 2018].
- [15] "Configurar el MPU6050. – Electrónica Práctica Aplicada", Diarioelectronicohoy.com, 2020. [Online]. Available: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/configurar-el-mpu6050>. [Accessed: 18- Mar- 2019].
- [16] S. Londoño, "Tutorial: Modulo MPU6050 GY-521 Acelerometro y giroscopio con Arduino UNO – SomosMakers.cl", Somosmakers.cl, 2020. [Online]. Available: <https://www.somosmakers.cl/tutorial-modulo-mpu6050-gy-521-acelerometro-y-giroscopio-con-arduino-uno/>. [Accessed: 15- Aug- 2020].
- [17] "Rotational Quantities", Hyperphysics.phy-astr.gsu.edu, 2020. [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/rotq.html>. [Accessed: 25- May- 2016].
- [18] "MPU6050", Arduinolibraries.info, 2020. [Online]. Available: <https://www.arduinolibraries.info/libraries/mpu6050>. [Accessed: 12- Mar- 2018].