

# Diseño e implementación de Robot Omnidireccional Orientada a la Distribución en Establecimientos Sanitarios

Marcelo Quispe Ccachuco, Dr.<sup>1</sup>, Cesar Castillo Cáceres, Msc.<sup>2</sup>, and Rocio Zevallos Zegarra Bach.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Católica de Santa María, Perú, mquispec@ucsm.edu.pe

<sup>2</sup>Universidad Católica de Santa María, Perú, ccastill@ucsm.edu.pe

<sup>3</sup>Universidad Católica de Santa María, Perú, 74629149@ucsm.edu.pe, rociomercedes.zevallos.zegarra@gmail.com

*Resumen– El presente trabajo de investigación, tiene por finalidad plantear y dar a conocer algunos de los avances del diseño e implementación de un robot omnidireccional orientado a transporte de carga o mercadería (insumos, alimentos, medicinas, balones de oxígeno, etc.) dentro de un centro de salud. Veremos los diferentes procesos utilizados para validar, construir y probar nuestro proyecto. Así mismo, se mostrara algunos resultados preliminares de las primeras pruebas y simulaciones realizadas. También se detallaran las premisas consideradas para este proyecto y detalles técnicos operativos. Se pretende enfatizar, el alto impacto que este proyecto podría tener en la emergencia sanitaria y nuestra propuesta de mejora enfocada al modo de operación remota, además de la implementación de un sistema de guiado o enseñanza para el robot.*

*Palabras claves: Robot omnidireccional, emergencia sanitaria, operación remota.*

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día los protocolos de bioseguridad se han tornado muy exigentes, por lo cual, es necesario investigar nuevas formas de garantizar la seguridad del personal sanitario. Así mismo, durante la pandemia, se ha incrementado el uso de balones de oxígeno. Los cuales son clave para el tratamiento de pacientes COVID-19. Por lo cual, es vital hallar nuevas formas de transportarlos, reduciendo las dificultades, costos y el deficiente aprovechamiento del personal de salud (Médicos, Enfermeros, Técnicos, entre otros). En el Perú, no hay personal sanitario suficiente, que pueda trasladar insumos, medicinas, equipo y materiales necesarios para tratar a los pacientes; a la vez, que puedan estar al pendiente y monitorearlos.

En muchos países, han surgido diferentes soluciones a estos problemas mediante la robótica móvil. Se han visto, robots que llevan, de manera automática, comida e insumos a pacientes COVID, así como también, hay casos de robots que los monitorean. Por ello, es que hemos decidido realizar e impulsar este proyecto, dado que estamos conscientes que podría generar un impacto positivo en nuestra sociedad Y ayudar en la noble misión de salvar vidas.

El impulso omnidireccional es una tendencia desafiante popular en la robótica móvil de hoy en día, donde se han involucrado diferentes áreas como enjambres, humanoides,

patas, basados en trenes, submarinos, vuelos aéreos y robótica móvil con ruedas, esto resume mucho la situación al día de hoy en el avance de la robótica, la cual ya es fundamental en diversas áreas [1].

Ya en 2016 el autor Pablo Ramírez Rodríguez y Adrián Campos Siurana en 2018 nos acercan al modelado y las simulaciones en robots omnidireccionales diciendo que se permite entonces crear un sistema de control que establezca una conducta deseada, lo cual se puede implementar alguna labor para colaborar con los humanos en varias tareas, lo cual ya se nota cada vez más a menudo, robots exploradores de ductos, en el área militar, en el área espacial e incluso en productos disponibles para cualquier hogar como las ya conocidas aspiradoras robot [2][3].

En cuanto al uso de este tipo de equipamiento en instalaciones médicas Faruk y Stanislav nos dan un mejor alcance especialmente durante épocas de uso continuo de servicios médicos recalcando la importancia de la interacción de pacientes Covid-19 con personal de salud y por ende la necesidad de equipamiento que evite el contacto físico lo máximo posible. El uso de pequeños sistemas robóticos para distribución y envío es un área no muy explorada en la actualidad, siendo muy pocas instituciones las que hacen uso de esto [4].

En cuanto al control, A. Ortega realiza un trabajo muy similar al planteado en este trabajo mediante su algoritmo de control para un robot omnidireccional de 3 ruedas, esto da las pautas para hacer un seguimiento preciso a un robot omnidireccional [5].

## II. PROCESO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT OMNIDIRECCIONAL

### II.1. Requerimientos Pre liminares:

Para la construcción del robot, se realizó una serie de tareas y procesos, los cuales se detallan a continuación y se clasifican acorde al orden de ejecución.

### A. Determinar las Exigencias y Requerimientos

El robot debe transportar una carga (Balones de oxígeno con una capacidad de 6 m<sup>3</sup> a 10 m<sup>3</sup> y/o cajas con medicinas, alimentos, insumos, EPP, entre otros elementos) desde un punto a otro dentro de un centro de salud (Hospital, clínica, posta médica, entre otros). Con la finalidad de apoyar a nuestro sistema de salud, agilizando y optimizando sus procesos logísticos. Es necesario implementar un control, mediante el cual se reduce las posibilidades de colisión dentro del centro de salud y el daño a la mercadería sobre la plataforma del robot. Así mismo, se debe considerar la implementación de procesos de automatización. Toda la operación y manejo de ser realizado mediante una interfaz amigable, tele operada y sostenible en el tiempo.

### B. Características del Robot Omnidireccional

#### 1. Estructura de Soporte:

Se planteó fabricar la estructura del chasis con acero A36 (Vigas en V y tubos cuadrados) la cual ha de soportar encima un peso máximo de 150 Kg. Además, este chasis debe tener en su interior un compartimiento para la parte electrónica (Sensores, Micro controladores, puente H, sensores, cableado, baterías, placas, entre otros). La estructura superior, debe ser hecha con Acero Inoxidable, esto por sus propiedades y normas sanitarias. Para un acabado estético, contaremos con guardas hecha con impresión 3D y acrílico.

#### 2. Dosificación:

Buscamos un desplazamiento homogéneo, con una velocidad constante de máximo 2 m/s. Debe trasladar carga en general, por una ruta que se delimite previamente.

#### 3. Sensores:

Por medio de estos, se realizan rutinas de protección o anti colisión. Esto con la finalidad que no produzca un accidente o algún tipo de daño dentro del establecimiento de salud.

#### 4. Programación:

Para realizar el código, se segmentó por fases o sistemas:

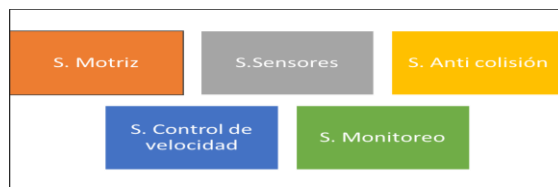


Fig. 1 Sistemas que componen al robot del proyecto.

Cada una de estas fases son parte de un sistema integral, que realiza el control y automatización del robot.

### C. Proceso de Diseño

Dado las exigencias y características, se realizó los primeros bosquejos y diseños por medio de software.

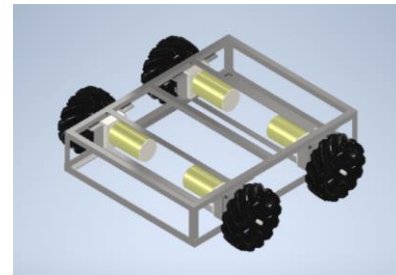


Fig. 2 Modelado 3D y ensamblaje de la estructura base del robot

En base a los materiales definidos previamente, ese realizó el modelado 3D del chasis, tal como se ve en la Fig.2. Las dimensiones de los elementos, se obtuvieron de catálogos y archivos CAD de distribuidores.

Sobre las ruedas omnidireccionales y motores, al realizar sondeo al mercado local, definimos cuales serían los modelos a utilizar. Luego se realizó el modelamiento de estos, para posteriormente ensamblarlos en conjunto a la estructura del chasis.

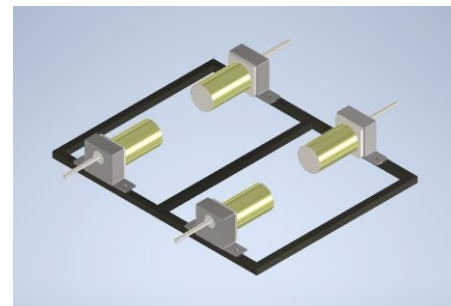


Fig. 3 Modelamiento de motores

Se diseñaron las guardas con las medidas reales de los sensores, para así realizar una correcta distribución y posición de estos. Una vez ensamblados, los soportes con la estructura, se insertan los sensores infrarrojos E18 D80NK. El diseño 3D de estos, los obtuvimos del fabricante. Esto se puede observar en la Fig.4.

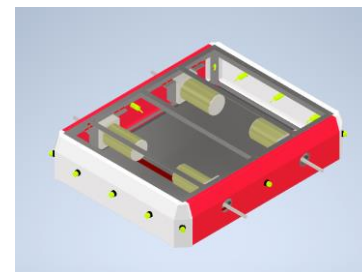


Fig. 4 Ensamblaje de estructura de chasis, sensores infra rojos, motores y los protectores de seguridad.

**D. Simulación:**

Mediante la interfaz de análisis de Tensión de Inventor, realizamos una simulación con una carga puntual encima de la plataforma. Se coloca una fuerza en medio de la plancha superior de soporte.

Como parte de las condiciones iniciales, son:

Tabla 1. Valores Iniciales

Fuerza	
Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	981.000 N
Vector X	-0.000 N
Vector Y	-981.000 N
Vector Z	0.000 N

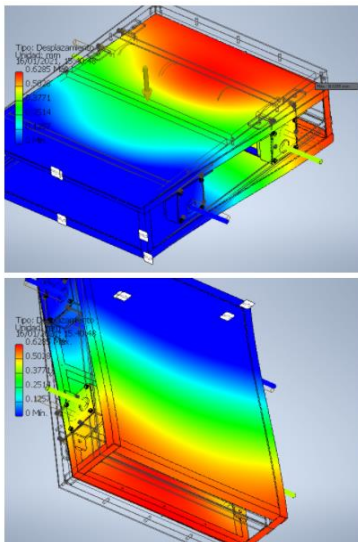


Fig. 5 Análisis de la estructura

Como resultados obtuvimos:

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	981 N	0 N 981 N 0 N	296.139 N m	0 N m 0 N m -296.139 N m

Fig. 6 Resultados de la simulación

Nuestra estructura es capaz de resistir hasta más de 100 Kg encima de la plataforma.

**II.2. Construcción del Robot Omnidireccional:**

Entre los componentes seleccionados, optamos por utilizar Motores DC. Ver Fig.7.



Fig. 73 Motor DC

Referente a las ruedas, se realizó un nuevo diseño, el cual se manufacturo con impresión 3D (FDM) con Material PLA.



Fig. 8 Rueda Omnidireccional impresa en 3D

Para la construcción de la estructura del chasis, en base al modelo 3D realizado, se ejecutó el proceso de ensamblaje las piezas metálicas, como de los componentes eléctricos y electrónicos. Esto se parecía en la Fig.9.

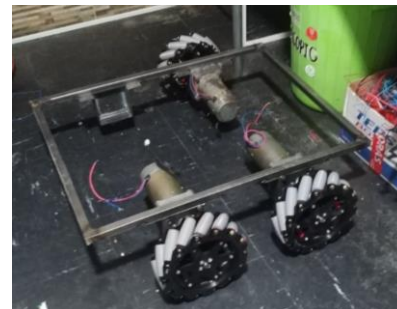


Fig. 9 Ensamblaje de las ruedas omnidireccionales con sus motores

Se realizó un circuito básico, para el cual se usó un Arduino Due, 4 Módulo Puente H BTN7960B y 2 baterías de 12 V. A partir de la segunda prueba, se obtuvo un desplazamiento prolijo, fluido, sin presentar problemas al mover las ruedas del robot Omnidireccional. Ver Fig.10.

Como resultado final, obtuvimos un chasis metálico robusto. Listo para montar el resto de componentes y realizamos nuevas pruebas, códigos de programación y optimización.



Fig. 10 Estructura Metálica completa con componentes electrónicos

Mediante software se diseñó una placa de circuito impreso, para optimizar la conexión de todos los componentes.



Fig. 114 Implementación del circuito de control del robot Omnidireccional



Fig. 125 Robot Omnidireccional Completo

#### II.4. Programación y Modelamiento Matemático:

Para realizar la programación utilizamos un código, en el cual empleamos un control PID. Con ello buscamos regular el desplazamiento (Velocidad, desplazamiento fluido, Movimiento homogéneo).

Se desea, también, implementar una interfaz amigable para la configuración y control. Por ello, se plantea 2 modos de uso:

- Modo 1: Interfaz de control mediante el uso de Matlab y Arduino IDE
- Modo 2: App de control y configuración

El primer modo de uso, se realizó con el siguiente código, Ver Fig.14. Con este podemos obtener 2 ventanas con gráficas. En la primera, una simulación del desplazamiento del robot. En ella se aprecia la trayectoria que sigue el robot durante un tiempo determinado. Ver Fig.13.

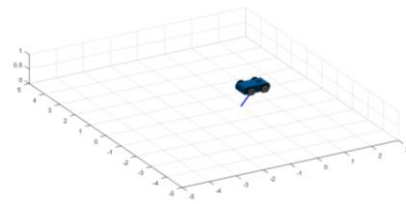


Fig. 13 Primera ventana - Simulación del desplazamiento del robot

El robot describe en la Fig.13, una trayectoria, que se obtiene de las modificaciones de ciertos parámetros y valores. Esto se puede apreciar en las siguientes líneas de código:

```

1 -   c1c
2 -   clear all
3 -   close all
4
5   % Time
6   ts=0.1; %segundos
7   t=0:ts:5; % segundos
8
9   %Velocidades: (Para controlar el robot tenemos esas velocidades
10  ur=0.2*ones(1,length(t));%velocidad frontal -> Ejm. 0.2 modulo de la vel (m/s)
11  ul=0.2*ones(1,length(t));%velocidad lateral
12  w=0*ones(1,length(t)); %velocidad angular -> vector escalón de puros 1
13  %El robot se desplaza segun la conbinacion que usemos
14  %-----

```

Fig. 14 Fragmento de código en Matlab

En las líneas número 10, 11 y 12 podemos modificar los valores y cambiar la trayectoria. Así mismo, en las líneas 6 y 7 podemos cambiar el periodo y obtener una respuesta de mayor o menor duración. Parte de la razón de usar este código, es obtener una gráfica en la cual podemos calcular las velocidades, estas tiene como unidad. Cómo se puede apreciar en la Fig.15.

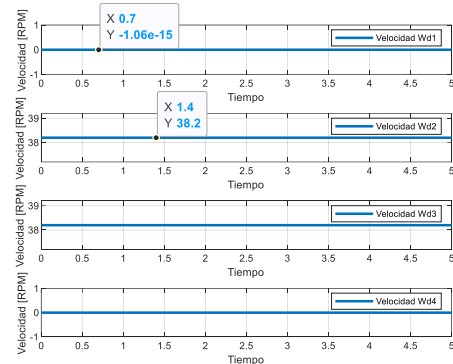


Fig. 15 Segunda ventana - Velocidades de cada rueda

Esta data, la colocaremos en nuestro código de Arduino, en las líneas 7, 8 y 9. En la Fig.16 podemos apreciar un fragmento del código con las líneas indicadas.

```

1 const byte n=4; //cantidad de ciclos, misma cantidad de element
2 volatile int CONTADOR[4]={0, 0, 0, 0}; // variable global CONTADOR
3 int ANTERIOR[4]={0, 0, 0, 0}; // variable para determinar si el valor de CONTADOR
4 double velocidad_encoder[4]; //rpm
5 int velocidad_motor[4]; //salida pwm
6 int j=0;
7 double velocidad_setpoint[n][4]={{(7, 7, 7, 7), // Ratras, Radelante, Latras, Ladelante
8 (-7, 7, 7, -7),
9 (-7, -7, -7, -7),
10 (7, -7, -7, 7)};
11 unsigned long tiempo_inicio;
12 unsigned long tiempo_ciclo[4]={5000, 8000, 13000, 16000};
13
14 int pin_motor[4]={4, 6, 8, 10};
15 int pin_sensor[4]={24, 28, 32, 36};
16 bool sensor[4];
17 int buzzer=53;
18 double Kp=10, Ki=0.001, Kd=5;
19 unsigned long currentTime[4], previousTime[4];
20 double elapsedTime[4];
21 double error[4], lastError[4], cumError[4], rateError[4];

```

Fig. 16 Fragmento de código en la interfaz de Arduino IDE

Para configurar el set point de la velocidad, hemos tomado como referencia la Ecuación 1.

Ecuación 1. Velocidad Angular de cada una de las ruedas

$$\begin{bmatrix} W_{d1} \\ W_{d2} \\ W_{d3} \\ W_{d4} \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -(a+b) \\ 1 & 1 & (a+b) \\ 1 & 1 & -(a+b) \\ 1 & -1 & (a+b) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} uf \\ ul \\ \omega \end{bmatrix}$$

Para la nuestro PID, en las línea 18 estamos colocando valores a nuestras constantes Kp, Ki y Kd. Empleamos los siguientes valores:

Tabla 2 . Valores asignados a las contantes del control PID

Constante	Valor
Kp	10
Ki	0.001
Kd	5

Estos valores fueron hallados mediante un proceso heurístico. Siendo estos los valores los de mejores resultados.

Para el modo de uso 2, utilizamos la aplicación Arduino Car. Ya que era capaz de conectarse con nuestro robot mediante un módulo Bluetooth y tenía diferentes opciones para configurar la interfaz con nuestras exigencias. Ver Fig.17



Fig. 17 Control del robot Omnidireccional por medio del App

Con esta interfaz, es posible controlar el robot manualmente (proceso muy similar al de un auto RC). Dichos movimientos, trayectorias y tareas, se pueden grabar para una

posterior repetición. Es decir, el usuario es capaz de enseñarle al robot las tareas, que debe realizar de manera repetitiva, en un periodo y a una velocidad determinada.

#### II.4. Medidas de Seguridad:

Como medidas de seguridad se debe garantizar que no haya posibles colisiones. Se han colocado 12 Sensores Infrarojos, los cuales han de monitorear si hay una persona u objeto aproximándose. Si el robot detecta algo en un ratio de 50 cm, procede a detenerse y emite una señal de alerta. Con el fin de avisar a las personas que se encuentran cerca que no puede continuar con su recorrido si lo sigue detectando.

### III. RESULTADOS OBTENIDOS

Logramos construir un robot omnidireccional capaz de trasladar una carga de hasta 150 Kg, ser controlado y/o configurado mediante un App y la Interfaz Matlab-Arduino. Además de contar con un sistema de seguridad integrado, lo cual permite usarlo sin riesgos. Como se puede apreciar en las fotografías (Ver Fig.12, Fig.17 y Fig.18).



Fig. 18 Test de traslación de la plataforma con una persona (60 Kg)

### IV. CONCLUSIONES

En este artículo se ha mostrado todo el proceso realizado para el diseño, construcción y funcionamiento de un robot omnidireccional tele operado, con la capacidad de ejecutar las tareas de manera automática. Este proyecto aún se encuentra en fase de optimización, con cual creemos que mejoraremos su performance.

#### REFERENCIAS

- [1] H. Taheri, C. XiaZhao, "Omnidirectional mobile robots, mechanisms and navigation approaches", "ScienceDirect Mechanism and Machine Theory", pp. 1-15, Noviembre 2020.
- [2] P. Ramírez Rodríguez, "Modelado y simulación del robot omnidireccional de 4 ruedas secas a 90 grados", Proyecto de Investigación – Proyecto Eléctrico, Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio", Costa Rica, 2016
- [3] A. Campos Siurana, "Diseño e implementación de un vehículo de cuatro ruedas omnidireccionales", Gdo. tesis, Universidad Politécnica de Valencia, VLN, España, 2018.
- [4] F. Seyitoğlu, S. Ivanov, "A conceptual framework of the service delivery system design for hospitality firms in the (post-)viral world: The role of service robots", "ScienceDirect International Journal of Hospitality Management", vol. 91, pp. 1-10, Octubre 2020.

A. Ortega Antón, "Algoritmo de Control de un Robot Omnidireccional de Tres Ruedas", M.S. tesis, Universidad Politécnica de Madrid, Mad., España, 2019.