

# SISTEMA ROBÓTICO COLABORATIVO ENFOCADO A TAREAS DE EXPLORACIÓN Y RESCATE

*Data de aceite: 01/11/2023*

**Aguilera Hernández Martha Isabel**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

**José Antonio Rodríguez Cano**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

**Aguilera Hernández Raúl Francisco**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

**Alberto de Jesús Andrade Jiménez**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

**Olivares Caballero Daniel**

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo

**RESUMEN**— En este artículo se presenta un sistema robótico colaborativo para tareas de exploración y rescate. Consiste en un robot principal con capacidades de movimiento que puede usarse en terrenos no convencionales como escombros de terremotos. El robot principal tiene comunicación con un humano que está instalado en un lugar seguro. El robot cuenta con una cámara con un software de

reconocimiento de imágenes que permite enviar imágenes al humano para la toma de decisiones. Además, contiene un software de mapeo para rastrear todo el movimiento realizado. El robot principal cuenta con un conjunto de sensores que le permiten enviar datos de temperatura, nivel de CO<sub>2</sub>, humedad y luz. Un pequeño robot se coloca dentro del robot principal. Este robot tiene la misma capacidad de sensores que el robot principal. Este robot también está en comunicación con el humano. El objetivo principal de este robot es que se puede utilizar para meterse entre los escombros. Al ser pequeño le permite entrar en lugares a los que el robot principal no tendría acceso. Este documento pretende mostrar la forma en la que funciona el sistema robótico. También muestra la concepción de ideas, prototipos y su construcción.

**PALABRAS CLAVE** – Robot principal, colaborativo, robot de exploración, robot de rescate

**ABSTRACT**— In this article, a collaborative robotic system is presented for exploration and rescue tasks. It consists of a main robot with movement capabilities that can be used in non-conventional terrains like earthquake debris. The main robot has communication

with a human that is installed in a safe place. The robot has a camera with an image recognition software that enable to send images to the human for decision making. Also, has a mapping software to trace all the movement made. The main robot has a set of sensors that allow to send data of temperature, level of CO<sub>2</sub>, humidity, and light. A small robot is place inside the main robot. This robot has the same sensors capability as the main robot. This robot is also in communication with the human. The main purpose of this robot is that it can be used to get into the debris. Being small allows it to enter places that the main robot would not have access to. This document aims to show the way in which the robotic system works. Also shows the conception of ideas, prototypes, and its construction.

## 1 | INTRODUCCIÓN.

El advenimiento de la aplicación de los conceptos de industria 5.0 enfatiza que debe estar centrado en el humano además de ser sostenible [10], ha proporcionado directrices para incorporar opciones en el diseño de proyectos. Una de las áreas de aplicación es la implementación de sistemas para exploración y rescate en zonas de desastre. Cuando se presentan los desastres, gran parte de los escombros constituyen ambientes inseguros para ser explorados por el ser humano. Por esta razón, la aplicación de la robótica móvil como un medio de exploración de este tipo de ambientes se ha generalizado. Hay proyectos muy amplios como el desarrollado por Kruijff y su equipo [4], en el cual se presenta un sistema inteligente que cuenta con un robot principal y un dron. El cual en conjunto están retroalimentando la información de mapeo para usuario usando inteligencia artificial. En este trabajo se presenta un sistema para exploración y rescate en zonas de desastre o zonas de difícil acceso para el ser humano. Estas áreas de difícil acceso pueden ser también cuando el desastre es producido por el humano, como el manejo de la basura. El sistema propuesto consta actualmente de un robot principal y dos robots colaborativos pequeños los cuales al iniciar la búsqueda se encuentran dentro del robot. Conforme se avance en la exploración y el robot principal detecte zonas en las cuales le es imposible el acceso por su tamaño, puede entonces realizar la salida de los robots pequeños exploradores. El robot principal cuenta con un sistema sensorial para detectar CO<sub>2</sub>, % de iluminación, cámara, detección de distancia y mapeo. Los robots pequeños colaborativos cuentan con el mismo sistema sensorial, los cuales son retroalimentados a los usuarios humanos situados fuera del área de peligro.

El presente artículo presenta los avances del proyecto en curso sobre el desarrollo de un sistema robótico colaborativo para ser utilizado en aplicaciones de exploración y rescate. Este trabajo presenta lo siguiente:

- a) El diseño de los prototipos robóticos móviles para ser parte del sistema con comunicación con el ser humano experto local y a la vez, comunicarse con expertos externos al área.
- b) El efecto de la retroalimentación del sistema sensorial de cada robot para

la toma de decisiones por parte de los expertos. Así como identificar tiempo de respuesta para que el robot reciba las acciones de control que le permitan realizar los movimientos acordes a la situación que se le presente.

c) La consideración de sostenibilidad en la decisión de los componentes que conforman los robots del sistema.

En el presente documento se detalla la evolución del proyecto, que inició con un solo prototipo enfocado a tareas de rescate a un sistema con robots colaborativos que permiten el acceso a lugares más pequeños en zonas de desastre o ambientes de difícil acceso para el ser humano.

## 2 | EVOLUCIÓN DEL DISEÑO CONCEPTUAL DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA.

El robot principal del sistema robot explorador y de rescate ha pasado por tres fases que se muestran en la figura 1. Se puede identificar como inicio el desarrollo del concepto de prototipo que pueda moverse en terrenos disperejos. En el trabajo realizado por este equipo en los años anteriores [1], se enfocó a obtener un prototipo que pudiera adaptar su movimiento a diferentes tipos de terrenos, así como la de subir y bajar escaleras.

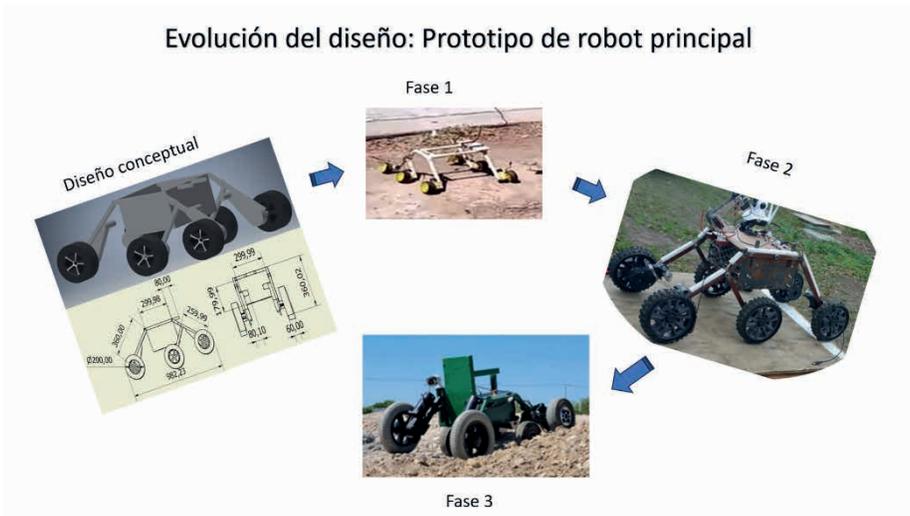


Figura 1: Fases de evolución del prototipo principal

La primera parte del diseño del sistema colaborativo en conjunto se enfocó al diseño de un prototipo robot principal, para analizar su desempeño en el movimiento en diferentes superficies, así como en escalera. Este robot fue implementado inicialmente con materiales reutilizados de PVC y cartón corrugado (figura 1, fase1). Este robot cuenta con seis ruedas, en cada una de ellas utiliza motores DC de 3V. Esto permite que cada motor pueda ser controlado independientemente y se adapten a más puntos en la superficie sobre la que se

desplace el prototipo. En este diseño se pudo observar que el mecanismo de movimiento permite al prototipo-robot adaptarse a terrenos disparejos sin perder la estabilidad. A pesar de tener un centro de masa alto, no presentó problemas de movilidad en las pruebas a las que fue sometido como terreno disparejo y subida y bajada de escalera. La figura 2, presenta los resultados del robot en la prueba de movimiento en escalones.

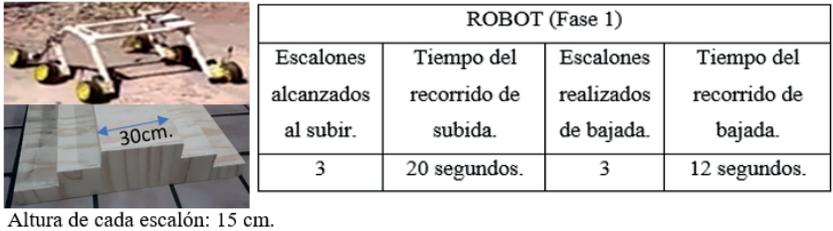


Figura 2: Resultados de prueba de movimiento en escalera

La implementación de este prototipo (fase 1) comprobó la viabilidad del control de movimiento del prototipo tanto de forma autónoma como de forma remota. Con estos resultados se procedió a la fase 2 de diseño. Se sustituyó PVC ya que no es factible para la aplicación de zonas de desastre debido a que no puede resistir impactos, además el prototipo debe ser capaz de cargar elementos de primeros auxilios como agua y medicinas. Así que se requería que el material del robot fuera más resistente. Para la fase 2, se utilizó material Perfil Estructural de 3/4" (PTR), que es un material metálico cuadrado hueco con alta resistencia. Los elementos para implementación del prototipo de la fase 2 se muestra en la figura 3.

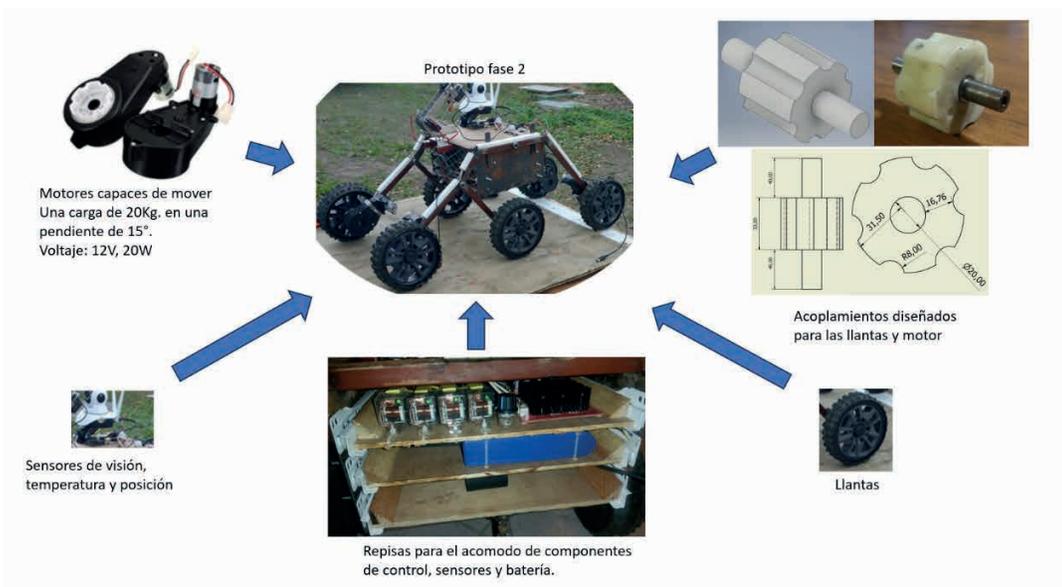


Figura 3: Elementos de la implementación del prototipo de la fase 2

El prototipo resultado de la fase 2 permite un espacio y una robustez para el montaje de componentes, como lo son brazos robóticos, sensores, módulos de control y sistemas de visión. El compartimento se diseñó de modo que estuviera protegido ante impactos. En resumen, en el prototipo de la fase 2 se resaltan los siguientes aspectos:

- El prototipo cuenta con seis ruedas con sus motores controlados independientemente. Esto permite la adaptación en más puntos en la superficie de desplazamiento.
- Se cuenta con un mecanismo de escuadras frontales con cuatro llantas en sus extremos finales. Las escuadras tienen un movimiento independiente que permite a la estructura mecánica adaptarse a la forma del obstáculo sobre el que se desplaza. Se tiene un tercer grado de libertad con un movimiento independiente en una lateral de la estructura mecánica. Este movimiento permite al prototipo una estabilidad en ambas secciones laterales. Las uniones de las articulaciones con movimiento independiente están unidas por medio de baleros entre cada escuadra.
- La estructura cuenta con unas repisas con rieles para la circuitería, baterías, controladores y módulos de potencia. También el diseño permite el posicionamiento de un brazo robótico y el sistema de visión. La implementación de rieles en las repisas permite el acceso a componentes de una forma más rápida.
- Del análisis de los componentes del prototipo se obtuvo que la estructura mecánica tendría un peso aproximado de 20 kilogramos y las ruedas requeridas tuvieran un radio de 11 centímetros. Por lo que se seleccionaron los motores que se muestran en la figura 3.
- Para el control de giro de los motores se optó por una configuración de puente H con relevadores de potencia utilizados por los automóviles. Los relevadores utilizados son de 40 amperes a 12 volts, equivalente a 480 watts de potencia. El PWM utilizado fue el XY-1260.

**Pruebas del prototipo de la fase 2**



<b>PRUEBA: SUBIR ESCALERAS</b>	
	Tiempo del recorrido del robot (subir 5 escalones completos).
Tiempo promedio.	31.6 segundos.

<b>PRUEBA 1. TERRENO LISO</b>	
	Tiempo del recorrido del robot (distancia de 5 metros horizontales).
Tiempo promedio.	8.4 segundos.
Velocidad promedio.	0.59 m/seg
<b>PRUEBA 2. TERRENO ESCABROSO</b>	
	Tiempo del recorrido del robot (distancia de 5 metros horizontales).
Tiempo promedio.	9.4 segundos.
Velocidad promedio.	0.53 m/seg
<b>PRUEBA 3. TERRENO ARENOSO</b>	
	Tiempo del recorrido del robot (distancia de 5 metros horizontales).
Tiempo promedio.	10.3 segundos.
Velocidad promedio.	0.48 m/seg

Figura 4: Resultados de las pruebas del prototipo de la fase 2

Los resultados de las pruebas de movimiento del robot se muestran en la figura 3. En estas tablas se pueden ver los tiempos promedio del movimiento del prototipo en tres tipos de terreno: Liso, escabroso y arenoso. La distancia del recorrido fue de 5 metros. Se tiene que la velocidad promedio considerando las tres pruebas es de 0.53m/seg. De los resultados se observa que el prototipo es más veloz cuando se desplaza sobre superficies lisas ya que requiere poco esfuerzo para adaptarse o moverse. Sin embargo, cuando éste se mueve a través de otros tipos de terrenos, las pruebas muestran una disminución del 10.17% (terreno escabroso) y 18.64% (terreno arenoso) en comparación con la velocidad que presenta en terrenos lisos. También se realizó la prueba con recorrido en escalera con 5 escalones. En esta prueba cada escalón tiene una altura 16 cm. y un paso de 25 cm. El tiempo promedio para subir los 5 escalones fue de 31.6 seg. Los resultados de estas pruebas mostraron la viabilidad del movimiento del prototipo en diferentes tipos de terrenos y ambientes. También, de estas pruebas, se pudo constatar que el prototipo requería una robustez cuando se tratara de ambientes reales de desastre. La observación de la tracción necesaria para poder mover el prototipo en esta fase fue aceptable, pero estaba limitado en peso. En casos de desastre se requiere que el robot sea capaz de cargar kits de emergencia por lo que se dio la tarea de implementar el diseño ya probado de la fase 2, en un robot que tuviera más capacidad de carga.

El prototipo implementado en la fase 3, se muestra en la figura 5. Este prototipo está

basado en su diseño en los prototipos de las fases 1 y 2. Se utilizaron 4 motores PIHSIANG de 24V de corriente directa, baterías de carro, y cable calibre 12 de uso rudo de 2 hilos.



Figura 5: Prototipo de la fase 3

Este prototipo fue implementado para cumplir con los estándares propuestos por el torneo de robótica “robocup rescue”. Se realizaron las pruebas de movimiento en los cuales se comprobó la eficiencia del diseño del mecanismo del prototipo. Ejemplo de las pruebas realizadas se muestran en la figura 6.



Figura 6: Pruebas del robot de la fase 3 en la competencia “robocup rescue mayor”

El prototipo de la fase 3, tiene incorporado un sistema sensorial para realizar la visión remota (cámara), la detección de temperatura, posición y CO2.

### 3 | SISTEMA COLABORATIVO CON ROBOT PRINCIPAL

Para poder incorporar mejoras en el prototipo 3, se realizaron análisis de los rescates realizados en desastres reales. Uno de los puntos detectados es la viabilidad del robot de poder llegar a diferentes lugares en los desastres. El robot de esta fase 3, tiene las capacidades de moverse en terrenos disparejos, pero tiene la desventaja de su tamaño. Por lo que se realizó la meta de incorporar prototipos pequeños colaborativos que pudieran entrar en los lugares en los cuales el robot principal no tiene acceso por su tamaño. El sistema propuesto se muestra en la figura 7. Consta de un robot principal y un robot auxiliar de menor tamaño. Cada uno de ellos cuenta con un sistema sensorial que les permite tomar información del ambiente en el cual se encuentran. Se tienen sensores de temperatura, CO2, humedad, luz, distancia, cámara para video y para reconocimiento de imágenes. En el campo de reconocimiento, se utilizan los microcontroladores el ESP32 CAM y el ESP32 WROOM. La cámara Sony Ipela HD, envía información de video de forma remota directamente a la computadora.

Todo el sistema se encuentra en comunicación remota con un equipo humano experto. El equipo humano experto cuenta con usuarios que se encargan del movimiento de los robots. Estos robots realizan su movimiento de acuerdo con las decisiones del equipo experto situado ya sea local o remoto. Esto permite en caso de desastres, en los cuales los expertos no pueden trasladarse a la zona de forma inmediata, pueden ayudar en la toma de decisiones basándose en la información que el sistema robótico de rescate le provee.

**Sistema robótico colaborativo propuesto**

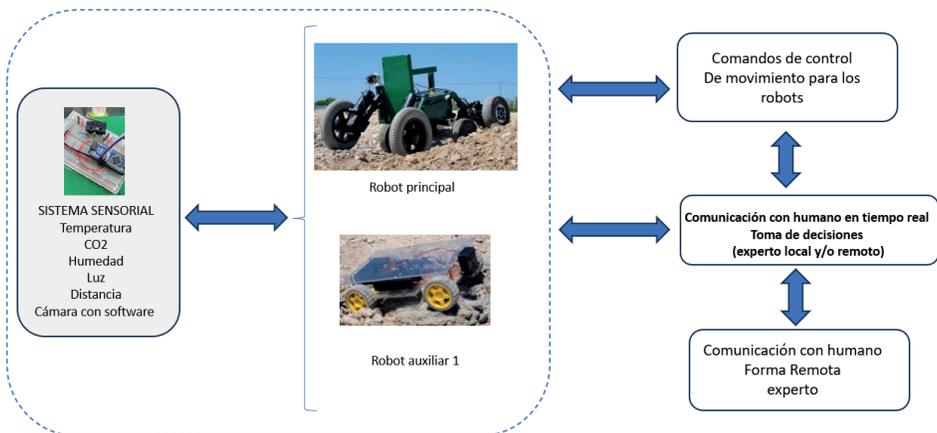


Figura 7: Sistema robótico colaborativo propuesto en este trabajo

El robot prototipo de la fase 3, fue modificado ya que se le añadió un área para almacenar en su interior al robot colaborativo auxiliar. También se le colocó una rampa que es controlada de forma remota para despliegue del robot auxiliar. Las modificaciones se

muestran en la figura 8. La rampa fue hecha con madera con un mecanismo de polea para el levantamiento de la rampa.



Figura 8: Prototipo de la fase 3 modificado con robot auxiliar colaborativo

El material que se usó para el prototipo de robot colaborativo auxiliar fue acrílico reutilizado. Para el sistema de movimiento se utilizó el driver L298N que controla cuatro motores reductores de 6V de corriente directa. El prototipo implementado se muestra en la figura 9.

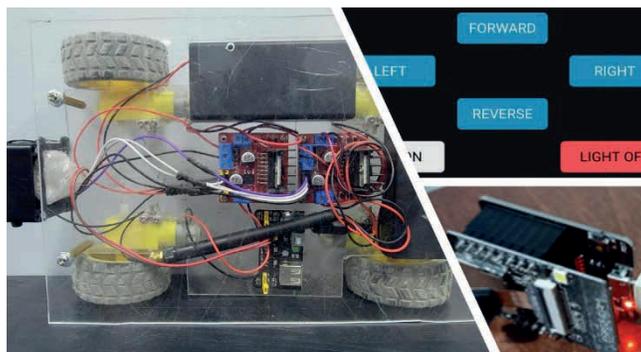


Figura 9: Prototipo de robot auxiliar colaborativo del sistema propuesto

Actualmente, se está incluyendo en el prototipo un sistema de recarga mecánica de energía. Es decir que las baterías se recarguen conforme el prototipo realice el movimiento. Esto extendería el tiempo de trabajo del prototipo antes de solicitar una recarga de batería. El prototipo actual manda una señal cuando tiene la batería suficiente para llegar a su posición inicial de despliegue.



Figura 10: Sistema robótico colaborativo

## 4 | CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó la evolución del diseño de un sistema de robots colaborativos para tareas de exploración y rescate. Los prototipos implementados son ejemplos de mecanismos asistenciales para el ser humano. También la incorporación de opción para que un usuario experto pueda intervenir en las decisiones de movimiento del robot para que la información que éste proporcione ayude a la actividad de rescate o exploración. Esto es muy importante, ya que conocer el ambiente en el cual se llevará a cabo el rescate es primordial para la toma de decisiones que permitan llevar a cabo estas actividades de manera mas segura para el ser humano. En la construcción de los prototipos se ha tomado en cuenta la sustentabilidad. Una parte de los materiales implementados en los robots han sido partes reutilizadas. Esto ha permitido que el costo de implementación de los prototipos no sea tan alto, pero conservando la viabilidad de su desempeño.

El presente proyecto pretende atender situaciones en las que el ambiente debido a desastres, presentan gran aleatoriedad y alto riesgo para el ser humano. La meta es lograr un conjunto de robots auxiliares que colaborando entre si puedan retroalimentar de forma rápida la situación o estado del ambiente al cual han sido enviados a explorar.

## REFERENCIAS

[1] Aguilera M., Algarín A. et al, “Diseño e implementación de estructura móvil enfocada a un robot de rescate”, Entre ciencia e Ingeniería 4, 2022 Atena Editora.

[2] Surbhi, Swathi Priya, Sowandarya, “Rescue Robot-A Study”, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 3, Special Issue 3, April 2014.

[3] Murphy R. “Human-robot interaction in rescue robotics”, IEEE transactions on systems, man and cybernetics, mayo 1,2004.

- [4] Geert-Jan M. Kruijff, "Designing Intelligent Robots for Human-Robot Teaming in Urban Search & Rescue", AAI Spring Symposium 2012.
- [5] Hermann L., "RobotIO: A Python Library for Robot Manipulation Experiments", ResearchGate, Julio 2022.
- [6] Atsushi Sakai, "PythonRobotics: a Python code collection of robotics algorithms", ARXIV, Agosto 2018.
- [7] Siegwart Roland, Reza Nourbakhsh, "Introduction to Autonomous Mobile Robots (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)", 2da. Edición, MIT 2011.
- [8] McComb G., "Constructing Robot Bases", Robot DNA Series. Mc. Graw Hill, 2004.
- [9] Aguilera Hdz; et al. "Evolución del diseño de un sistema de recolección de basura utilizando manufactura aditiva en un robot limpiador de playa", Revista de Ingeniería Tecnológica, septiembre, 2019 Vol.3 No.11 23-28.
- [10] European Commission, "Industry 5.0", [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en).
- [11] Saputra Roni et al., "ResQbot 2.0: An Improved Design of a Mobile Rescue Robot with an Inflatable Neck Securing Device for Safe Casualty Extraction", Applied Sciences, 10 June 2021.
- [12] Hermann Lucas et al. "RobotIO: A Python Library for Robot Manipulation Experiments", ArXiv, 27 de julio del 2022.
- [13] Matthies Denys et al., "LoomoRescue: An Affordable Rescue Robot for Evacuation Situations", Segway, 2021.
- [14] Ning Meng et al, "Design and analysis for a multifunctional rescue robot with four-bar wheel-legged structure", Sage, Advances in Mechanical Engineering 2018, Vol. 10(2) 1–14
- [15] Sudha S et al., "Rescue Robot for Human Detection", International Journal of Research Publication and Reviews Vol(2) Issue (7) (2021) Page 1046-1049.