



Preparación de Artículos revista VISIÓN ELECTRÓNICA: algo más que un estado sólido

Fecha de envío:

Fecha de recepción:

Fecha de aceptación:

## **ROBOT MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y EXTINCIÓN DE CONATOS DE INCENDIO 'VULCANOBOT' MOBILE ROBOT FOR THE DETECTION AND EXTINCTION OF FIRE CONATES 'VULCANOBOT'**

**Sandra J. Sandoval\* Boris A. Peralta\*\* Willson Infante\*\*\***

**Resumen:** En el siguiente documento se describe el diseño e implementación de un robot móvil, tipo diferencial desarrollado con el kit Lego Minstorms Ev3, el cual detecta un foco de incendio, tipo conato, y se dirige a este para intentar apagarlo. El proyecto se desarrolló en un entorno controlado con el fin de limitar las variables y conseguir mejores resultados en la navegación, en dicho entorno, los sensores ubicados en este, detectan la presencia de fuego y se comunican al robot según la zona en la cual se produjo, de esta manera el robot se desplaza al lugar indicado e inicia la búsqueda del conato de incendio. Del mismo modo, el robot intenta apagar el conato y si no lo logra emite una alarma visual y sonora, para poder

---

\* Estudiante Tecnología Electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas .e-mail:  
[sjsandovalr@correo.udistrital.edu.co](mailto:sjsandovalr@correo.udistrital.edu.co)

\*\* Estudiante Tecnología Electrónica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas .e-mail:  
[baperaltar@correo.udistrital.edu.co](mailto:baperaltar@correo.udistrital.edu.co)

\*\*\* Ingeniero en Control Electrónico e Instrumentación Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Profesor Investigador Grupo de Investigación ROMA adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico e-mail: [winfantem@udistrital.edu.co](mailto:winfantem@udistrital.edu.co)

dar a conocer donde se produce el fuego a los organismos de control y así, puedan actuar frente a la situación.

**Palabras clave:** Conato de incendio, entorno controlado, robot móvil, sensor IR.

**Abstract:** On the following document there describes the design and implementation of a mobile robot, differential type developed with the Lego kit Minstorms Ev3, that detects a fire focus, type conatus, and goes to this to try to turn it off. The project developed in an environment controlled in order to limit the variables and to obtain better results in the navigation, in the above mentioned environment, the sensors located in this one, they detect the presence of fire and communicate to the robot according to the zone in which it took place, hereby the robot moves to the indicated place and initiates the search of the attempt of fire. In the same way, the robot tries to extinguish the attempt and if it does not achieve it issues a visual and sonorous alarm, to be able to announce where the fire takes place to the organisms of control and this way, be able of act against to the situation.

**Key Words:** Fire detection, Controlled environment, mobile robot, IR sensor.

## **1 Introducción**

Un incendio no controlado desde sus inicios provoca varias problemáticas en la sociedad y el medio ambiente, como el riesgo a la vida, alteración del orden público, desperdicio de agentes extintores, pérdidas considerables en bienes e inmuebles, contaminación en el ambiente, entre otros. Debido a esto, se buscan soluciones a estos problemas por medio del desarrollo de la robótica basada en comportamientos, la cual surge alrededor de los años 80 como necesidad de buscar un comportamiento autónomo en un robot, es decir, este no actúa bajo una orden planificada, lo hace según el entorno en el cual se desempeña de manera autónoma, para realizar una tarea asignada [1].

Del mismo modo la robótica de servicio surge por la necesidad de que estos robots autónomos puedan ayudar a soportar labores humanas, especialmente de alto riesgo, para

evitar poner en peligro vidas humanas, es por esto que la Federación Internacional de Robótica, organismo que coordina las actividades en esta área tecnológica de los países con mayor nivel de desarrollo, introduce el término de robot de servicio como: Un robot que opera de manera automática o semiautomática para realizar servicios útiles al bienestar de los humanos o a su equipamiento, excluyendo las operaciones de fabricación. El término nace debido a la inquietud de la comunidad científica para hacer desarrollos robóticos al servicio de la sociedad y mirando que muchas de las tareas realizadas por humanos pueden ser robotizadas para el bien de los mismos [2].

Por otro lado, la presencia de incendios en entornos cerrados, como bodegas, oficinas, incluso la misma casa, donde corre riesgo la vida de personas que se encuentran cerca al foco de incendio y aquellas que intentan extinguirlo, ya que, se producen altas temperaturas, humos tóxicos que son perjudiciales para la salud y generan pánico, así mismo, el no controlarlo a tiempo o no saber su ubicación hará que se propague aún más, generando un incendio más difícil de extinguir, un mayor desperdicio en agentes extintores y mayores daños en los establecimientos, entornos, materia prima, maquinaria, estructuras, entre otros.

En consecuencia surge la importancia de detectar y controlar una conflagración a tiempo, es decir, cuando aún es de tipo conato, lo cual hace referencia a que es el inicio de un incendio y cuando la magnitud del mismo es mínima con respecto al área trabajada. Ya que al saber donde se empieza el fuego se puede controlar más fácilmente, así evitando daños más grandes. Del mismo modo es posible que el siniestro sea de proporciones mayores, es decir que no se trate de un conato de incendio, si no de una conflagración de mayor magnitud,

para esto lo más importante es conocer la ubicación del foco de incendio, para que sirva de apoyo a los organismos de control (bomberos) que intentan normalizar la situación [3].

Este artículo se divide de la siguiente manera, primero se da una introducción a la problemática en la que se basa el proyecto y como la robótica puede contribuir, luego se expone el desarrollo del proyecto, así como el entorno controlado, diseño del robot, enseguida se explica el algoritmo de navegación desarrollado, por último se muestran los resultados obtenidos.

La robótica móvil ha tenido un recorrido en el tema de incendios, en el cual se evidencia algunos desarrollos de robots, tales como:

En la universidad Helsinki University of Technology (Helsinki, Finlandia), se desarrolló un proyecto llamado: DISEÑO PRELIMINAR DE UN ROBOT EXTINTOR DE INCENDIOS QUE SE DESPLAZA POR EL TECHO [4] en el año 2009, el diseño de un robot pensado para que actué en el techo de establecimientos cerrados capaz de extinguir un fuego, las conclusiones a este diseño muestra que es un robot que podría funcionar en diversas y numerosas áreas, de igual forma el sistema con el cual estaría equipado el robot ofrecería la posibilidad de conocer las causas y el momento exacto donde iniciaría el incendio generando evidencia e información necesaria para un futuro, evidentemente este proyecto muestra la posibilidad de apagar incendios en establecimientos cerrados como lo pudo hacer 'VulcanoBot'.

En Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (México), el proyecto titulado DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT MÓVIL CONTRA INCENDIOS "ROBOCATEPETL" [5], trata de un robot móvil capaz de navegar autónomamente en un entorno controlado, teniendo como tarea encontrar una pequeña vela encendida y así extinguirla, como conclusión de este proyecto se dice que se logra tener una buena navegación en el entorno estipulado para así cumplir con la tarea de extinguir el fuego. Como es notorio, el foco de incendio a atacar en



*Preparación de Artículos revista VISIÓN ELECTRÓNICA: algo más que un estado sólido*

*Fecha de envío:*

*Fecha de recepción:*

*Fecha de aceptación:*

este proyecto es muy pequeño, simulando lo que es un conato de incendio, igual al que intentó y en ocasiones pudo apagar 'VulcanoBot'.

En el año 2012, la universidad politécnica Salesiana sede Cueca, publica el proyecto DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL TELE OPERADO PARA LA ASISTENCIA EN OPERACIONES DE ALTO RIESGO DEL CUERPO DE BOMBEROS [6], donde el robot principalmente fue usado para exploración de incendios en industrias donde se manejen materiales peligrosos, el robot recopila la información sobre la temperatura del entorno, detectar victimas en necesidad de auxilio, además de tener unas características adecuadas para su misión como el peso, velocidad, material resistente a temperatura y golpes, diseño y tamaño adecuado. En este proyecto se realizó una investigación amplia, de donde se logra concluir varios aspectos, uno de ellos es que se resalta el sistema operativo utilizado (puppy linux) dando buena respuesta a lo esperado, sin embargo, se presentan problemáticas en cuanto a la transmisión de video, los sensores utilizados y su estructura física dan buena respuesta.

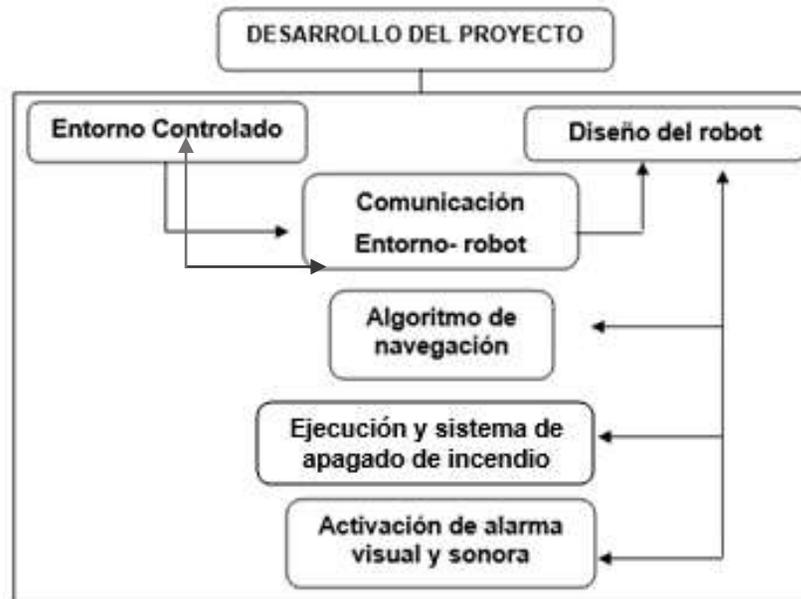
En el IV CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN CIIMA 2015, se presenta un proyecto realizado en la universidad Nacional de Colombia (Bogotá), titulado DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UN ROBOT EXPLORADOR QUE SOPORTE LAS ACTIVIDADES DE LOS BOMBEROS [7], logrando la construcción de una plataforma robótica versátil sirviendo como herramienta de monitoreo y prevención de incendios forestales, dando al cuerpo de bomberos una mejor opción de acceder y mantenerse en entornos naturales sin inconvenientes por los múltiples terrenos que puedan encontrarse en estos entornos. Los resultados obtenidos determinan un buen

desplazamiento plano y de movimiento rotacional para la superación de obstáculos encontrados, determinación de tipos de incendio en la zona y el fácil acceso a esta. Este robot presenta una diferencia esencial, ya que está diseñado para ambientes naturales, al aire libre, en cambio la aplicación de 'Vulcanobot' es en entornos cerrados, no obstante, ambos en algún momento determinaron un tipo de incendio.

Por último, en el GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE ROBÓTICA MÓVIL AUTÓNOMA (ROMA) adscrito a la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, se desarrolló el proyecto ROBOT PARA LA DETECCIÓN DE FOCOS DE INCENDIO "FLAMEBOT" [8], apoyado por el cuerpo oficial de bomberos de Bogotá, siendo un robot de servicio especializado que detecta una mayor concentración de temperatura en un incendio estructural, ayudando a que la emergencia sea tratada con mayor agilidad y rapidez. En este se concluye que el robot tiene una aplicación limitada a los incendios estructurales bajo condiciones extremas, tiene un sistema mecánico y electrónico con una protección térmica de hasta 350°C comprobando que no se generó fallas en la operación electrónica del mismo [9].

## **2 Desarrollo del proyecto**

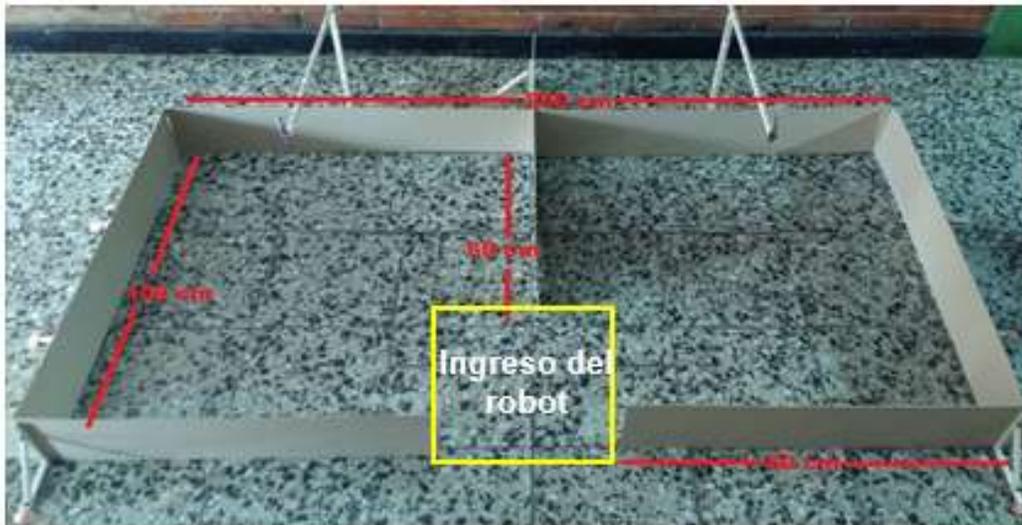
Se realizó con base en el diagrama de bloques de la figura 1, el cual indica los pasos secuenciales necesarios para el desarrollo del proyecto.



**Figura 1. Diagrama de Bloques (Desarrollo del Proyecto). (Fuente elaboración propia)**

## 2.1 Entorno controlado

El entorno creado (ver figura 2) fue limitado en ciertas variables para obtener mejores resultados, entre ellas el espacio de desplazamiento del robot y la luz ambiente. El entorno se construyó a escala 1:3 de la dimensión original de dos oficinas contiguas, esto para favorecer el desempeño del robot y limitar los recorridos para así detectar el foco de incendio que está en una posición fija, de esta manera, el entorno queda formado por un rectángulo de 200 cm de ancho por 100 cm de largo, la división entre las dos zonas es de 60 cm, y, en la entrada del robot, para completar cada zona, se ubicó una pared de dimensión de 80 cm de ancho, con esto se deja una zona de 40 cm por 40 cm para permitir el ingreso del robot. (Ver figura 2a).



a)



b)

**Figura 2. Dimensiones del ambiente controlado a) vista superior b) vista lateral. (Fuente: Elaboración propia)**

Cada zona tiene un poste (ver figura 2b), donde fue ubicado el sensor KY-26 (uno para cada zona) donde la altura es de 50cm y el segmento de la parte superior de 50cm, con esto se garantiza que el sensor quede en la posición central de cada zona. Por otro lado, todas las paredes que forman el entorno tienen una dimensión de 20 cm de alto, de esta manera se obtiene que el robot no se salga. La luz ambiente en el entorno cerrado, es únicamente luz artificial y la superficie es lisa.

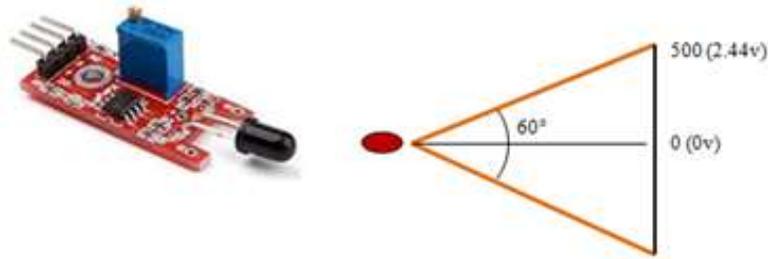
### **2.1.1 Selección y parametrización de los sensores del entorno**

Para la selección del sensor que va ubicado en cada zona del entorno, se tuvo en cuenta varias cosas, como lo que se quería detectar era el inicio del foco de incendio en primer lugar se pensó instalar detectores de humo de bajo costo como los de la serie MQ, incluso se realizó pruebas con el sensor MQ135, que es un sensor de calidad de aire y funciona bien para detectar CO<sub>2</sub> en el ambiente, pero se presentó varios inconvenientes con este sensor, ya que la concentración de CO<sub>2</sub> debía ser alta y además se tardaba en detectar el foco de incendio [10].

Luego se pensó en detectar el foco de incendio por infrarrojo y se encontró un sensor que funciona entre las longitudes de onda infrarroja 760 nm a 1100 nm, este sensor es el KY-26 (sensor de flama), está ubicado en dos partes del entorno estratégicamente, debido que hay dos zonas en las cuales se debe buscar un posible conato de incendio, ubicándolos en los dos postes del entorno (ver la figura 2b), este sensor se usó para encontrar el foco de incendio en una de las zonas y así transmitir un pulso digital al robot. Por otro lado, la simulación del foco de incendio se hizo a partir del fuego generado por una vela entre 7cm a 11cm de alto o fuego en este rango de altura.

La parametrización obtenía del sensor se puede observar en la figura 3, donde, el sensor tiene un cono de visibilidad de 60° para detectar la flama y un alcance aproximado de 1.20m, arrojando un número entre el rango de 0 a 1024 que equivale en voltaje de 0v a 5v, donde oscila de acuerdo a la detección y ubicación de la flama, si se detecta más hacia el centro del sensor el número obtenido será menor.

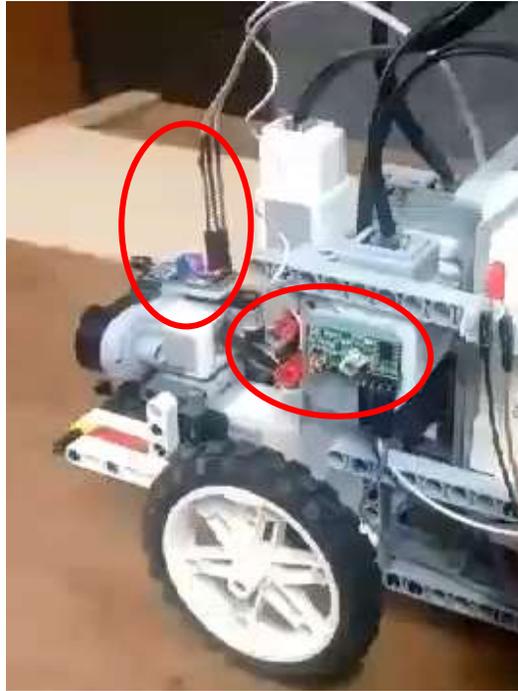
Luego de las pruebas realizadas, el rango que se manejó para detectar un foco de incendio en el entorno y cubrir toda la zona establecida, fue de 0 a 500 que equivale en voltaje de 0v a 2.44v, donde, al encontrarse el foco de incendio más hacia el centro de la zona del entorno, el número es menor.



**Figura 3. Parametrización de sensor KY-26 (Fuente: Elaboración propia)**

Para la comunicación inalámbrica entre los sensores del entorno con el robot fueron los módulos RF de 433MHz (ver figura 4), se escogieron estos módulos debido a su bajo costo y fácil uso, comparados con los módulos Bluetooth HC-06 o los módulos Wifi ESP8266, los módulos RF trabajan con una frecuencia de 433MHz, la cual es una banda de libre uso, de igual manera, siendo 1 metro la distancia para la comunicación, cumpliendo así con lo necesario. Estos módulos vienen en pareja (emisor (FS1000A) y receptor (XY-MK-5V)), asignando el emisor al 'Arduino uno R3' el cual se escogió porque además de su bajo costo y fácil uso es suficiente para el proyecto, ubicado en el entorno para recibir los datos de los sensores KY-26 y enviarlo a el receptor ubicado en el robot, conectándose a un Arduino nano, para luego, comunicarse por I2C al ladrillo del LEGO EV3 MINSTORMS EDUCATION.

[11]

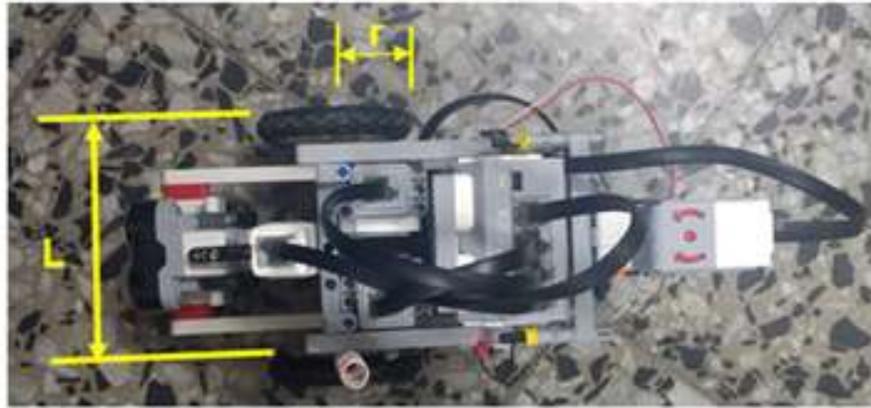


**Figura 4. Sensor KY-26 y receptor del módulo RF en el robot (Fuente: Elaboración propia)**

## 2.2. Diseño del robot

El robot adquiere el nombre de VulcanoBot debido al acrónimo resultante de la palabra vulcano que significa dios del fuego en la mitología romana y la palabra robot.

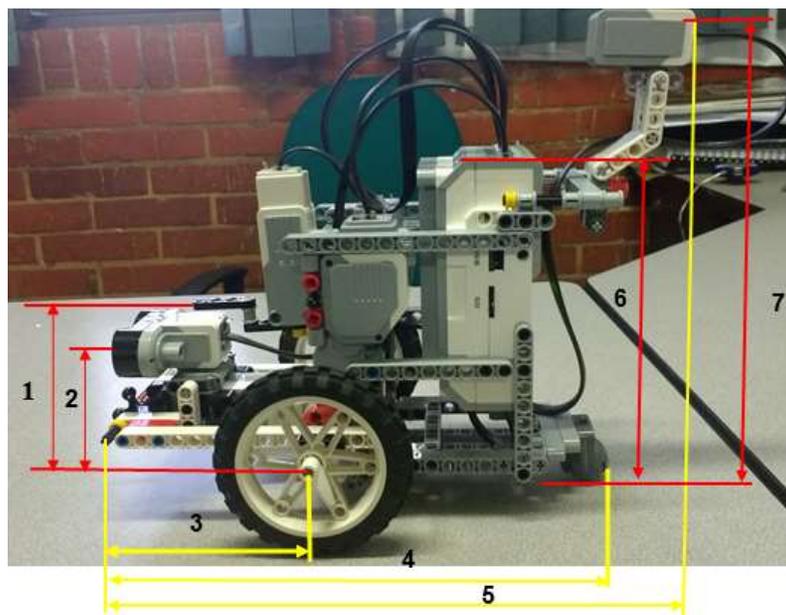
Para la plataforma se requiere de una configuración tipo diferencial, de esta manera se asume que el movimiento de las llantas del robot se convierte en un movimiento de traslación y/o rotación. Para un robot móvil de tracción diferencial se tiene en cuenta las dimensiones:  $L$  que es la longitud entre las dos ruedas del vehículo y  $r$  que es el radio de las ruedas como se ve en la figura 5, las dos ruedas montadas en el único eje son independientemente propulsadas y controladas, proporcionando ambas, tracción y direccionamiento. [12][13]



**Figura 5. Robot móvil ‘VulcanoBot’ vista superior L=14cm r=4cm (Fuente: Elaboración propia)**

La estructura del robot esta diseñada a una escala 1:3 según las medidas del entorno, cuenta con 3 servomotores, dos grandes para las llantas y uno mediano para que el sensor de flama (KY-26) ubicado al frente del robot, pueda hacer un barrido de 180°, es a los encoders de los servomotores a quien se les da la instrucción de cuantos grados debe girar el motor, ya sea a la derecha o izquierda y cuanto debe avanzar.

Las dimensiones se encuentran en la tabla 1 y gráficamente en la figura 6.



**Figura 6. Dimensiones de ‘VulcanoBot’ (Fuente: Elaboración propia)**

<b>DIMENSIÓN</b>	<b>MEDIDA</b>
<b>1</b>	<b>6.2cm</b>
<b>2</b>	<b>3cm</b>
<b>3</b>	<b>12cm</b>
<b>4</b>	<b>27.5cm</b>
<b>5</b>	<b>29.5cm</b>
<b>6</b>	<b>15.2cm</b>
<b>7</b>	<b>22.5cm</b>

**Tabla 1. Dimensiones del robot ‘VulcanoBot’ según la figura 6.**

VulcanoBot cuenta con dos sensores que le ayudan a la navegación en el entorno, el ultrasonido y giroscopio del kit LEGO Mindstorms EV3, siendo pieza clave para poder navegar de una manera adecuada.

El sensor ultrasonido, fundamentalmente genera ondas de sonido de alta frecuencia y lee los retardos de sus ecos para detectar y medir la distancia que encuentra entre el ultrasonido y objetos, precisamente para evitar que se estrelle con las paredes y detecte una cercanía menor a 15cm con el posible conato de incendio.

El sensor giroscopio de LEGO Mindstorms EV3, mide el movimiento y los cambios en la orientación de rotación del robot, este sensor determina cuantos grados debe girar para orientarse o ubicarse frente a un foco de incendio. [14]

### **3. Comunicación Entorno – Robot**

La información brindada por los sensores de flama (KY-26) que se encuentran en el entorno son necesarias para la ejecución del algoritmo de navegación y así combatir lo que puede ser un conato de incendio, para esto, el módulo RF se conecta al Pin RX del Arduino uno R3

para transmitir los datos de los sensores del entorno que también están conectados al Arduino, el tipo de comunicación es simplex, es decir, en un solo canal y unidireccional.

La programación en el Arduino es muy semejante a una comunicación serial (UART). El receptor que se encuentra en el robot, está de igual manera conectado al Arduino Nano, pero esta vez al pin Tx para recibir la información. El Arduino nano utiliza el protocolo I2C para enviar la información al bloque LEGO Minstorms Ev3.

Para el protocolo I2C, se necesita la línea de datos (SDA) y la línea de reloj (SCL), cada dispositivo conectado al bus tiene un código de dirección seleccionable mediante software, en el caso de 'VulcanoBot' ese código de dirección es el número 4, debe haber permanentemente una relación Master/ Slave entre los dispositivos conectados, siendo así el Arduino (Master) y el bloque LEGO (Slave). [15]

#### **4. Algoritmo de navegación**

El algoritmo de navegación está diseñado en el software LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3 LabView, siendo un lenguaje gráfico que es proporcionado por la herramienta, las instrucciones del algoritmo de navegación hacen de 'VulcanoBot' un robot secuencial.



**Figura 7: Robot y algoritmo de navegación. (Fuente de elaboración propia)**

En el algoritmo de navegación se encuentra la secuencia de instrucciones que debe ejercer según la situación en la que se encuentre previo a un evento anterior, recordando que el inicio es dado según la información recibida por los sensores del entorno (zona 1 = izquierda, zona 2 = derecha o sin alarma = sin activar el sistema), dichas instrucciones son:

- Instrucción 1: Giro a la derecha (según grados obtenidos por el barrido del sensor de flama)
- Instrucción 2: Giro a la izquierda (según grados obtenidos por el barrido del sensor de flama)
- Instrucción 3: Avanzar sin estrellarse (150° giro de los servomotores)
- Instrucción 4: Barrido y lectura del sensor de flama (detección del conato de incendio entre un rango de 0 a 100 que equivale en voltaje de 0v a 0.48v y captura de cantidad de grados por girar)
- Instrucción 5: Accionamiento del sistema de apagado de incendio (movimiento rápido de la tela hacia abajo y hacia arriba)
- Instrucción 6: Activación del sistema de alarma visual y sonora

Los sensores de flama ubicados en el entorno detectan, como lo mencionado anteriormente, el foco de incendio en un rango de 0 a 500 según la distancia y la ubicación de la flama en el entorno, teniendo en cuenta esta información y que hay un sensor en cada una de las zonas, al generarse un foco de incendio, los sensores comenzaran a variar, cuando entren en el rango cambiaran su estado generando así un

pulso considerado como posible existencia de un foco de incendio, los módulos RF envían ésta información y llega al robot, donde se toma el primer dato entre el rango de cualquiera de los dos sensores.

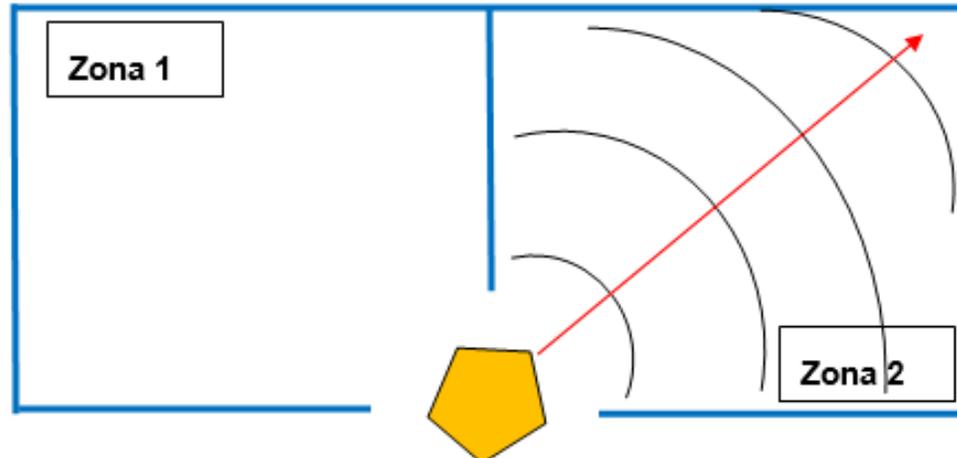
A partir del dato obtenido por el pulso generado en el entorno, el robot determina si comienza haciendo un barrido (instrucción 4) de 90 grados por la zona 1 o la zona 2, y así tomar la siguiente decisión que depende del dato obtenido en la instrucción 4, el programa tiene la posibilidad de seleccionar las siguientes decisiones:

- La decisión 'cadena A' la toma una vez hecho el barrido de la instrucción 4 y no se haya detectado ningún foco de incendio, avanzando por la zona del entorno y así hacer un barrido total en toda ésta.

<b>INSTRUCCIÓN</b>	<b>Cantidad de veces</b>
Instrucción 1 o 2 (45 grados)	<b>1</b>
Instrucción 3	<b>3</b>
Instrucción 4 (180 grados ) (der a izq o der a izq)	<b>1</b>

**Tabla 2. Cadena A.**

En esta decisión, como no se ha detectado un foco de incendio, se puede encontrar la presencia de alguna pared y procederá a evadirla.



**Figura 8: Robot durante la decisión cadena A en la zona 2. (Fuente de elaboración propia)**

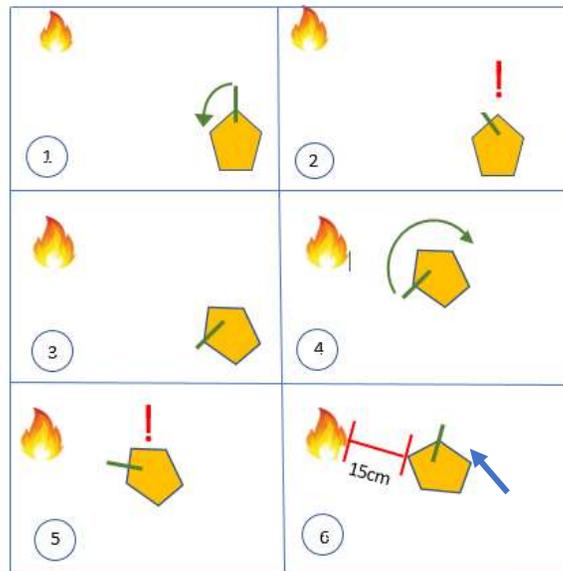
- La decisión 'cadena B' la toma una vez hecho el barrido de la instrucción 4 y se haya detectado un foco de incendio, orientándose y dirigiéndose hacia él.

<b>INSTRUCCIÓN</b>	<b>Cantidad de veces</b>
Instrucción 1 o 2 (grados capturados Instrucción 4)	<b>1</b>
Instrucción 3	<b>2</b>
Instrucción 4 (180 grados ) (der a izq o der a izq)	<b>1</b>

**Tabla 3. Cadena B.**

En esta ocasión, dado que ya se ha detectado el foco, la instrucción 3 (avanzar sin estrellarse), da un punto clave al robot en caso de que se encuentre algún objeto a una

distancia menor a 15cm, si es así el robot no lo entenderá como una pared sino como el 'foco de incendio' y procederá a tratar de apagarlo.



**Figura 9: Robot durante la decisión cadena B en presencia de un posible conato de incendio. (Fuente de elaboración propia)**

En la figura 9, se puede observar el comportamiento del robot en presencia del foco de incendio, en la casilla #1, el sensor de flama está en la posición 'centro del robot' y comienza a hacer un barrido hacia la izquierda de 90°, durante este barrido (casilla #2), el sensor detecta el foco de incendio a  $\alpha$  grados después del 'centro', (el dato del sensor es menor a 100) el robot guarda los grados girados por el sensor y termina el barrido, dejando el sensor de flama en la posición 'izquierda del robot', en la casilla #3, el robot gira los grados guardados por el sensor de flama, orientándose hacia el foco de incendio, avanza según la instrucción 3 (casilla #4) y vuelve a hacer el barrido del sensor de flama, esta vez de izquierda a derecha, cuando el sensor vuelve a entrar en un rango menor a 100, ha girado  $\beta$  grados (casilla #5), guarda el dato de los grados girados y termina de hacer el barrido, dejando el sensor de flama en la posición 'derecha del robot', en la casilla #6, ya el robot está orientado y de frente al foco de incendio, aparte la distancia que hay del robot al foco es de

15cm siendo la mínima necesaria para activar el sistema de apagado de incendio, saliendo así de la decisión 'cadena B'.

- La decisión final, para tratar de apagar el incendio, se activa una vez el objeto que se encuentre al frente del robot sea considerado el 'foco de incendio' según la decisión B.

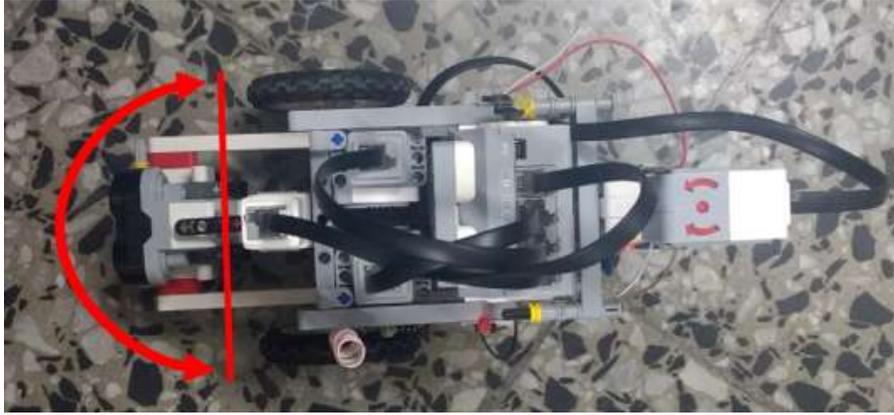
<b>INSTRUCCIÓN</b>	<b>Cantidad de veces</b>
Instrucción 5	<b>1</b>
Instrucción 4	<b>1</b>

**Tabla 4. Decisión final.**

Dado el caso de que en la instrucción 4 aún siga detectando flama, accionará esta decisión una vez más, si se mantiene la flama en el tercer intento, se da por entendido, de que el foco no es un conato de incendio sino un incendio que no es posible de apagar por el robot y se activa la instrucción 6, el robot se encuentra a una distancia de 15 cm del foco de incendio, distancia prudente para evitar un contacto directo con el fuego.

## **5. Activación y ejecución del sistema de apagado de incendio**

Para poder apagar el foco de incendio, el robot cuenta con un sensor de flama KY- 26, el cual tiene la posibilidad de hacer un barrido de 180 grados de derecha a izquierda o de izquierda a derecha según sea el caso, en la parte frontal del robot con un servomotor mediano ubicado es esta zona (ver figura 10).



**Figura 10: vista superior del robot. (Fuente de elaboración propia)**

Una vez se reciba la señal de los sensores de flama del entorno, el robot comienza a ejecutar el algoritmo de navegación como anteriormente se mencionó, el sensor de flama determina la presencia de un posible conato, se orienta y se dirige hacia el foco (Cadena B).



**Figura 11: Robot dirigiéndose hacia el conato de incendio. (Fuente de elaboración propia)**

Los tiempos que se demora en cada instrucción una vez entre a la decisión “cadena B”, tomados con un cronometro son los siguientes:

<b>Instrucción</b>	<b>tiempo</b>
Instrucción 1 o 2 60 Grados	4.13seg
Instrucción 1 o 2 50 Grados	3.76 seg
Instrucción 1 o 2 40 Grados	1, 79 seg

Instrucción 1 o 2 30 Grados	0.76 seg
Instrucción 1 o 2 20 Grados	0.59 seg
Instrucción 1 o 2 10 Grados	0.38 seg
Instrucción 3 Giro de los dos servomotores grandes cada 150 grados	1.09 seg
Instrucción 4 180 gados	7.24 seg
Instrucción 4 90 gados	3.97 seg
Instrucción 4 10 gados	0.41 seg
Instrucción 5	1.04 seg

**Tabla 5. Valores de tiempos correspondientes a las instrucciones realizadas.**

El recorrido que ejerce el robot una vez se detecta un posible conato de incendio son los 150 grados que avanzan los dos servomotores de las llantas del kit Llego Minstorms EV3, adquiriendo una distancia aproximada de 14cm, se detiene y nuevamente comienza a hacer un barrido del sensor de flama de 180° con la instrucción 4, dado el caso de que nuevamente detecte el foco, guarda la cantidad de grados obtenidos hasta ese punto y termina de hacer el barrido, el robot gira los grados proporcionados y avanza, así hasta que detecte un objeto a una distancia de 15 cm (distancia mínima necesaria para intentar apagar el foco de incendio), cuando se encuentre frente al objeto que en este caso es el foco de incendio, acciona el mecanismo o sistema de apagado de incendio, este cuenta con un servomotor pequeño que mueve una palanca hacia arriba y hacia abajo, en ella, una tela especial llamada carnaza que soporta altas temperaturas (3600°C a 6000°C), normalmente se usa en los petos de protección de hornamentación, fundición de metales, etc. [16].



**Figura 12: Tela de carnaza para la sofocación del foco de incendio. (Fuente de elaboración propia)**

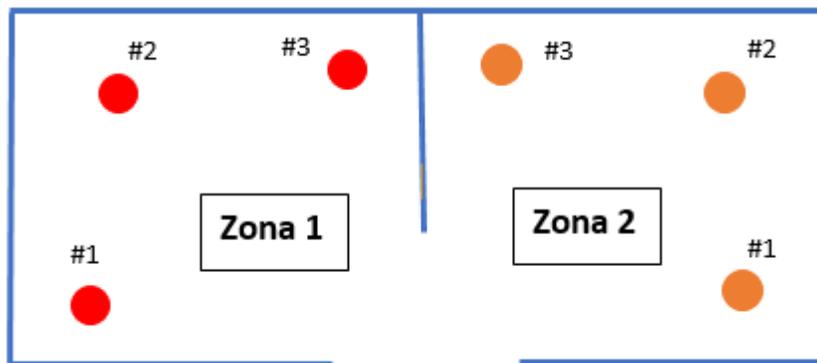
El robot asume como un incendio incontrolable o no conato una vez haya ejercido la 'instrucción 5' 3 veces y aún el sensor de flama determine que hay presencia de fuego. En caso de un incendio no controlable (no conato), accionará la instrucción 6 (Activación del sistema de alarma visual y sonora), generando un sonido característico y al mismo tiempo activa la luz de estado roja directamente del ladrillo del kit LEGO EV3, dado que siendo una emergencia más grande no controlable por VulcanoBot sea necesario de una ayuda externa, es posible que los organismos de control tengan muchas dificultades para saber donde se está generando el incendio, es por eso que VulcanoBot ayuda en la localización de este con la alarma visual y sonora.



**Figura 13: robot sofocando el foco de incendio. (Fuente de elaboración propia)**

## 6. Resultados

Al realizar las pruebas mencionadas a continuación, se tomaron 6 puntos en diferentes lugares en el entorno (mirar figura 14) para ubicar el foco de incendio, donde, el robot debe activar el sistema, ubicar y posiblemente apagar lo que puede ser un conato de incendio.



**Figura 14: puntos de ubicación del foco de incendio en el entorno. (Fuente de elaboración propia)**

Apartir de estos puntos se hicieron 10 pruebas en cada uno, tomando, la detección y la ubicación del conato en el entorno por el robot y la cantidad de extenciones logradas.

ZONA	PUNTO	DETECCIÓN	UBICACIÓN	EXTINCIÓN
		# ACIERTOS	# ACIERTOS	# ACIERTOS
Zona 1	1	10	10	8
	2	10	10	9
	3	10	9	10
Zona 2	1	10	10	6
	2	10	10	10
	3	10	9	9

**Tabla 6. Valores de aciertos correspondientes a cada punto de la zona**

El diseño y la elaboración del robot, permitió, según los datos obtenidos en las pruebas realizadas, que fuera posible la movilización en el entorno, la comunicación necesaria para la información que proviene de este, la localización del foco de incendio, llegar efectivamente y accionar un sistema necesario para la extinción, se hicieron las pruebas donde se evaluó que el robot encontrará el foco de incendio y accionará el sistema de apagado.



**Figura 15: Foco de incendio ubicado en el punto 3 de la zona 1 junto a el robot en acción  
(Fuente de elaboración propia)**

Según la tabla 6, el robot logra detectar eficientemente el foco de incendio lográndolo en todos los intentos, al dirigirse hacia ellos falla en la orientación un 7% de las 10 pruebas ejercidas y al momento de tratar de apagarlo determina que no todos los focos de incendio fueron posibles de extinguir haciéndolos incontrolables o no conatos, en donde, los 8 eventos que no se logró apagarlo se activó la alarma visual y sonora del robot sin ningún inconveniente, todas al frente del foco de incendio.

La selección y parametrización de los sensores para poder determinar si en alguna parte del entorno controlado hay un foco de incendio, según la tabla 6 y las pruebas realizadas, se cumple totalmente la efectividad de los sensores escogidos, cumpliendo así el objetivo plasmado, siendo que el robot sea capaz de detectar, ubicar y tratar de apagar un posible

conato de incendio. De igual manera, se hicieron unas pruebas aparte de las que están en la tabla 8, simulando una de las zonas del entorno (1m x 1m), el sensor ubicado en la parte superior a los 50cm y ubicando el foco de incendio en diversas partes del mismo, sobre todo en los límites de la zona, el sensor activa el led rojo cuando detecta la flama en un rango menor a 100.



**Figura 16: pruebas con diferentes puntos de ubicación del foco de incendio (Fuente de elaboración propia)**

De igual manera, el algoritmo diseñado para la navegación del robot, logró según los datos obtenidos en la tabla 8 una eficiencia del 96.6% comparada con la cantidad de pruebas realizadas, logrando así desplazar el robot a la zona donde hay una alarma de incendio, pero no solo eso, sino que el robot fue capaz de dirigirse, orientarse y enfocarse hacia el posible incendio. Los porcentajes fueron tomados sacando un promedio de los aciertos registrados en las pruebas y tomando como 100% la totalidad ejercidas.

## 7. Conclusiones

- Se diseñó e implementó un robot móvil tipo LEGO y diferencial, capaz de navegar en un entorno conocido controlado evadiendo obstáculos y siguiendo las instrucciones necesarias para localizar conatos de incendio, teniendo la posibilidad de orientarse y dirigirse hacia este. Recibe la información necesaria del entorno por el protocolo I2C según su 'maestro' el Arduino Nano y procesa esa información para que a partir de ahí, comience su respectiva búsqueda y posible extinción. Cuenta con un sistema de apagado de incendio equipado de una tela especial, para que cuando sea el momento oportuno intente sofocar el foco de incendio y en caso de no ser un conato de incendio, el robot activa una alarma sonora y visual.
- La selección de los sensores y parametrización de los mismos, hizo que el proyecto cumpliera con las tareas asignadas adecuada y eficientemente, es así como se puede observar que se puede trabajar con elementos de bajo costo, siempre y cuando cumpla con las necesidades requeridas.
- El diseño del algoritmo de navegación ejecuto las órdenes esperadas para que el robot llevara a cabo lo esperado, gracias a las instrucciones básicas mencionadas y una buena orientación en ellas, el software con el que se trabajó, siendo un lenguaje grafico, proporcionó, de igual manera, las herramientas necesarias para su creación.
- La característica dada para encontrar el foco de incendio generado en el entorno, era solo la presencia de flama, mostrando así que solo con esta característica fue posible hallar el foco, llegar a este y poder tratar de apagarlo. De igual manera la decisión que tomaba el robot (después del tercer intento de apagarlo no es de tipo

conato o no se puede extinguir) para determinar si el foco de incendio era conato, es válida, dado que, un conato de incendio, es el inicio o lo más pequeño de un incendio con respecto a el tamaño de las oficinas, haciéndolo controlable no necesariamente por los cuerpos especializados como los bomberos y así, cuando esto no era posible, dejaba la acción de intentar apagar y se activaba las alarmas correspondientes.

## **8. Proyecciones y trabajos futuros**

En la actualidad el grupo de investigación en Robótica Móvil Autónoma (ROMA), está clasificado como grupo “C” por Colciencias y ha tenido un importante trabajo en el campo de la robótica móvil en general, especialmente en aportar crecimiento al área de la robótica de servicio, por medio del desarrollo de proyectos orientados a soportar las actividades de emergencias. Actualmente el grupo cuenta con desarrollos tales como, un robot de búsqueda subacuática para la búsqueda de víctimas en lagos; robot para la detección de víctimas en zonas colapsadas y robot para la detección de fuego.

En este orden de ideas ‘VulcanoBot’ aporta para nutrir aún más el grupo de investigación y el campo de la robótica de servicio. Del mismo modo, se espera seguir trabajando en el proyecto de manera que se pueda integrar un sistema mecánico más robusto, para proteger el mismo robot cuando se enfrente a un incendio de mayor magnitud, también se espera mejorar el diseño del sistema de extinción y hacer una integración de sensores que permitan detectar con mayor rapidez y facilidad los focos de incendio.

## 9. Referencias

- [1] S. Sánchez, "Desarrollo de robots basados en el comportamiento," 2004.
- [2] R. Aracil, C. Balaguer, M. Armada, "ROBOTS DE SERVICIO", 2008.
- [3] Cidbimena, "Magnitud de los incendios", 2005. [Online]. Available: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Noviembre2005/pdf/spa/doc5927/doc5927-4.pdf>. [Accessed: 08-Mar-2017].
- [4] J. Cerdón, " DISEÑO PRELIMINAR DE UN ROBOT EXTINTOR DE INCENDIOS QUE SE DESPLAZA POR EL TECHO", Helsinki University of Technology (Helsinki, Finlandia), 2009.
- [5] J. Guerrero, G. Morales, J. Sanchez & P. Sanchez, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT MÓVIL CONTRA INCENDIOS "ROBOCATEPETL"", Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- [6] G. Argudo, A. Arpi, "DISEÑOR Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL TELE OPERADO PARA LA ASISTENCIA EN OPERACIONES DE ALTO RIESGO DEL CUERPO DE BOMBEROS", Universidad Politécnica Salesiana sede cuenca, Ecuador, 2012.
- [7] J. Lopez, C. Quijano, N. Navarro, I. Angarita, "DISEÑO Y PROTOTIPADO DE UN ROBOT EXPLORADOR QUE SOPORTE LAS ACTIVIDADES DE LOS BOMBEROS"", Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [8] P. Sierra, G. Bermudez, "Robot para la detección de focos de incendio "Flamebot"", Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- [9] J. López-Prieto, C. Quijano, and R. Moncayo, "Diseño y prototipado de un robot explorador que soporte las actividades de los bomberos," 2015.
- [10] J. Ortiz, "Benchmark de selección de sensores para una wsn de recolección de datos para un sistema de alerta temprana de incendios forestales", 2017.
- [11] Naylamp mechatronics, "Comunicación inalámbrica con módulos RF 433MHz", 2016. [Online]. Available: [http://www.naylampmechatronics.com/blog/32\\_Comunicaci%C3%B3n-Inal%C3%A1mbrica-con-m%C3%B3dulos-de-RF-de.html](http://www.naylampmechatronics.com/blog/32_Comunicaci%C3%B3n-Inal%C3%A1mbrica-con-m%C3%B3dulos-de-RF-de.html)
- [12] E. Bautista, "Robot diferencial, reporte de movimiento del robot", 2014.
- [13] Cinvestav, "Robot con tracción diferencial", 2011. [Online]. Available: [http://www.tamps.cinvestav.mx/~mgomez/Control\\_Lineal/node6.html](http://www.tamps.cinvestav.mx/~mgomez/Control_Lineal/node6.html)
- [14] LEGO, "LEGO Minstorms EV3", [Online]. Available: <https://www.lego.com/es-es/mindstorms/about-ev3>.



Preparación de Artículos revista VISIÓN ELECTRÓNICA: algo más que un estado sólido

Fecha de envío:

Fecha de recepción:

Fecha de aceptación:

- [15] C. Bravo, C. León, J. Ulloa, "EL BUS I2 C: PROTOCOLO Y METODO DE COMUNICACION ENTRE MSP430F149 Y EEPROM 24LC515", Universidad Técnica Federico Santa María, pp 2.
- [16] Ibero, "Taller de diseño industrial", [Online]. Available: [http://www.dis.uia.mx/taller\\_industrial/blog/?grid\\_products=peto-de-proteccion-aluminizado](http://www.dis.uia.mx/taller_industrial/blog/?grid_products=peto-de-proteccion-aluminizado)