



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO:

**EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA DIDÁCTICA LEGO MINDSTORMS
EV3 PARA EL CONCURSO ECUATORIANO DE ROBÓTICA EN LA
CATEGORÍA CREATIVIDAD LEGO.**

AUTORES:

Eduardo Gabriel Gallegos Gallegos
Edisson Miguel Gallegos Mayorga

Previa la obtención del Título
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

MsC. Edwin F. Palacios Meléndez

Guayaquil, Ecuador

2015



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los Sres. **Eduardo Gabriel Gallegos Gallegos** y **Edisson Miguel Gallegos Mayorga** como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.

TUTOR

MsC. Edwin F. Palacios Meléndez

DIRECTOR DE CARRERA

MsC. Miguel A. Heras Sánchez.

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Eduardo Gallegos Gallegos y Edison Gallegos Mayorga**

DECLARAMOS QUE:

El trabajo de titulación “EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA DIDÁCTICA LEGO MINDSTORMS EV3 PARA EL CONCURSO ECUATORIANO DE ROBÓTICA EN LA CATEGORÍA CREATIVIDAD LEGO” previa a la obtención del Título de Ingeniero en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015

LOS AUTORES

EDUARDO GALLEGOS GALLEGOS

MIGUEL GALLEGOS MAYORGA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Eduardo Gallegos Gallegos y Edison Gallegos Mayorga**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA DIDÁCTICA LEGO MINDSTORMS EV3 PARA EL CONCURSO ECUATORIANO DE ROBÓTICA EN LA CATEGORÍA CREATIVIDAD LEGO”, cuyo contenido, ideas y criterios es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015

LOS AUTORES

EDUARDO GALLEGOS GALLEGOS MIGUEL GALLEGOS MAYORGA

DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente trabajo de titulación primeramente a Dios, por darme la fuerza y sabiduría para culminar con éxito mi vida universitaria, la cual ha sido muy fructífera en mi formación profesional. A mi familia, por ser ese pilar en el cual cuento con ese apoyo incondicional, brindándome en todo momento sus sabios consejos para ser una persona de bien, con valor y ética, impulsándome al éxito en mi vida. A mi madre por ser mi ángel de la guarda, enseñándome la tolerancia, el amor, la fortaleza y la perseverancia para luchar por tus objetivos e ideales. A mi novia Catalina Tobar, siendo ella la fuente de inspiración en mi vida, que con su amor, compañía y ayuda es el complemento que necesito para luchar y ser feliz a pesar de las circunstancias, dándome fuerzas para cumplir nuestros objetivos. A mis amigos, que sin sus aportaciones, colaboraciones y empuje me han demostrado que siempre puedo contar con ellos en los buenos y malos momentos de la vida y siempre estarán con el brazo extendido para levantarme. Finalmente, pero no menos importante a mi compañero y primo Gabriel Gallegos, por el sacrificio y esfuerzo brindado en este proyecto.

MIGUEL GALLEGOS MAYORGA

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, a mis padres Milton Eduardo Gallegos Gallegos y Alba de Jesús Gallegos Llerena por ser fuente de inspiración y apoyo moral para la culminación de mi carrera universitaria.

A mi hermosa hija Gabriela Belén Gallegos Muñoz mi mayor tesoro por formar parte de mi vida, iluminando mi vida con su sonrisa y ser fuente de motivación.

EDUARDO GALLEGOS GALLEGOS

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por brindarnos las fuerzas necesarias para lograr nuestras metas. A nuestros padres por ser ese pilar importante de apoyo y fortaleza en nuestras vidas. Al Ing. Fernando Palacios por brindarnos su ayuda y conocimientos para el desarrollo del trabajo de titulación. A nuestros profesores, por otorgarnos los conocimientos necesarios para nuestra vida profesional. A la UCSG por darnos las herramientas necesarias para formarnos como auténticos profesionales y a todas las personas que de alguna manera nos ayudaron a culminar esta etapa de nuestras vidas.

LOS AUTORES

EDUARDO GALLEGOS GALLEGOS
MIGUEL GALLEGOS MAYORGA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CALIFICACIÓN

MsC. Edwin F. Palacios Meléndez
TUTOR

Índice General

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
Resumen	XV
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	16
1.1. Introducción.....	16
1.2. Antecedentes.	17
1.3. Definición del Problema.....	19
1.4. Justificación.....	19
1.5. Objetivos.	21
1.5.1. Objetivo General.....	21
1.5.2. Objetivos Específicos.	21
1.6. Idea a Defender.....	21
1.7. Metodología de investigación.....	22
CAPÍTULO 2: Estado del Arte de la Robótica y Lego Mindstorms.....	23
2.1. Introducción a la Robótica.....	23
2.2. Robótica y Automatización en la sociedad.....	26
2.3. Robots Móviles.....	29
2.4. Robots tipo Lego Mindstorms NXT y EV3.	31
2.4.1. Introducción a LEGO Mindstorms.....	31
2.4.2. Por qué escoger el robot LEGO Mindstorms.....	32
2.4.3. LEGO Mindstorms EV3.	34
2.5. Otras plataformas.....	48
2.5.1. Plataforma FISCHERTECHNIK.....	49
2.5.2. Plataforma de Arduino.....	50

2.5.3. Plataforma Robotics Bioloid.....	51
CAPÍTULO 3: Diseño y Programación de LEGO EV3	52
3.1. Diseño del robot explorador.	52
3.1.1. Módulo Base	54
3.1.2. Incorporación de ruedas al módulo base del robot móvil.	58
3.1.3. Incorporación del sensor Touch parachoques al robot móvil.	60
3.1.4. Incorporación del sensor de color para robot móvil seguidor de línea. ..	63
3.1.5. Incorporación del sensor IR para robot móvil detector de objetos.....	65
3.1.6. Incorporación del sensor IR para robot móvil seguidor de paredes.	66
3.2. Desarrollo de la programación en bloque.....	68
3.2.1. Programación gráfica mediante el Software EV3.	68
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
4.1. Conclusiones.....	72
4.2. Recomendaciones.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
Anexos.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1.

Figura 1. 1: Bloque de control (microprocesador) del Mindstorms RCX. 17

Capítulo 2.

Figura 2. 1: Los robots C3P0 y R2D2. 24

Figura 2. 2: Primeros robots industriales. (a) Devol- Engelberger fundan Unimation (1956). Primer robot industrial, (b) Primer robot con accionamiento eléctrico: IRb6 ASEA (1973); y (c) Robot SCARA del Prof. Makino (Univ. Yamanashi de Japón-1982)..... 27

Figura 2. 3: Robots inspirados en los humanos, llamados humanoides: (a) ASIMO de Honda, (b) ROBONOVA de Hitec, (c) Geminoid-F del Profesor Hiroshi Ishiguro (Univ. Osaka de Japón) 28

Figura 2. 4: Robots aplicados a la industria: (a) Fabricación y ensamblaje de vehículos (b) Paletizado de discos y (c) Soldadura industrial. 28

Figura 2. 5: Robots aplicados en la medicina: (a) Da Vinci (b) AESOP y (c) Zeus..... 29

Figura 2. 6: Robots móviles (a) explorador terrestre, y (b) explorador marino 30

Figura 2. 7: Comparación entre un ladrillo y una viga sin pernos. 35

Figura 2. 8: Conexión de ladrillos con pernos prisiones y conexión de vigas mediante pasadores. 36

Figura 2. 9: Vigas permiten construir estructuras más compactas..... 36

Figura 2. 10: Vigas permiten construir estructuras más compactas..... 37

Figura 2. 11: Vigas permiten construir estructuras más compactas..... 38

Figura 2. 12: El marco O y H..... 39

Figura 2. 13: Las vigas delgadas y enlaces..... 39

Figura 2. 14: Pasadores renombrados..... 40

Figura 2. 15: Los ejes y casquillos..... 41

Figura 2. 16: Los ejes, conectores pin, y ángulo..... 42

Figura 2. 17: Diseño con bloques transversales..... 43

Figura 2. 18: Bloques transversales..... 43

Figura 2. 19: Tipos de engranajes.	44
Figura 2. 20: Las ruedas, neumáticos y bandas de rodadura.	45
Figura 2. 21: Las diversas piezas.	46
Figura 2. 22: Dispositivos electrónicos disponible en el conjunto EV3.....	47
Figura 2. 23: Plataforma creada con Fischertechnik.....	49
Figura 2. 24: Plataforma de Arduino	50
Figura 2. 25: Plataforma del Robotics Bioloid	51

Capítulo 3.

Figura 3. 1: Componentes del Lego Mindstorms EV3.....	53
Figura 3. 2: Posibles combinaciones del robot móvil reconfigurable.....	54
Figura 3. 3: Paso 1 para el módulo base del robot móvil.	54
Figura 3. 4: Paso 2 para el módulo base.	55
Figura 3. 5: Paso 3 para el módulo base.	55
Figura 3. 6: Paso 4 para el módulo base.	56
Figura 3. 7: Paso 5 para el módulo base.	56
Figura 3. 8: Paso 6 para el módulo base.	57
Figura 3. 9: Paso 7 – montaje del bloque controlador EV3.....	57
Figura 3. 10: Paso 6 para el módulo base.	58
Figura 3. 11: Paso 1 para montar el sistema de ruedas al módulo base.	58
Figura 3. 12: Paso 2 para montar el sistema de ruedas al módulo base.	59
Figura 3. 13: Paso 3 para montar el sistema de ruedas al módulo base.	59
Figura 3. 14: Paso 4 que muestra las conexiones al bloque EV3.....	60
Figura 3. 15: Pasos para incorporar piezas al sensor touch.	61
Figura 3. 16: Paso 6 para armar el parachoques incorporado al sensor Touch.....	61
Figura 3. 17: Robot móvil con sistema parachoques con sensor Touch.....	62
Figura 3. 18: Pasos para incorporar piezas al sensor de color.	63
Figura 3. 19: Paso 1 que muestra la conexión al módulo base.....	64
Figura 3. 20: Paso 2 que muestra las conexiones al bloque EV3.....	64
Figura 3. 21: Pasos para incorporar piezas al sensor IR.	65
Figura 3. 22: Pasos para incorporar piezas al sensor IR.	66
Figura 3. 23: Pasos para incorporar piezas al sensor IR.	67
Figura 3. 24: Pasos para incorporar piezas al sensor IR.	67

Figura 3. 25: Programación para la detección de colisiones por medio del sensor Touch conectado en el puerto 1 del bloque EV3.....	69
Figura 3. 26: Programación del seguidor de línea, donde el sensor de color de luz está conectado en el puerto 3 del NXT.	71
Figura 3. 27: Programación para el seguimiento de pared por medio del sensor infrarrojo conectado en el puerto 4 del NXT.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Clasificación de las vigas rectas.	37
Tabla 2. 2: Clasificación de la vigas angulares.	38
Tabla 2. 3: Clasificación de las vigas delgadas y enlaces.	39
Tabla 2. 4: Clasificación de pasadores y pernos de eje.	40
Tabla 2. 5: Clasificación de los ejes, conectores pin, y ángulo.	42
Tabla 2. 6: Los bloques transversales.	44
Tabla 2. 7: Clasificación de ruedas, neumáticos y bandas de rodadura.	45
Tabla 2. 8: Clasificación de diferentes piezas.	46
Tabla 2. 9: Piezas electrónicas	47
Tabla 2. 10: Etiquetado de colores para piezas de LEGO EV3.	53

Resumen

El presente trabajo de titulación consistió en evaluar la plataforma educativa Lego Mindstorms EV3 que permita a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y de los compañeros que forman parte del Club de Robótica de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo (FETD) ampliar su conocimiento.

La metodología utilizada está basada Project Based Learning (PBL) para proponer a los alumnos de pregrado pequeños proyectos donde experimenten la problemática habitual del desarrollo de aplicaciones empotradas. De hecho, la plataforma LEGO EV3 proporciona un entorno de trabajo amigable con el usuario, que aparte de trabajar competencias específicas relativas a la programación industrial resulta valioso para trabajar competencias de otras materias como Microcontroladores, Diseño Electrónico, Instrumentación Electrónica, Control Automático, Robótica y Mecatrónica.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. Introducción.

En la primera década del 2000 hasta la actualidad, la robótica, un área multidisciplinaria, se ha desplegado y evolucionado en universidades de todo el mundo, promoviéndose cada vez más su desarrollo mediante concursos de robótica (varias modalidades), como el concurso CER-2010 que ocurrió en el año 2011 en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

A pesar de que la implementación de un laboratorio de robótica está fuera del presupuesto de muchas universidades por los altos costos de robots manipuladores y móviles comerciales, es posible hacer prácticas de robótica con paquetes comerciales de bajo costo y construcciones propias.

El uso de los robots y de las tareas para las cuales fueron construidos, se han ido diversificándose, como por ejemplo se pueden encontrar robots que realizan (ejecutar) tareas muy distintas para las cuales se pensaba que los robots solo eran utilizados para el ensamblaje de automóviles y exploración (navegación) de planetas. Las formas y los tamaños son diversos, se pueden encontrar robots grandes y pequeños, en forma de brazo utilizado para de pintura automotriz y en forma de insectos respectivamente.

1.2. Antecedentes.

LEGO Mindstorms EV3 no se ha iniciado de un día para otro, sino que ha sido la fusión entre LEGO y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), originalmente desde 1986, y plasmada en un acuerdo, que entre otros aspectos, LEGO apoyará económicamente al grupo de investigaciones del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), y este grupo desarrolle trabajos innovadores, sin tener que pagar franquicias.

Nieves G., (2008) manifiesta que a partir del apoyo financiero se iniciaron las investigaciones de parte del MIT, nace o converge el **Programmable Brick**, dedicado para catedráticos e investigadores universitarios y adaptables al estudio del aprendizaje, para lo cual LEGO desarrollaría lo que sería la primera generación de Mindstorms, el RCX (véase la figura 1.1). A finales de septiembre del año 1998 se vendió a 200 dólares, logrando vender aproximadamente 80000 unidades durante 3 meses.



Figura 1. 1: Bloque de control (microprocesador) del Mindstorms RCX.

Fuente: Nieves, G., (2008).

La presentación del bloque de control RCX fue muy parecida a los bloques tradicionales de LEGO; es decir que tanto los sensores como el microprocesador (bloque programable) tenían la apariencia de un ladrillo que fue una característica del fabricante.

Debido a los malos resultados de LEGO durante el 2003, con pérdidas cercano a los 200 millones de dólares, se extendió el rumor a inicios del 2004 que abandonaría la línea Mindstorms y después de casi 2 años volvería a resurgir LEGO pero con la versión NXT y actualmente con EV3. Lego EV3 comenzó a expandirse para mediados del año 2014.

No son pocos los proyectos de investigación y trabajos que hay ya realizados usando LEGO Mindstorms NXT 2.0 y por el tiempo que salió EV3 existen pocos proyectos, pero van creciendo trabajos de pregrado. Se puede comprobar a través de una rápida búsqueda en Internet para darnos cuenta de las investigaciones y la suficiente cantidad de material disponible, tanto para profesionales especializados como aquellos que no lo son, sobre los LEGO NXT 2.0 y EV3.

LEGO introdujo al mercado el NXT enfocado hacia el mercado recreativo (niños y adolescentes), pero su flexibilidad y capacidad de este lo han llevado a ser aceptado como una herramienta de ayuda académica para mejorar el aprendizaje de los estudiantes que se inclinan por estudios avanzados de robótica.

1.3. Definición del Problema.

La Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo (FETD) tiene 8 Mindstorms NXT 2.0 en el Laboratorio de Electrónica los mismos que han sido aportaciones de trabajos de pregrado de estudiantes de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y no se dispone de Mindstorms EV3. En base a esto, surge la necesidad de evaluar la plataforma didáctica Mindstorms EV3 para futuras participaciones de los concursos de robótica en la categoría creatividad Lego.

1.4. Justificación.

Actualmente, en los Laboratorios de las Instituciones de Educación Superior (IES), la enseñanza práctica se reducen normalmente a simulaciones por ordenador y muy pocas IES disponen de muy pocas maquetas de procesos, y limitadas, debido sobre todo al alto precio de éstas.

Por ejemplo, motores de corriente continua con conexión a PC, plantas simples y procesos industriales a pequeña escala, son materiales muy específicos y que repercuten seriamente en el presupuesto de los laboratorios ya mencionados.

Por el contrario, un Lego EV3 se puede adquirir desde unos \$600 dólares americanos (un precio razonablemente bajo comparado con las maquetas habituales), e incluye, además de una CPU de una potencia a tener en cuenta, una pequeña colección de sensores y actuadores de buena

calidad, conjuntamente a una generosa cantidad de piezas de LEGO Technic, que, con un poco de habilidad, permiten construir en principio un amplio abanico de escenarios apropiados para una clase práctica de robótica en las carreras de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en Control y Automatismo.

Así, desde este punto de partida, surge un interesante estudio de las posibilidades de este robot, pese a la desconfianza inicial que pudiera suscitar al estar hablando de un juguete. Pero, como se demuestra aquí, LEGO Mindstorms EV3 es mucho más que un juguete.

El presente estudio permitirá mejorar y estimular la creatividad de los alumnos de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo en Carreras como, Ingeniería en Telecomunicaciones e Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo, así como también aquellos docentes del área de Electrónica.

No solamente sería la aplicabilidad en los estudiantes y docentes, sino también de los docentes investigadores de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, específicamente en el Instituto de Transferencia Tecnológica (ITT).

El impacto será incursionar a profundidad en el estudio de la robótica y aplicaciones que servirán de herramienta para futuras investigaciones en el ámbito de la robótica.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo General.

Determinar el estudio de una aplicación didáctica para la enseñanza de Robótica en la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, utilizando específicamente el Lego Mindstorms EV3 para que los estudiantes investiguen temáticas avanzadas de control y programación a través de simuladores compatibles como Simulink de Matlab y Labview de National Instrument.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Diagnosticar la situación actual del estado del arte de la robótica y de Mindstorms EV3.
- Realizar la construcción del robot móvil con diferentes funciones.
- Realizar la pruebas experimentales del robot móvil que puede adoptar para fines investigativos.
- Determinar las diferentes aplicaciones que puede tomar el Mindstorms EV3 en concursos de robótica.

1.6. Idea a Defender.

La experiencia de utilizar el Lego EV3 para diferentes proyectos de experimentación al menos como un comienzo en la robótica, lo cual ayudará y permitirá a los estudiantes de las carrera mencionadas con anterioridad darse una idea de cómo medir un proceso simple, o decidir si cierta estructura es mejor que otra para soportar un peso específico sin tener que

gastar demasiado tiempo construyéndola, también contribuirá a los docentes a explicar ciertos algoritmos sin necesidad de pasar mucho tiempo en el laboratorio.

1.7. Metodología de investigación.

Para alcanzar los objetivos propuestos se escogió una metodología propia del autor:

1. Revisar las investigaciones ya realizadas por expertos.
2. Construir con el Lego Mindstorms EV3 varios escenarios para simular al máximo los movimientos.
3. Representar los comportamientos básicos elegidos a nivel de software, en módulos programados en diagramas de bloques e implementarlos en el robot.
4. Desarrollar un plan de pruebas para el robot, ponerlo en práctica y registrar los resultados obtenidos. En base a eso y a los resultados esperados realizar las modificaciones necesarias en la implementación o en el robot.

CAPÍTULO 2: Estado del Arte de la Robótica y Lego Mindstorms

Para el presente capítulo se presentará una introducción a los conceptos básicos que hacen referencia el proyecto de investigación y del estado del arte del Lego Mindstorms.

2.1. Introducción a la Robótica.

La robótica para Ochoa, I., (2015), es la ciencia orientada al diseño y construcción de sistemas robóticos que tienen la capacidad de realizar tareas propias de un ser humano. Una característica distinguible de la robótica que es multidisciplinaria por su naturaleza, es decir que para diseñar un robot exitosamente, se deben poner en práctica conocimientos de ingeniería eléctrica, mecánica, industrial y telecomunicaciones.

En 1942 Isaac Asimov publico una historia de ciencia ficción denominada **“Runaround”** el cual se utilizo el término robótica, en la cual postula las siguientes leyes:

- 1. Un robot no puede perjudicar a un ser humano, ni con su inacción permitir que sufra daño.*
- 2. Un robot ha de obedecer las órdenes recibidas por el ser humano, excepto cuando las órdenes vayan contra la primera ley.*
- 3. Un robot debe proteger su propia existencia, siempre que tal protección no vaya contra las leyes primera o segunda.*

Asimov desconocía totalmente sobre la fabricación de los robots, ya que en su obra indicaba que los robots tenían *cerebros positrónicos*. La aparición de las primeras computadoras ganó mayor influencia por las leyes ya mencionadas.

Asimismo después de varios años apareció la popular trilogía *La Guerra de las Galaxias (1977)*, donde la representación de los robots fue amistosa y simpática. En la figura 2.1 se muestra los robots participantes de la trilogía como el C3P0 y R2D2.



Figura 2. 1: Los robots C3P0 y R2D2.
Fuente: Ochoa, I., (2015)

Odorico, A., Lage, F., & Cataldi, Z., (2006) indican en su trabajo que para el siglo 21, los avances tecnológicos fueron surgiendo de manera progresiva diversidad de sistemas artificiales de apariencia antropomórfica, comúnmente llamados robots. Mientras que Bermejo, S., (2003) y Santos, J., & Duro, R., (2004) manifestaban que existían para ese entonces varias clases de robots que dependieron de varios aspectos: su arquitectura

interna, tamaño, materiales, actuadores (motores y transmisores), sistemas sensoriales, sistemas de locomoción, y por supuesto no podían faltar los sistemas embebidos microcontroladores.

Bermejo, S., (2003) indicaba que hasta ese entonces la robótica logró permitir la automatización de procesos industriales en diversas tareas simples y repetitivas, aunque actualmente la robótica se incorpora la inteligencia artificial para múltiples aplicaciones, un robot considerado inteligente debe ser totalmente autónomo.

Según el diccionario de la Real Academia Española (2015), define al robot como una *“máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas”*

Los robots son controlados específicamente para realizar tareas y este control tiene que ver con su estructura mecánica e incluye 3 fases distinguibles entre sí: percepción, procesamiento y acción. Haciendo uso de la Teoría de Control (Señales y Procesamiento de Señales Digitales) y de los sensores que obtienen información de velocidad, posición en latitud, altitud y longitud, etc. Dicha información permite calcular las señales que recibirán los servomotores mismos que permiten el movimiento de la estructura mecánica para realizar rutas, reconocer patrones, evitar obstáculos, entre otros.

2.2. Robótica y Automatización en la sociedad.

En la actualidad la sociedad se interesa en aspectos tanto teóricos como prácticos de la automatización y la robótica, a través de máquinas con inteligencia artificial y de sistemas que permite ofrecer servicios a los seres humanos, a la industria e inclusive para exploración espacial. Los dispositivos inteligentes realizan trabajos peligrosos y tediosos que los seres humanos no lo pueden hacer, obviamente dependiendo de los límites de inteligencia y capacidad de algunas máquinas que pueden ser autónomas, semiautónomas o teleoperadas.

Las máquinas inteligentes tienen aplicaciones en la medicina, defensa militar, exploración espacial, marina (incluye submarinos), procesos industriales, ensamblaje y entretenimiento (IEEE Robotics, 2007). Los robots han revolucionado activamente en las fábricas de manera global, fácilmente reconocibles, es común observar un brazo mecánico móvil con distintos grados de libertad, mismos que poseen muchas articulaciones impulsadas por servomotores (mecanismos) y controlados por una computadora, para que el robot se ubique con precisión en un determinado punto dentro de su radio de acción.

Los robots inicialmente intentaban simular la estructura humana (constituido por cerebro, músculos unidos al sistema nervioso), es decir que cuando deseamos ejecutar una acción, el cerebro programa la secuencia de

movimientos a realizar, transmite una señal que ordena a los músculos a través del sistema nervioso.

En la figura 2.2 se puede observar los primeros robots industriales y en la figura 2.3 observamos los robots actualizados que toman la forma de un humano, también llamados humanoides.

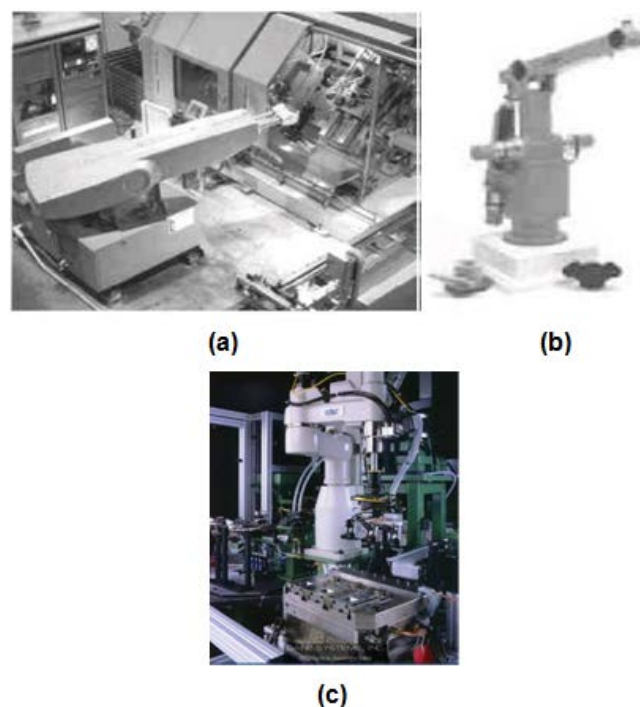


Figura 2. 2: Primeros robots industriales. **(a)** Devol- Engelberger fundan Unimation (1956). Primer robot industrial, **(b)** Primer robot con accionamiento eléctrico: IRb6 ASEA (1973); y **(c)** Robot SCARA del Prof. Makino (Univ. Yamanashi de Japón-1982)

Fuente: Alonso, J., et al, (2004)

Asimismo existe diversidad de aplicaciones de la robótica en el ámbito industrial considerados de mayor utilidad en la actualidad. Las aplicaciones de robótica industrial han sido desarrolladas para ensamblar, soldar, paletizar entre otras que son manipuladas, y controladas automáticamente y programables en tres o más ejes, como se muestra en la figura 2.4.

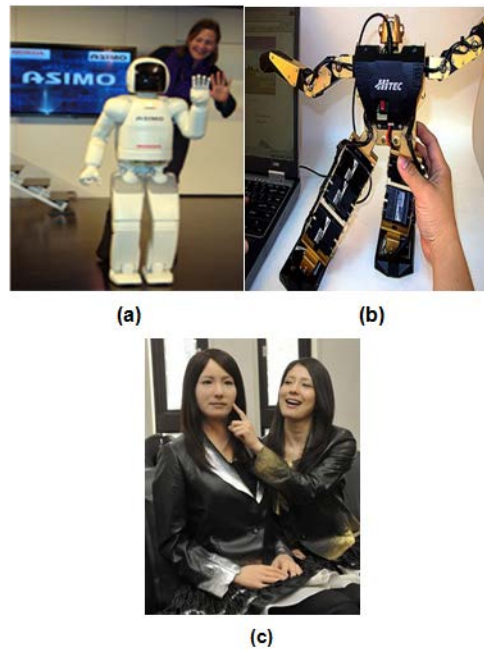


Figura 2. 3: Robots inspirados en los humanos, llamados humanoides: **(a)** ASIMO de Honda, **(b)** ROBONOVA de Hitec, **(c)** Geminoid-F del Profesor Hiroshi Ishiguro (Univ. Osaka de Japón)
Fuente: Ishiguro, H., (2014)

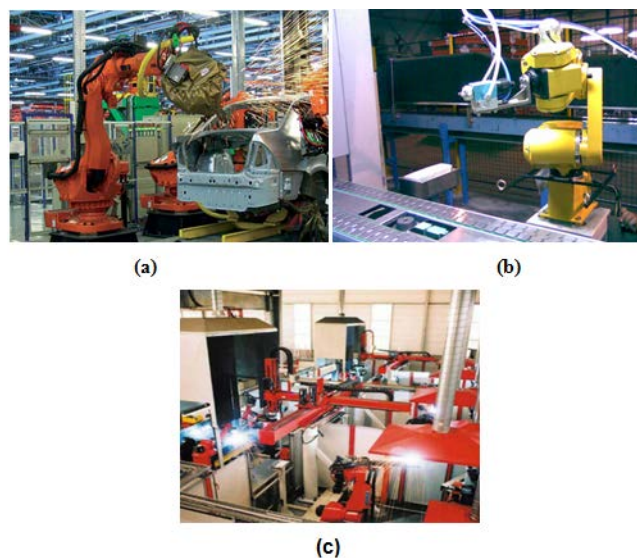


Figura 2. 4: Robots aplicados a la industria: (a) Fabricación y ensamblaje de vehículos (b) Paletizado de discos y (c) Soldadura industrial.
Fuente: Ishiguro, H., (2014)

Una de las potencias mundiales es Japón quienes cuentan con experiencia en la fabricación y despliegue de la robótica inteligente, que la

clasifican en *robots industriales*, aplicados a la industria en trabajo destinados a la manipulación de piezas y herramientas; *robots médicos*, aplicados para operaciones complicadas e inclusive prótesis de funcionamiento autónomo (véase la figura 2.5); y los *robots móviles* capaces de desplazarse en terrenos no propicios para el hombre.

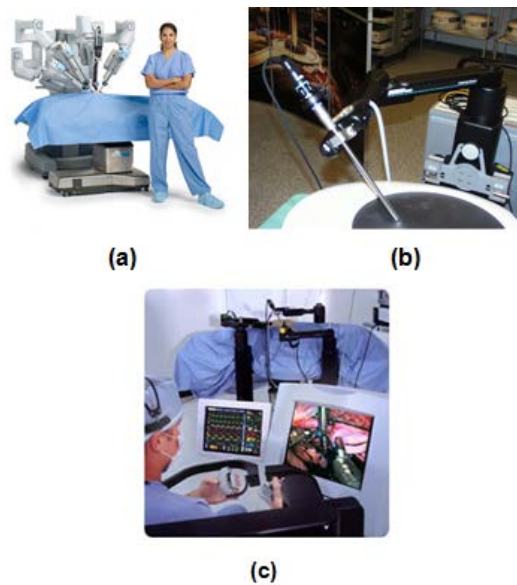


Figura 2. 5: Robots aplicados en la medicina: **(a)** Da Vinci **(b)** AESOP y **(c)** Zeus
Elaborado por: Autores

2.3. Robots Móviles.

Desde los inicios de la robótica móvil los seres humanos han desarrollado distintos tipos de robots como es el caso de los robots móviles, con capacidad de movimiento autónomo que se desplazan en un área y sin locación física, a diferencia de los robots industriales que localizan en puntos fijos.

Estos robots (véase la figura 2.6) se pueden mover por tierra, aire, bajo el agua o incluso en el espacio exterior, utilizando su propia energía. Gracias

a sus sensores y su programación, son capaces de guiarse por el entorno autónomamente, aunque ciertas aplicaciones de robots móviles funcionan mediante monitoreo constante del ser humano e incluso tele-controlado. Para este último, los robots móviles exploradores tienen una comunicación uniforme con la central (operador), por lo general mediante enlaces Inalámbricos o Satelitales. Su morfología es variable dependiendo del entorno y de la tarea a realizar.

Es importante de destacar que los robots móviles en la actualidad son casos de estudio e investigaciones en casi todas las universidades alrededor del planeta tierra, debido a los factores que intervienen en el diseño de un robot móvil.



Figura 2. 6: Robots móviles **(a)** explorador terrestre, y **(b)** explorador marino
Fuente: Alonso, J., et al, (2004)

Para Ruiz, J., (2014) en su trabajo indica que el instituto francés Ifremer, viene desarrollando diversas aplicaciones para exploración submarinas, uno de ellos es el robot SAR (Système Acoustique Remorqué), que tiene incorporado varios sensores geofísicos de alta resolución para

analizar el fondo marino, y también tiene la capacidad de sumergirse hasta una profundidad de 6000 m.

2.4. Robots tipo Lego Mindstorms NXT y EV3.

En esta sección del trabajo de titulación para obtener el grado de Ingeniero en Telecomunicaciones se describirá el potencial de los robots LEGO MINDSTORMS NXT y EV3 que permitirá emplear nuevas herramientas metodológicas en el ámbito de la docencia de Ingeniería en Telecomunicaciones e inclusive Electrónica en Control y Automatismo, en la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

2.4.1. Introducción a LEGO Mindstorms.

Con la implantación de la nueva Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) las IES debe adoptar nuevas metodologías que consigan una mayor implicación de los alumnos en el proceso de aprendizaje. Es decir, que mediante las metodologías *Problem Based Learning* y *Project Based Learning* se puede lograr una mayor implicación en el aprendizaje de los estudiantes. Aunque, las dos metodologías descritas necesitan formular un problema, y así encontrar la manera de resolverlo logrando que ellos adquieran competencias en la solución de un problema.

Para entornos de formación de tercer nivel estas metodologías necesitan de equipos de alta tecnología y robustos, que por lo general su

coste es altísimo. LEGO ha lanzado en el año 2014 al mercado su última generación de robots en bloques para la construcción de los robots llamados LEGO Mindstorms EV3 aunque todavía existe la versión anterior NXT 2.0. Tanto LEGO NXT 2.0 como EV3 permiten construir diversidad de modelos de robots que puedan interactuar con los seres humanos de manera autónoma, el mismo que es programado a través de 3 plataformas de programación.

A diferencia de otros robots, LEGO NXT 2.0 y EV3 permiten utilizar su imaginación para la construcción de diferentes robots para determinadas aplicaciones, no como otros en las que ya vienen definidas sus funciones. Según Márquez, G., (2008) en su proyecto de grado manifiesta que LEGO Mindstorms, es tanto un juguete como una excelente herramienta de ingeniería y existen muchos proyectos de ingenieros profesionales alrededor del mundo utilizando esta herramienta para desarrollar prototipos de robots.

Mientras que Bagnall, B., (2007) manifiesta que LEGO NXT 2.0 y EV3 reúnen los elementos necesarios para el entretenimiento de un niño, así como para la exploración por parte de expertos que quieren poner en práctica conceptos matemáticos, físicos, de mecánica y computación.

2.4.2. Por qué escoger el robot LEGO Mindstorms.

Porque en la actualidad los alumnos de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en Control y Automatismo de la FETD en

la UCSG requieren de sólidas competencias en robótica, que incluyen conocimientos adquiridos en materias como programación (lenguajes de alto nivel) y diseño de sistemas embebidos (Microprocesadores y Microcontroladores) que interaccionan con el medio o las comunicaciones que normalmente son aprendidas en el laboratorio a base de programar aplicaciones sencillas mediante plataformas de programación, tales como, C, Java, Simulink y Matlab.

Butler, D., & Martin, F., (2001) manifiestan que en Irlanda la plataforma didáctica pudieron estimular el desarrollo de habilidades del pensamiento y tecnológicas tanto en alumnos como docentes de educación primaria a través de técnicas de aprendizaje basado en proyectos.

Por su parte, Atmatzidou, (2008) en su trabajo investigativo demostraron la efectividad de utilizar LEGO Mindstorms como herramienta de programación para introducir a los alumnos de primaria y secundaria a través de actividades lúdicas. Mientras que Moundridou, M. & Kalinoglou, A., (2008) describieron un estudio empírico para utilizar la plataforma Lego Mindstorms para el aprendizaje de estudiantes de secundaria y que se interesen por el estudio de la Ingeniería en Telecomunicaciones.

Sin embargo, es en las Instituciones de Educación Superior y en los Concursos de Robótica, donde la plataforma LEGO Mindstorms NXT 2.0 y EV3 han ganado mayor aceptación, gracias a que dispone de una

plataforma potente y su costo es relativamente bajo, permitiendo incrementar los conocimientos en diferentes áreas.

Sólo por mencionar algunos autores, Gómez, J., et al, (2010), describen cómo utilizan la plataforma LEGO para desarrollar competencias en mecatrónica en la enseñanza universitaria de pregrado. Otros autores la usan para desarrollar competencias en programación en diferentes lenguajes de programación, tanto a nivel básico Gandy, E. A. (2010) como avanzado Lew, M., et al, (2010).

2.4.3. LEGO Mindstorms EV3.

LEGO Mindstorms EV3 incluye una colección de elementos de LEGO, un manual impreso (con instrucciones para construir el robot oficial, TRACK3R, y algunos consejos sobre cómo empezar con el bloques EV3 inteligente), un cable USB a mini USB para conectar el bloque EV3 al computador de escritorio o portátil, y una almohadilla de prueba de papel (sólo desenrollar el manguito que rodea la caja), pero sin necesidad de software.

El software, se puede descargar desde la sección de descargas del sitio web oficial de LEGO Mindstorms EV3 (<http://LEGO.com/mindstorms/>). Los elementos LEGO Technic son vigas, pernos, engranajes y ruedas, así como componentes electrónicos como motores, sensores, cables y el propio bloque EV3 inteligente.

Como podemos ver, no existen ladrillos clásicos de LEGO para EV3, y las vigas no tienen postes. Los conjuntos de LEGO Technic se han formado principalmente por piezas "sin pernos". Los viejos ladrillos Technic afilados con espárragos (llamado con clavos) lentamente han sido sustituidos por vigas lisas de Technic, sin pernos, que dan a los modelos una apariencia más elegante tal como se muestra en la figura 2.7.

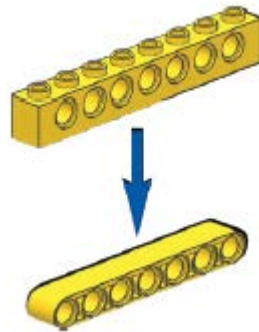


Figura 2. 7: Comparación entre un ladrillo y una viga sin pernos.
Elaborado por: Autores.

La construcción con vigas sin pernos requiere una imaginación espacial, es decir, en tres dimensiones. Las diferencias estructurales entre ladrillos Technic que tienen un número par de tacos y un número impar de agujeros (un ladrillo de dos pernos prisioneros tiene un agujero, un ladrillo de seis pernos tiene cinco agujeros, etc.); mientras que las vigas Technic son una versión sin pernos minimalista de ladrillos Technic.

La figura 2.8 muestra la conexión entre ladrillos de pernos, y las vigas mediante pasadores Technic que actúan como "pegamento".

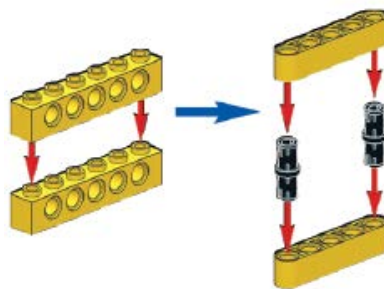


Figura 2. 8: Conexión de ladrillos con pernos prisiones y conexión de vigas mediante pasadores.
Elaborado por: Autores.

Los extremos redondos de las vigas Technic permiten construir estructuras y mecanismos que son más compactos y ligeros que los que usted puede construir con ladrillos estándar de LEGO. Por ejemplo, para dos ladrillos con clavijas para girar uno junto al otro en los soportes, las clavijas necesita tener dos agujeros vacíos entre ellos (véase la figura 2.9). En contraste, los vástagos de las vigas sin pernos puede ser justo al lado de la otra.

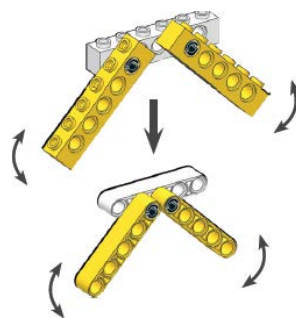


Figura 2. 9: Vigas permiten construir estructuras más compactas.
Elaborado por: Autores.

Las piezas que vienen en el Lego EV3 se dividen en las siguientes categorías: (a) vigas, (b) conectores y pasadores, (c) engranajes, (d) ruedas y bandas de rodadura, (e) otras piezas y (f) dispositivos electrónicos como el bloque EV3 Inteligente, motores, sensores y cables.

La figura 2.10 muestra las vigas rectas; sus nombres aparecen en la tabla 2.1. Las vigas se miden contando sus agujeros. Por ejemplo, una viga recta con tres agujeros es un haz de 3M (y se puede omitir el adjetivo "recta"). El número de agujeros en un haz corresponde a la longitud de la viga tal como se expresa en las unidades fundamentales de LEGO fundamentales (1M = aproximadamente 8 mm).

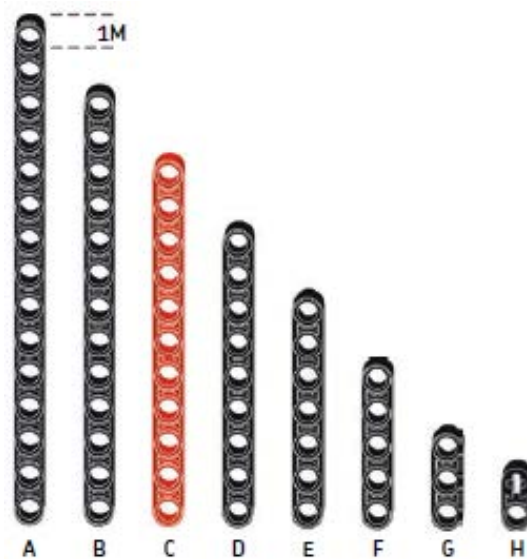


Figura 2. 10: Vigas permiten construir estructuras más compactas.
Elaborado por: Autores.

Tabla 2. 1: Clasificación de las vigas rectas.

Etiqueta de la Figura	Nombre de la Viga	Color
A	15 M	Negro
B	13 M	Negro
C	11 M	Rojo
D	9 M	Negro
E	7 M	Negro
F	5 M	Negro
G	3 M	Negro
H	2 M	Negro

Elaborado por: Autores

La figura 2.11 y la tabla 2.2 muestran las vigas angulares y sus nombres respectivamente. Un haz angular con tres agujeros antes y siete hoyos después de la curva es un haz angular 3x7. El mismo patrón de nomenclatura se utiliza para las otras vigas angulares. Tenga en cuenta que algunas vigas angulares tienen agujeros transversales en sus extremos.

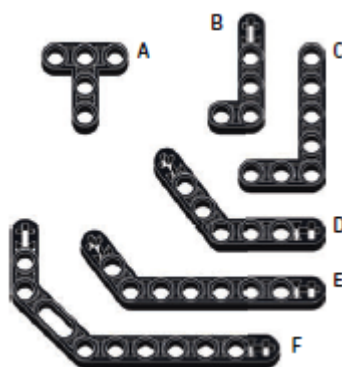


Figura 2. 11: Vigas permiten construir estructuras más compactas.
Elaborado por: Autores.

Tabla 2. 2: Clasificación de la vigas angulares.

Etiquetado de la figura	Nombre	Color
A	Viga T	Negro
B	Viga angular 2x4	Negro
C	Viga angular 3x5	Negro
D	Viga angular 4x4	Negro
E	Viga angular 3x7	Negro
F	Doble viga angular	Negro

Elaborado por: Autores

También tenemos vigas especiales denominadas marcos, como se muestra en la figura 2.12. Nos referimos a estos basados en sus formas como juntas (marcos) o simplemente marcos-H. Estas vigas especiales permiten construir estructuras sólidas, para que no se deshagan.

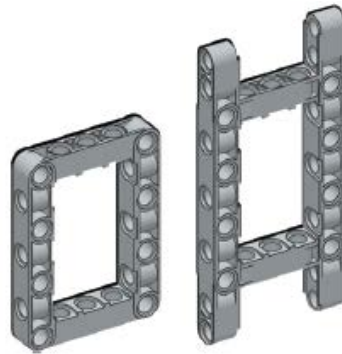


Figura 2. 12: El marco O y H.
Elaborado por: Autores.

Otras vigas delgadas y de enlaces se ilustran en la figura 2.13 y la tabla 2.3. Piense en los enlaces 6M y 9M como vigas con rótulas en sus extremos. Estos pernos de ajuste con enganches (ítems D y H véase la figura 2.14). Las rótulas permiten un amplio rango de movimiento y rotación, similar a las articulaciones del hombro o cadera.



Figura 2. 13: Las vigas delgadas y enlaces.
Elaborado por: Autores.

Tabla 2. 3: Clasificación de las vigas delgadas y enlaces.

Etiquetado de la figura	Nombre	Color
A	leva	Negro
B	Haz delgado 3M	Gris
C	enlace 6M	Negro
D	enlace 9M	Negro

Elaborado por: Autores

La figura 2.14 muestra pasadores renombrados por Technic. La línea recta significa los pasadores sin fricción (A-C); la línea ondulada indica pines con fricción (E-I). El perno del eje con enganche desmontable (D) aunque técnicamente no es un pasador liso, está presente para compararlo con el pasador con bola de remolque (H). La tabla 2.4 muestra los pasadores y pernos de eje.

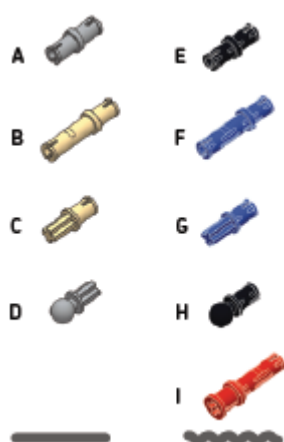


Figura 2. 14: Pasadores renombrados.
Elaborado por: Autores.

Tabla 2. 4: Clasificación de pasadores y pernos de eje.

Etiquetado de la figura	Nombre	Color
A	Pin sin fricción	Gris
B	Pin 3M sin fricción	Dorado
C	Perno del eje sin fricción	Dorado
D	Perno del eje con bola de remolque	Gris
E	Pin con fricción	Negro
F	Pin 3M con fricción	Azul
G	Perno del eje con fricción	Azul
H	Pin con bola de remolque	Negro
I	Pin 3M con parada casquillo	Rojo

Elaborado por: Autores

La figura 2.15 muestra dos casquillos, etiquetado como B1 (amarillo) y B2 (rojo). Por lo general, estos casquillos sobre los ejes sirven para evitar que los ejes se salgan de los agujeros, o utilizados para mantener el espacio entre dos o más elementos de una estructura.

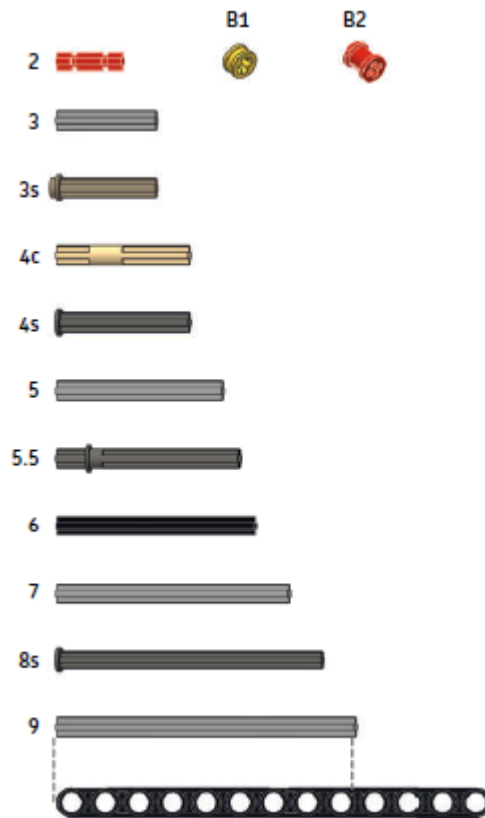


Figura 2. 15: Los ejes y casquillos.
Elaborado por: Autores.

La figura 2.16 muestra los conectores eje, pasador, y ángulos, y en la tabla 2.5 se enumeran sus nombres. Cada conector de ángulo (los etiquetados E, F, G y H) se identifica por un número en relieve en su cuerpo.

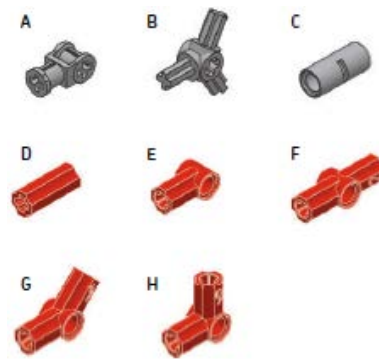


Figura 2. 16: Los ejes, conectores pin, y ángulo.
Elaborado por: Autores.

Tabla 2. 5: Clasificación de los ejes, conectores pin, y ángulo.

Etiquetado de la figura	Nombre	Color
A	Conector con los agujeros del eje	Gris
B	Hub conector con 3 ejes	Gris
C	conector Pin	Gris
D	conector Eje	Rojo
E	Ángulo conector # 1	Rojo
F	Ángulo conector # 2	Rojo
G	Ángulo conector # 4	Rojo
H	Ángulo conector # 6	Rojo

Elaborado por: Autores

Por ejemplo, bloques tipo cruz son esenciales para la construcción sin pernos, ya que le permiten construir en tres dimensiones. Recuerde, no se trata de apilamiento de ladrillo como RCX; estamos añadiendo partes de todos los lados, tal como se muestra en la figura 2.17.

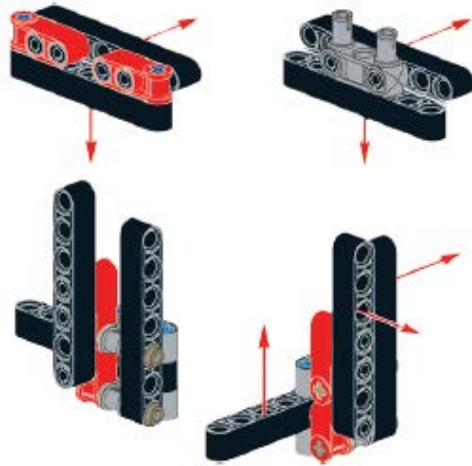


Figura 2. 17: Diseño con bloques transversales.
Elaborado por: Autores.

La figura 2.18 muestra los bloques transversales en el conjunto EV3, y la tabla 2.6 se enumeran sus nombres. Algunas entradas también enumeran un apodo para ciertas piezas; por ejemplo, "Mickey" y "Minnie" son nombres divertidos para las partes D y E, respectivamente.

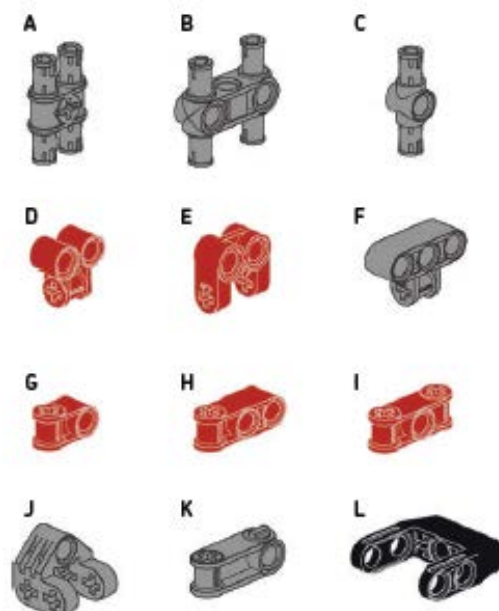
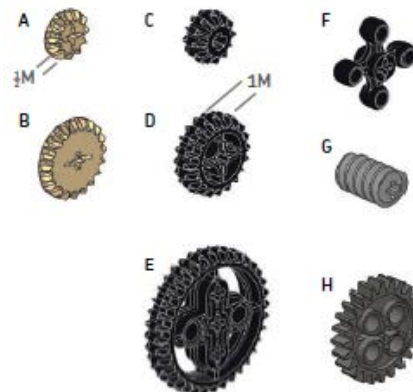


Figura 2. 18: Bloques transversales.
Elaborado por: Autores.

Tabla 2. 6: Los bloques transversales.

Etiquetado de la figura	Nombre	Color
A	Haz 2M con 4 pines	Gris
B	Haz 3M con 4 pines	Gris
C	Pin 3M con el agujero	Gris
D	2 × 1 cuadra cruz ("Mickey")	Rojo
E	2 × 2 tenedor bloque cruz ("Minnie")	Rojo
F	3 × 2 bloque transversal	Gris
G	Bloque transversal 2M	Rojo
H	Bloque transversal 3M	Rojo
I	Doble transversal Bloque	Rojo
J	Bloque transversal 2 × 2 × 2 tenedor	Gris
K	Bloque transversal 3M, dirección	Gris
L	Bloque transversal de caja de cambios	Negro

Elaborado por: Autores

Figura 2. 19: Tipos de engranajes.
Elaborado por: Autores.

Los engranajes son ruedas dentadas que engranan con otras partes dentadas (como engranajes, bastidores de engranajes y tornillos sin fin) para transmitir movimiento de rotación. La figura 2.19 muestra los engranajes incluidos en el conjunto EV3, con sus correspondientes nombres en la tabla

2.7. Los engranajes LEGO se identifican por el número de dientes, como se indica en su nombre seguido por z; por ejemplo, un engranaje de 24 dientes se llama un engranaje 24z.

La forma más sencilla y eficiente para el diseño de robots móviles sobre ruedas, EV3 contiene cuatro grandes ruedas con neumáticos, tres ruedas medianas con neumáticos, cuatro pequeñas ruedas con dos neumáticos pequeños, y dos bandas de rodadura de goma. La figura 2.20 muestra los diversos tipos de ruedas, neumáticos y bandas de rodadura en el conjunto EV3, y la tabla 2.20 se enumera sus nombres.



Figura 2. 20: Las ruedas, neumáticos y bandas de rodadura.
Elaborado por: Autores.

Tabla 2. 7: Clasificación de ruedas, neumáticos y bandas de rodadura.

Etiquetado de la figura	Nombre	Color
A	Banda de rodadura de goma	Negro
B	Ruedas pequeñas	Gris
C	Ruedas medias	Gris
D	Ruedas grandes	Negro
E	Neumáticos pequeños	Negro
F	Neumáticos medianos	Negro
G	Neumáticos grandes	Negro

Elaborado por: Autores

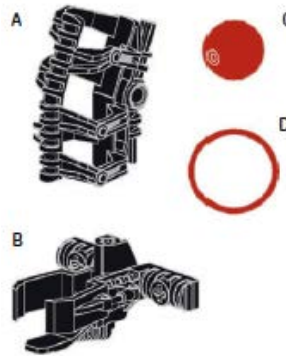


Figura 2. 21: Las diversas piezas.
Elaborado por: Autores.

Tabla 2. 8: Clasificación de diferentes piezas.

Etiquetado de la figura	Nombre	Color
A	Compartimiento de la bola	Negro
B	Tirador de bolas	Negro
C	Bola	Rojo
D	Banda elástica	Rojo

Elaborado por: Autores

La figura 2.22 muestra los diversos dispositivos electrónicos y sus nombres aparecen en la tabla 2.11. El conjunto EV3 contiene dos grandes servomotores, siete cables de cuatro 25 cm (10 pulgadas), dos cables de 35 cm (14 pulgadas) de cables, y uno de 50 cm (20 pulgadas) de cable, etc.

El bloque EV3 inteligente, es un microcontrolador que actúa como el cerebro para el diseño de aplicaciones robóticas. Cuenta con el sistema operativo Linux, que se ejecuta a través del controlador ARM9 con una frecuencia de 300 MHz, memoria RAM de 64 MB, memoria flash de 16 MB, ampliable con una tarjeta microSD hasta 32 GB. La resolución de pantalla es de 178x128 píxeles (blanco y negro).

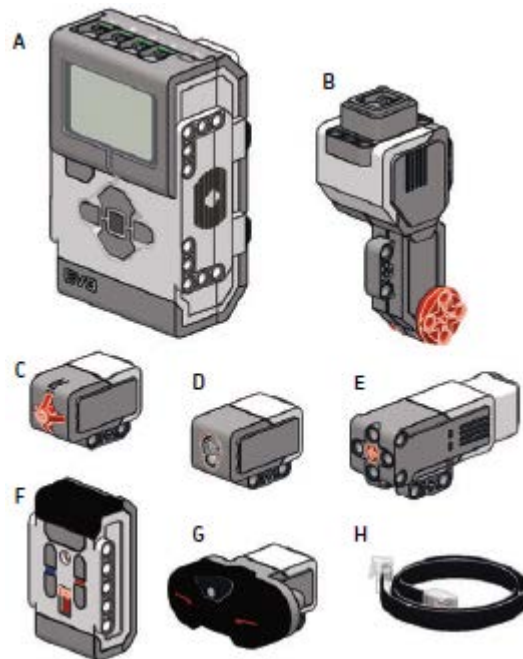


Figura 2. 22: Dispositivos electrónicos disponible en el conjunto EV3.
Elaborado por: Autores.

Tabla 2. 9: Piezas electrónicas

Etiquetado de la figura	Nombre
A	Bloque EV3 Inteligente
B	Servomotor grande
C	Sensor Touch
D	Sensores del color
E	Servomotor medio
F	Remoto IR Beacon
G	Sensor IR
H	Cable conector

Elaborado por: Autores

Los servomotores EV3 son motores diferentes al NXT 2.0, tienen un sensor de rotación incorporada (resolución de 1 grado) para permitir el control de movimiento preciso. El servomotor grande funciona entre 160 y

170 rpm, con un par de funcionamiento de 20 N·cm y un par de arranque de 40 N·cm. El servomotor grande, es más lento pero más fuerte que el servomotor mediano, en la cual su velocidad está entre 240 y 250 rpm con un par de funcionamiento de 8 N·cm y un par de arranque de 12 N·cm.

Un motor está detenido o parado (o se ha estancado) cuando recibe una orden, pero el eje es bloqueado por algún tope mecánico y es incapaz de moverse. Esto consume una gran cantidad de energía de la batería, y se debe evitar esta situación, por ejemplo, apagar el motor antes de que se quede atascado o retirar el bloque que está impidiendo que el eje gire libremente.

Los sensores permiten que determinados robots tengan la capacidad de tocar y observar. El sensor táctil es básicamente un interruptor que su robot puede usar para detectar el contacto con objetos. El sensor de color se puede medir la luz ambiente, medir la cantidad de luz reflejada por los objetos, y reconocer el color de los objetos. El sensor IR puede medir la distancia, detectar la distancia y el rumbo, así como recibir comandos remotos desde el IR Beacon.

2.5. Otras plataformas.

LEGO no es el único fabricante de robots que distribuye plataformas didácticas para el diseño de robots. Es decir, que hay compañías que

ofrecen plataformas casi idénticas al Lego EV3. A continuación se analizan algunas de estas plataformas:

2.5.1. Plataforma FISCHERTECHNIK.

La figura 2.23 muestra la plataforma Fischertechnik, con el cual es posible construir modelos robustos y realistas de máquinas, robots, etc. gracias a sus excelentes piezas y al microcontrolador que tiene incorporado. Son dirigidos a usuarios que deseen construir modelos a escalas para verificar el funcionamiento de máquinas, aunque también las personas pueden utilizarlo para realizar robots. La programación se realiza con ROBO Pro-Software que es proporcionado por el fabricante al comprar el producto. La mencionada plataforma cuenta con un microcontrolador de 16 bits, con entradas y salidas USB y puerto serie y conexiones para sensores y actuadores. Se trata de una excelente plataforma que sin embargo tiene un coste elevado y presenta cierta complejidad de uso.

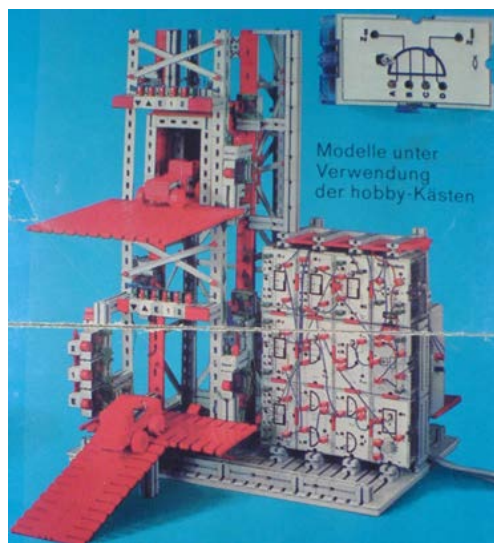


Figura 2. 23: Plataforma creada con Fischertechnik
Fuente: Ruiz, J., (2014)

2.5.2. Plataforma de Arduino

Esta plataforma (véase la figura 2.24) basada en una placa muy sencilla con pines de entrada y salida. Su entorno de desarrollo es el lenguaje de programación *Processing/Wiring*. La plataforma Arduino puede desarrollar robots autónomos. Es posible adquirir la placa y los componentes por separado o también ensamblados, para lo cual LEGO Mindstorms tiene muchos beneficios a lado de Arduino.

Dicha placa permite añadir tanto sensores como actuadores, debido a los pines de entradas y salidas que tiene disponible, ya sea USB, Bluetooth, etc. El microcontrolador es Atmega de 8 bits, cuyo entorno de programación se descarga gratuitamente desde la web de Arduino. Está orientado para personas que recién se inician en el mundo de la electrónica y la programación, pero el costo es muy elevado en función de los componentes adquiridos.



Figura 2. 24: Plataforma de Arduino
Fuente: Arduino

2.5.3. Plataforma Robotics Bioloid.

La plataforma robótica BIOLOID (véase la figura 2.25) tiene ciertas características similares a LEGO Mindstorms NXT, la cual es construida con tecnología inteligente servo-controlada. Viene incorporado un microcontrolador robusto, servomotores, sensores de luz frontal y lateral, micrófonos y un altavoz.



Figura 2. 25: Plataforma del Robotics Bioloid
Fuente: http://www.robotis.com/x/bioloid_en

CAPÍTULO 3: Diseño y Programación de LEGO EV3

En el presente capítulo se realizará el diseño y programación en la plataforma de programación EV3 de LEGO Mindstorms que permitirá la implementación de determinadas aplicaciones de robots para la categoría de creatividad LEGO en los Concursos Ecuatorianos de Robótica (CER). Se escogió el diseño de un robot

3.1. Diseño del robot explorador.

Una vez que está familiarizado con las piezas que vienen en el conjunto EV3, es el momento de construir un robot que lo denominamos <<Robot Explorador o Móvil>>. Está diseñado y construido con pocas partes, gracias a su diseño modular permite la reconfiguración para diversas aplicaciones (misiones) que serían un complemento. En esta sección, mostraremos varios diseños combinando ruedas con diferentes sensores e instrumentos de LEGO EV3, tal como se muestra en las figuras 3.1 y 3.2), aunque podemos cambiar fácilmente las ruedas por para bandas de rodadura.

En los siguientes apartados se explicará cómo los sensores e instrumentos son añadidos y programados para realizar diversas tareas. Antes de iniciar con el diseño, se procede a etiquetar los colores (véase la tabla 3.1) de determinados elementos, por ejemplo, para distinguir las piezas.

Tabla 2. 10: Etiquetado de colores para piezas de LEGO EV3.

Color	Etiqueta
White (Blanco)	W
Grey (Gris)	G
Dark Grey (Gris oscuro)	DG
Yellow (Amarillo)	Y
Red (Rojo)	R
Blue (Azul)	B



Figura 3. 1: Componentes del Lego Mindstorms EV3.
Fuente: Lego EV3.

Cuando no se especifique lo contrario, los pines son pasadores negros con fricción, los pines de ejes son pasadores de ejes de color azul con fricción y los pines 3M son pasadores azules largos con fricción. Hay que recordar que los ejes de longitud impar (3M, 5M, 7M, 9M) son de color gris claro.

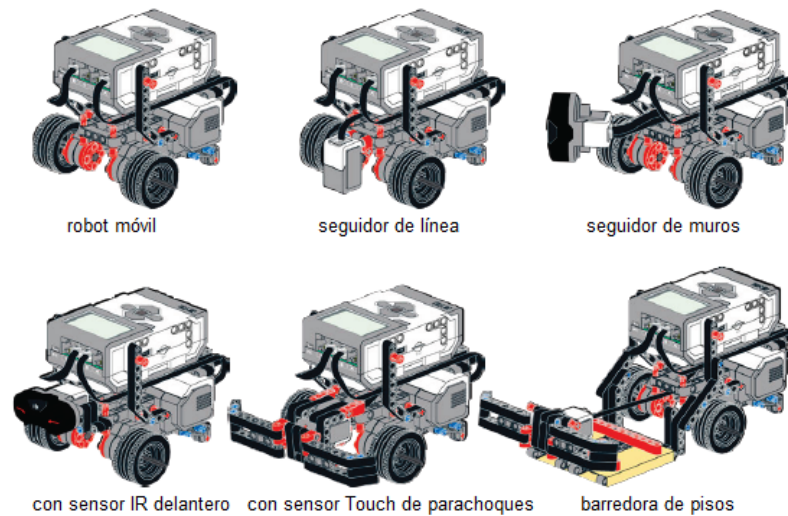


Figura 3. 2: Posibles combinaciones del robot móvil reconfigurable.
Elaborado por: Autores.

3.1.1. Módulo Base

Primero construimos el módulo base, que será utilizado para colocar las ruedas (véase la sección 3.1.2) o las bandas de rodadura (véase sección 3.1.3). La figura 3.3 se muestra el primer paso para la construcción del módulo base.

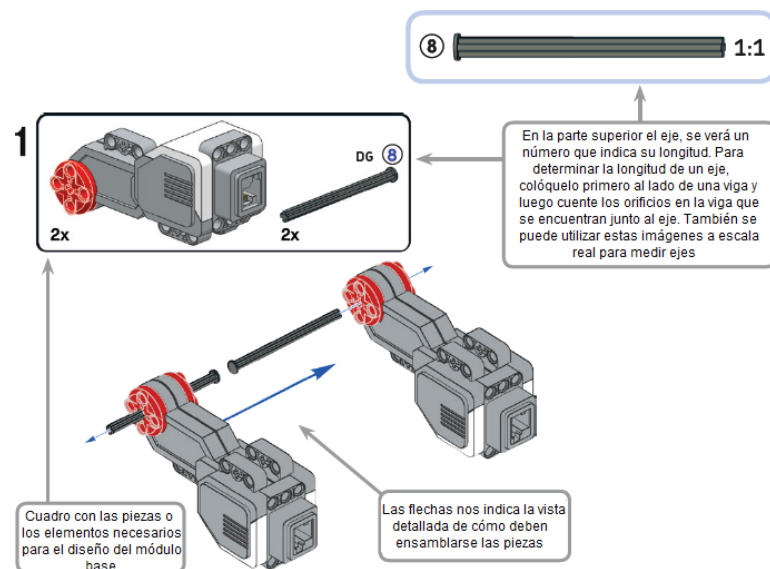


Figura 3. 3: Paso 1 para el módulo base del robot móvil.
Elaborado por: Autores.

La figura 3.4 muestra el segundo paso, que consiste en mantener unidos los dos servomotores mediante un marco (véase en el recuadro (2)).

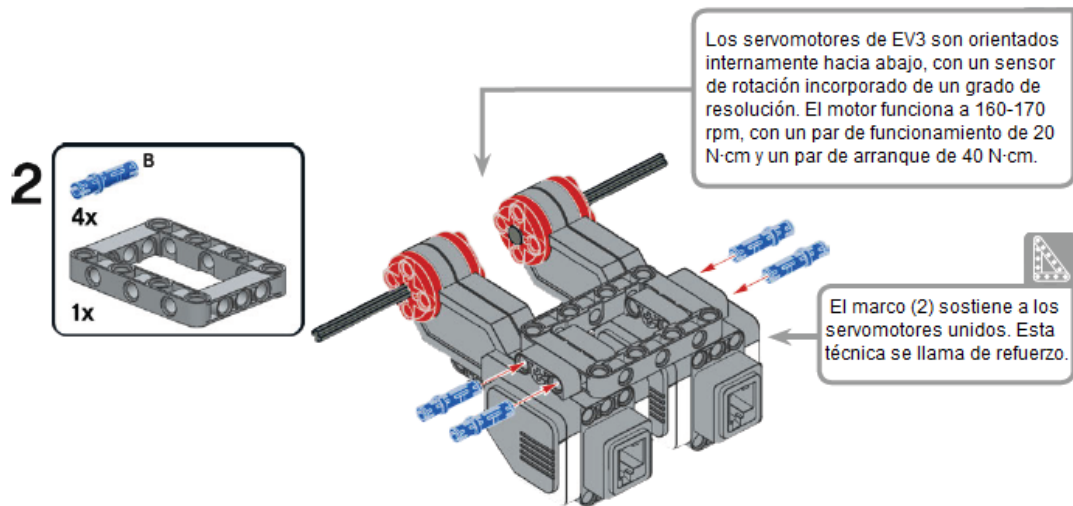


Figura 3. 4: Paso 2 para el módulo base.
Elaborado por: Autores.

Desde la figura 3.5 hasta la figura 3.10 se muestran el resto de pasos necesarios para la construcción del módulo base, que posteriormente serán adaptados sensores para seguir líneas o muros, sensores infrarrojos, sensores de tacto (touch) que serán conectados al sistema controlador del Lego EV3.

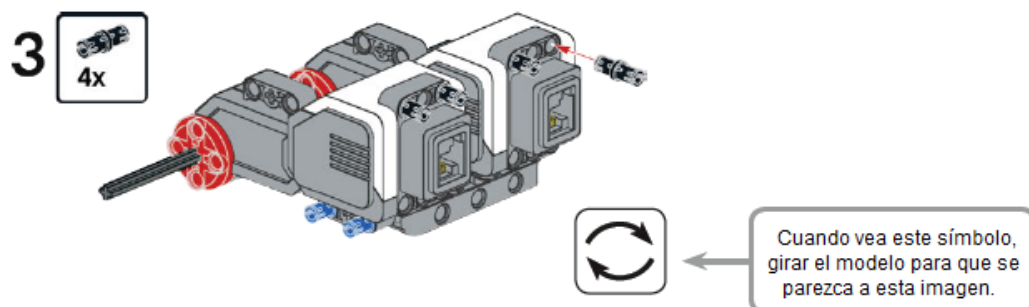


Figura 3. 5: Paso 3 para el módulo base.
Elaborado por: Autores.

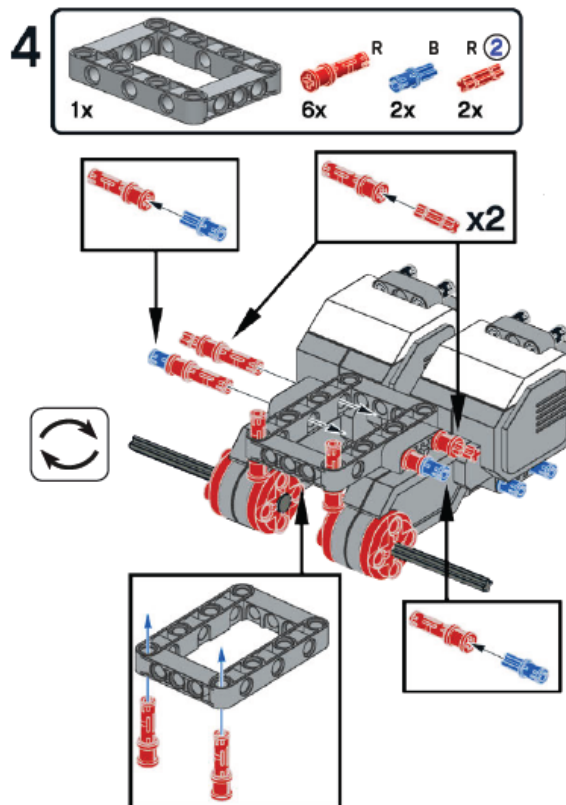


Figura 3. 6: Paso 4 para el módulo base.
Elaborado por: Autores.

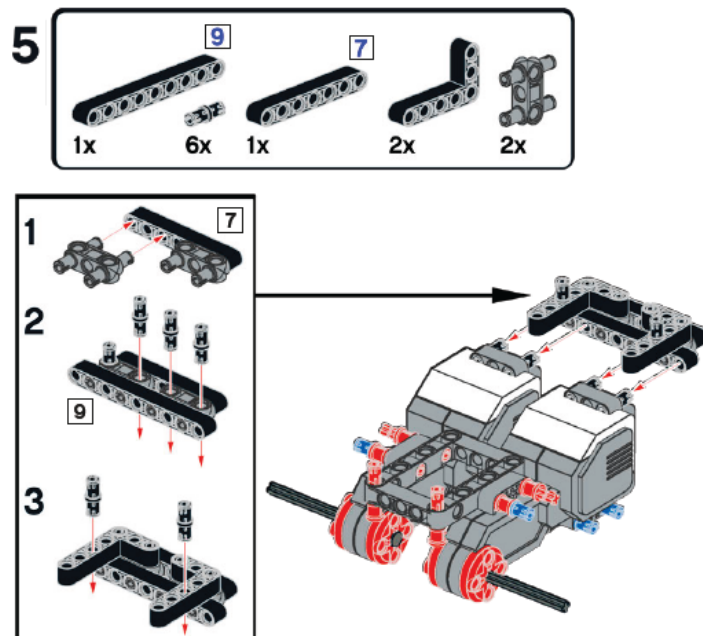


Figura 3. 7: Paso 5 para el módulo base.
Elaborado por: Autores.

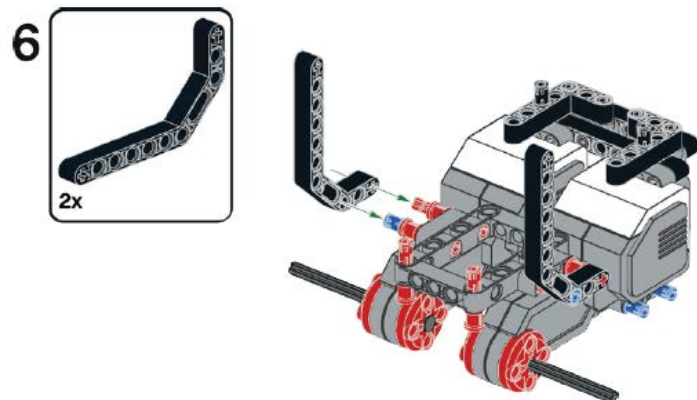


Figura 3. 8: Paso 6 para el módulo base.
Elaborado por: Autores.

La figura 3.9 muestra el montaje del sistema controlador del Lego EV3, en el mismo se conectan todos los sensores disponibles en la plataforma didáctica Lego EV3. Este diseño puede ser una opción para la categoría creatividad en los concursos de robótica, en especial el CER 2015 que se desarrollará en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

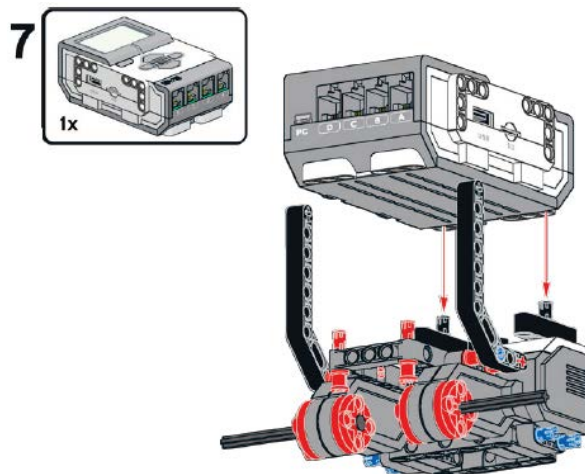


Figura 3. 9: Paso 7 – montaje del bloque controlador EV3.
Elaborado por: Autores.

La figura 3.10 muestra como los pasadores (2x) aseguran al bloque controlador EV3, gracias a estos pines el robot móvil puede ser tomado fácilmente y sacar el controlador EV3 sin necesidad de aplica mucha fuerza.

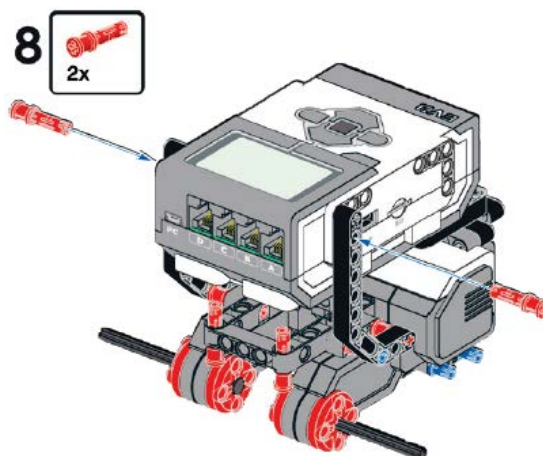


Figura 3. 10: Paso 6 para el módulo base.
Elaborado por: Autores.

3.1.2. Incorporación de ruedas al módulo base del robot móvil.

A continuación se mostrarán los pasos para armar el sistema de ruedas que serán incorporados al módulo base de la sección 3.1.1.

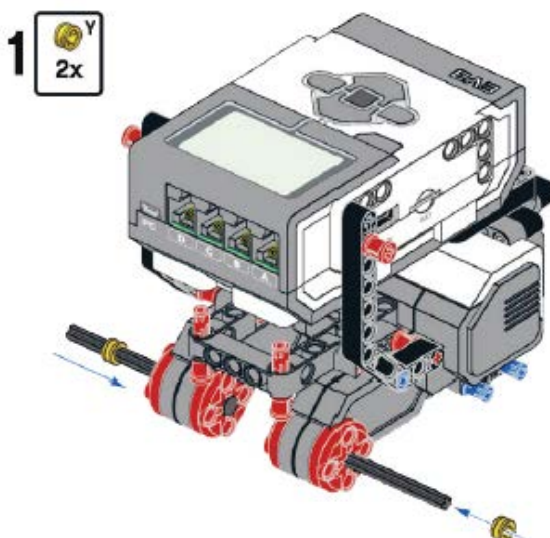


Figura 3. 11: Paso 1 para montar el sistema de ruedas al módulo base.
Elaborado por: Autores.

La figura 3.12 muestra unas pequeñas ruedas giratorias que servirán de apoyo para el robot móvil. Estas ruedas son pasivas, lo que significa que no impulsan el robot, pero sólo tiene que seguir el movimiento del robot. Tal

como ocurre en los carros de compras de supermercados, estas ruedas giran a veces cuando el robot cambia de dirección. La figura 3.13 muestra como debe ser instalada las ruedas en el módulo base.

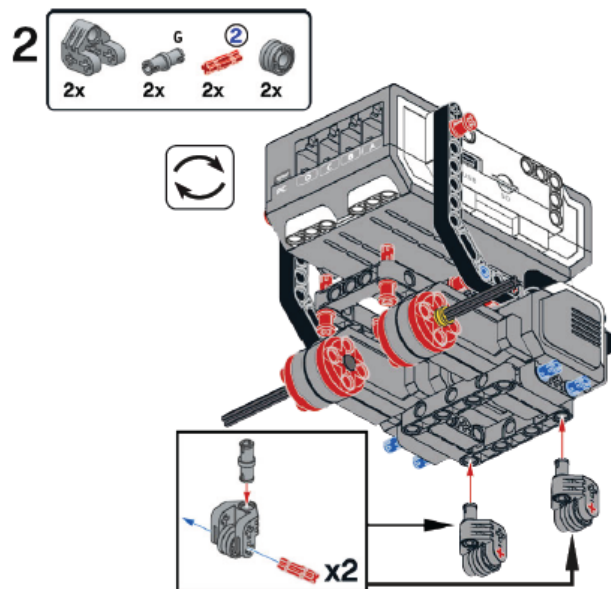


Figura 3. 12: Paso 2 para montar el sistema de ruedas al módulo base.
Elaborado por: Autores.

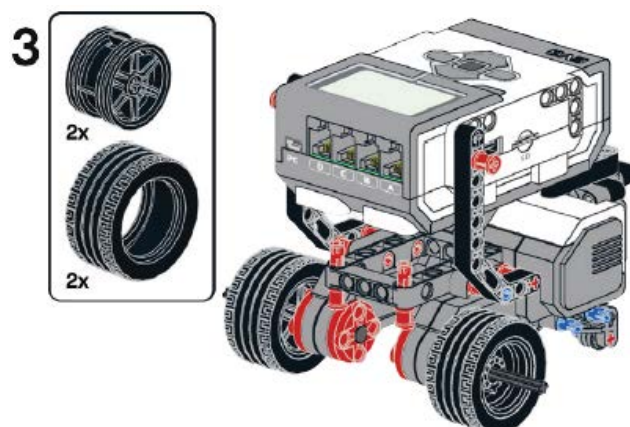


Figura 3. 13: Paso 3 para montar el sistema de ruedas al módulo base.
Elaborado por: Autores.

El bloque controlador EV3 dispone de cuatro puertos de salida, etiquetados como A, B, C y D. Utilizamos cables cortos para conectar el motor derecho al puerto C y el motor izquierdo al puerto B. Finalmente, el

diseño del robot móvil con ruedas está listo para ser programado, en la sección 3.2 se muestra la programación del robot móvil.

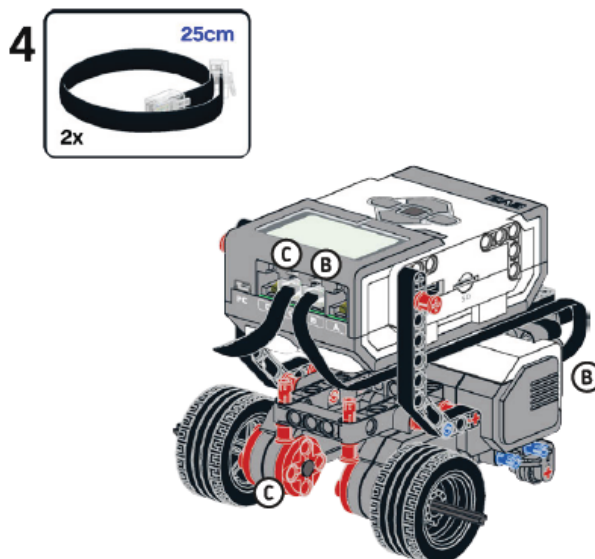


Figura 3. 14: Paso 4 que muestra las conexiones al bloque EV3.
Elaborado por: Autores.

3.1.3. Incorporación del sensor Touch parachoques al robot móvil.

Para la presente sección, se desarrollará otro complemento que se añadirá a los diseños desarrollados en las secciones 3.1.1 y 3.1.2. Antes de incorporar al robot móvil, primero debemos armar la estructura del sistema parachoques con sensor Touch, tal como se muestra en la figura 3.15. La figura 3.15 se muestra paso a paso el proceso de incorporar piezas al sensor Touch para finalmente ensamblarlo (véase la figura 3.17).

La figura 3.16 muestra el sistema parachoques con sensor Touch completamente terminado, y finalmente será adaptado al robot móvil, tal como se muestra en la figura 3.17.

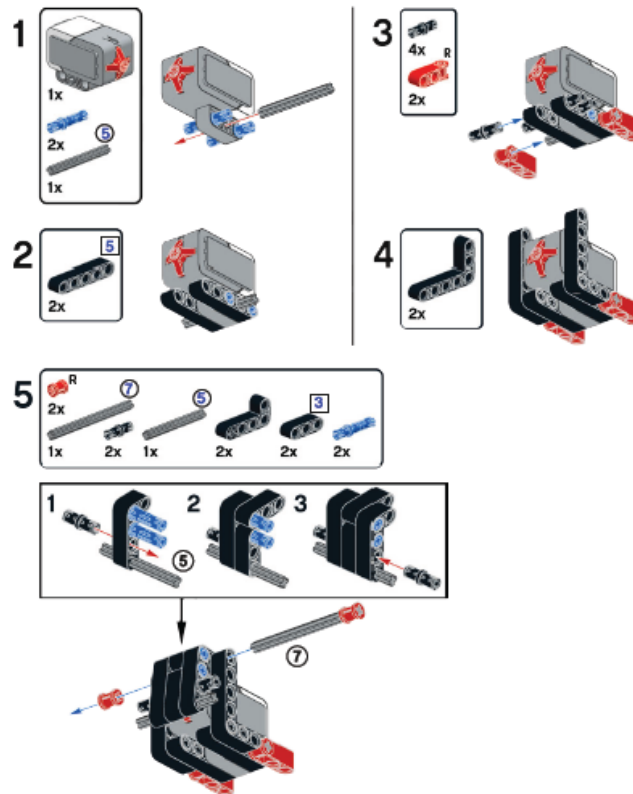


Figura 3. 15: Pasos para incorporar piezas al sensor touch.
Elaborado por: Autores.

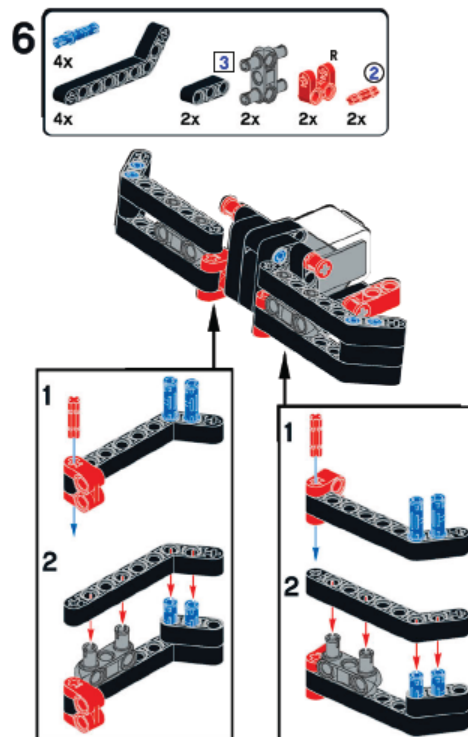


Figura 3. 16: Paso 6 para armar el parachoques incorporado al sensor Touch.
Elaborado por: Autores.

Finalmente, en la figura 3.17 se observa como ensamblar el sistema parachoques con sensor Touch al robot móvil. Hay que tener precaución en la construcción y evitar que el resto de piezas que sobren del sistema didáctico Lego EV3 se pierdan.

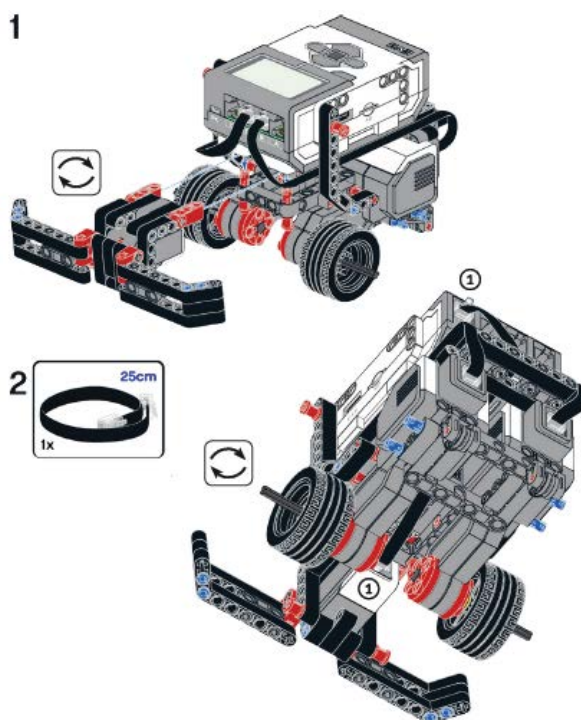


Figura 3. 17: Robot móvil con sistema parachoques con sensor Touch.
Elaborado por: Autores.

El bloque EV3 permite programar la aplicación desarrollada sin necesidad de una computadora de escritorio o portátil. Basta con conectar correctamente los motores y sensores a los puertos predeterminados. El puerto por defecto del sensor Touch para programar la aplicación es 1. Auto-ID del sistema EV3 permite al bloque EV3 reconocer el tipo de sensor conectado a un puerto de entrada. Si conectamos un motor a un puerto del sensor, o viceversa, se mostrará una advertencia.

3.1.4. Incorporación del sensor de color para robot móvil seguidor de línea.

A continuación, se mostrará otro diseño a partir del módulo base y sus ruedas, para lo cual utilizamos el sensor de color. Este sensor permite identificar colores de una línea, por ejemplo en concursos de robótica existen categorías como seguidor de líneas blancas o negras en una pista de robots, ya sea velocistas o destreza, pero desarrollados en Lego EV3.

El sensor de color tiene un sistema incorporado llamado LED RGB que puede emitir luz roja, verde o azul. El sensor detecta diferentes colores mediante el parpadeo de los tres colores en un bucle muy rápido y la medición de la luz devuelta por la superficie a explorar. Cuando el sensor está midiendo la cantidad de luz reflejada, el LED se ilumina en rojo. La figura 3.18 muestra los dos pasos para incorporar piezas al sensor de color y posteriormente adaptadas al robot mostrado en la figura 3.19.

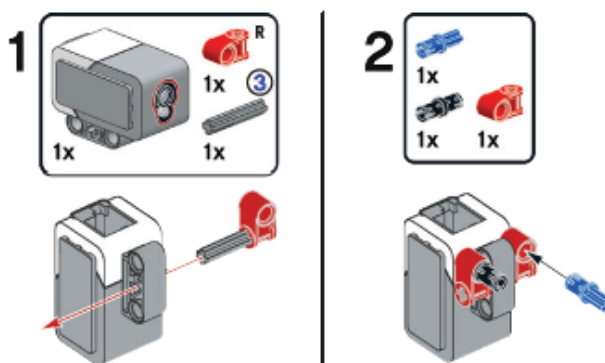


Figura 3. 18: Pasos para incorporar piezas al sensor de color.
Elaborado por: Autores.

También se puede programar mediante el bloque EV3, debemos conectar correctamente los motores y sensores a sus puertos

predeterminados. La aplicación envía una cantidad fija de energía a los motores de los puertos B y C, al mismo tiempo que le permite controlar el nivel de potencia de los motores conectados a los puertos A y D de forma independiente. Esto será muy útil si afinamos el seguimiento de línea.

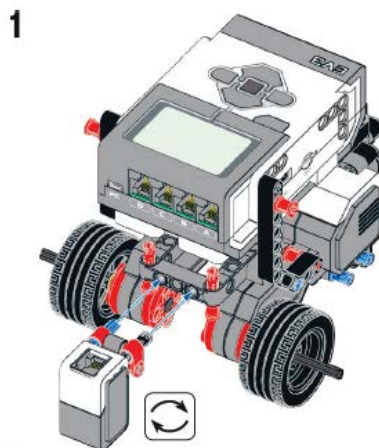


Figura 3. 19: Paso 1 que muestra la conexión al módulo base.
Elaborado por: Autores.

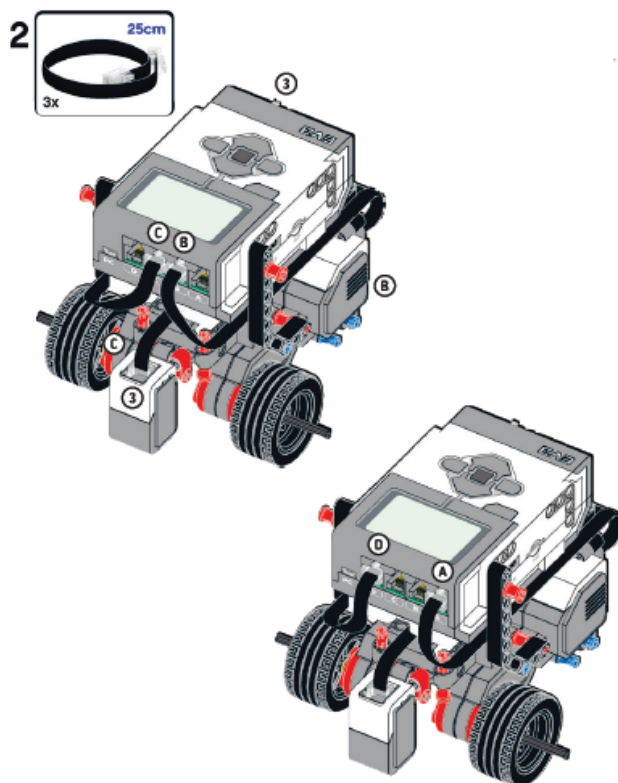


Figura 3. 20: Paso 2 que muestra las conexiones al bloque EV3.
Elaborado por: Autores.

3.1.5. Incorporación del sensor IR para robot móvil detector de objetos.

El sensor digital de infrarrojos (IR) detecta la luz infrarroja reflejada por los objetos sólidos y recibe órdenes del IR a distancia. El sensor IR se puede utilizar de tres modos: modo de proximidad, modo de linterna (faro), y modo remoto.

- Modo de proximidad, el sensor de IR emite ráfagas de luz infrarroja y utiliza la cantidad de luz reflejada de un objeto para estimar la distancia a ese objeto desde el sensor. Se informa de la distancia utilizando los valores de porcentaje entre 0 (muy cerca) y 100 (muy lejos), pero no da un número específico de centímetros o pulgadas.
- Modo faro, el sensor puede estimar el rumbo (valores de -25 a 25) y la proximidad a la baliza (0-100 por ciento).
- Modo remoto, recibe los comandos numéricos enviados por el sensor IR.

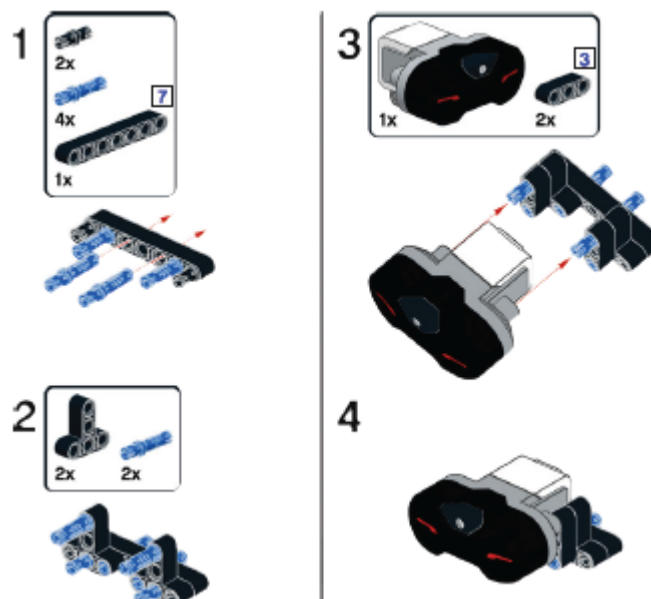


Figura 3. 21: Pasos para incorporar piezas al sensor IR.

Elaborado por: Autores.

La figura 3.21 muestra los pasos que se deben seguir para incorporar las piezas al sensor IR y posteriormente al robot móvil (véase la figura 3.22).

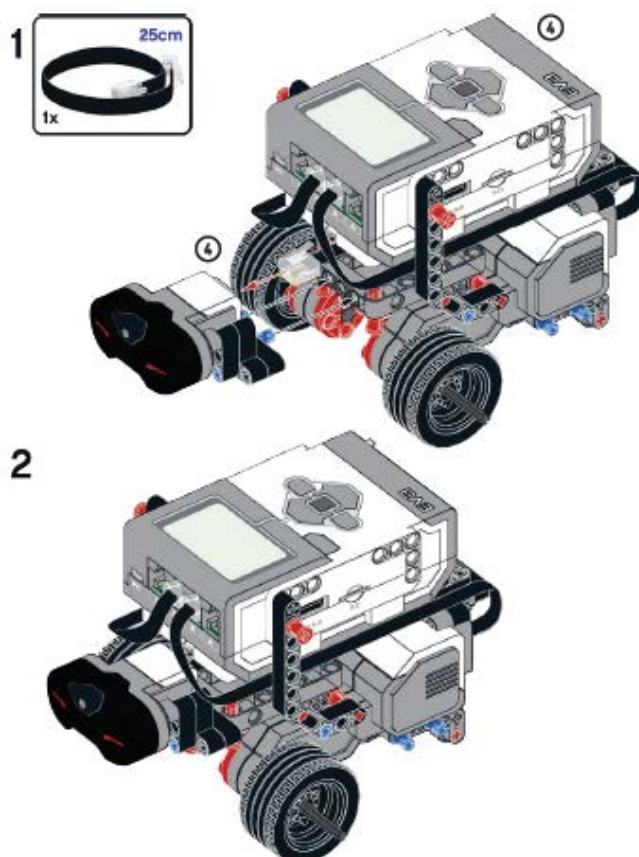


Figura 3. 22: Pasos para incorporar piezas al sensor IR.
Elaborado por: Autores.

3.1.6. Incorporación del sensor IR para robot móvil seguidor de paredes.

Finalmente, realizamos el diseño del robot móvil seguidor de muros a través del sensor IR, casi similar al robot de la sección anterior. Esta aplicación puede ser de gran utilidad, aunque el principio sigue siendo detectar un objeto sólido como las paredes. La figura 3.23 muestra las piezas incorporadas al sensor IR y la figura 3.24 muestra al robot móvil seguidor de paredes.

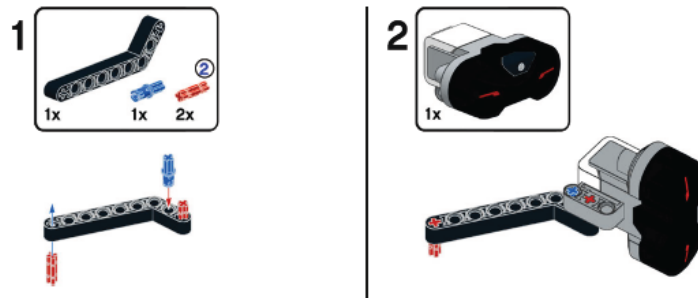


Figura 3. 23: Pasos para incorporar piezas al sensor IR.
Elaborado por: Autores.

Adicionalmente, se puede conectar tanto el módulo de seguimiento de línea y el módulo seguidor de paredes, esto permitirá que el robot móvil pueda detectar manchas de diferentes colores en el suelo mientras que sigue una pared. Esta configuración permite que un robot determine su posición en una habitación: La base de operaciones podría estar marcada por un punto verde, mientras que destino del robot por un punto rojo, y así sucesivamente.

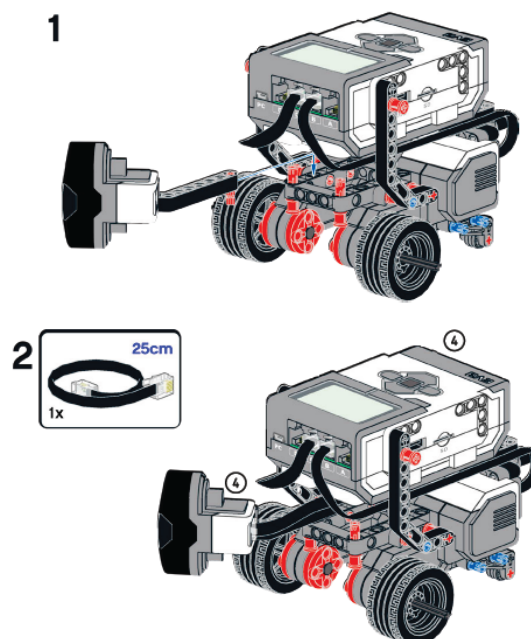


Figura 3. 24: Pasos para incorporar piezas al sensor IR.
Elaborado por: Autores.

3.2. Desarrollo de la programación en bloque.

En esta sección vamos a cubrir la programación con el software EV3 de las aplicaciones desarrolladas en la sección 3.1. El Software EV3 permite programar cualquier robot que se desea desarrollar de una manera fácil e intuitiva. También cuenta con herramientas para documentar los proyectos con comentarios, fotos y vídeos.

La guía oficial de usuario del Software EV3 da una comprensión básica de la interfaz y del software incorporado en el bloque EV3 inteligente, ambos proporcionan una guía en formato digital (PDF) del Software EV3. Es importante para los lectores de este trabajo de titulación contar con el manual en digital o impreso.

3.2.1. Programación gráfica mediante el Software EV3.

A continuación se muestra las programaciones de los robots diseñados en la sección 3.1, para lo cual se escogieron tres. Inicialmente programamos el EV3 para una simple tarea, que llamaremos “Detector de Colisión” (véase la figura 3.25) ya que este cada vez que colisiona con una pared u objeto retrocederá y rotará para seguir de frente. El objeto o pared será detectado gracias al sensor touch, el cual está en la parte delantera del robot móvil.



Figura 3. 25: Programación para la detección de colisiones por medio del sensor Touch conectado en el puerto 1 del bloque EV3.
Elaborado por: Autores.

A continuación presentaremos dos programaciones más para realizar aplicaciones sencillas en el robot móvil. Una de ellas, es seguir una línea denominado Seguidor de Línea (véase la figura 3.26), a través del sensor de luz de color que permite detectar un contraste oscuro y poder diferenciar con el resto del entorno.

Luego de diferenciar la línea de color oscuro (negro) con el resto este lo sigue, y así repitiendo toda la toma de decisiones en un bucle a cada momento para poder guiar poco a poco el robot móvil diseñado se mueva en la dirección correcta.

Y finalmente, se realiza la programación para una nueva aplicación del robot móvil a través del sensor infrarrojo. El sensor IR permite detectar objetos sólidos, en este caso una pared o muro, pero considerando la distancia de aproximación. La aplicación fue construida en la sección 3.1 que la denominamos “seguidor de paredes” (véase figura 3.27), para evitar colisionar y tener un recorrido sin problemas.

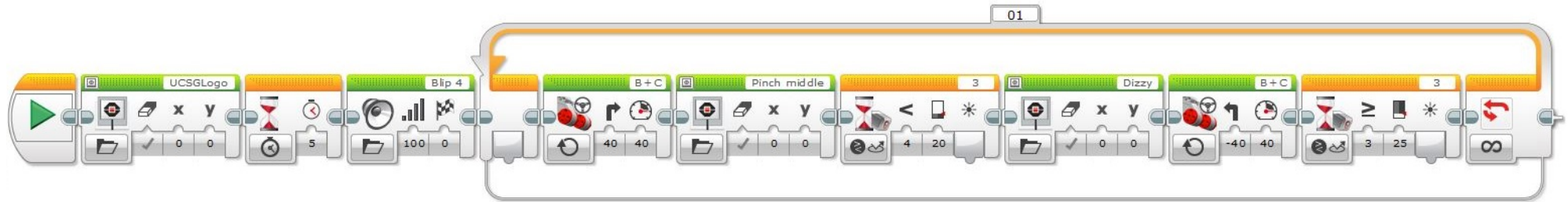


Figura 3. 26: Programación del seguidor de línea, donde el sensor de color de luz está conectado en el puerto 3 del NXT.
Elaborado por: Autores.

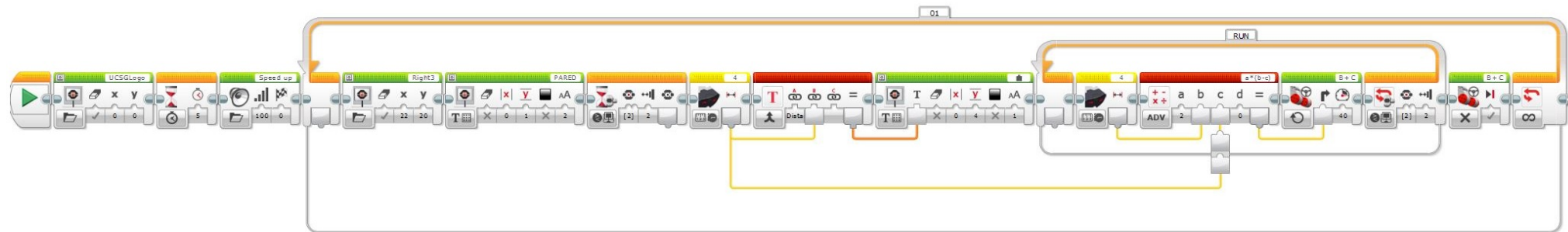


Figura 3. 27: Programación para el seguimiento de pared por medio del sensor infrarrojo conectado en el puerto 4 del NXT.
Elaborado por: Autores.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

- A pesar de que la plataforma Mindstorms NXT y EV3 se diseñaron para adolescentes, fueron los adultos, profesionales y estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones, Electrónica y Ciencias de la Computación, los que hicieron de esta plataforma un éxito total, gracias a la colaboración e investigación de un sinnúmero de investigadores alrededor del mundo.
- El desarrollo del trabajo de titulación fue obtenido gracias a la documentación existente en internet, publicaciones de artículos científicos y de proyectos de graduación de universidades del exterior y otras del Ecuador y por la misma comunidad de robótica de LEGO que no se detiene en ningún momento.
- En cuanto al software que utiliza el Mindstorms EV3 tuvimos contactos por correo electrónico y de foros de la comunidad de robótica LEGO, donde se lograron aclarar dudas respecto a los alcances de determinadas interfaces de programación con el bloque EV3 inteligente.
- La programación desarrollada en el presente trabajo de titulación fue diseñada en su totalidad por nosotros, ya que la plataforma didáctica LEGO EV3 no viene incluido los programas ni tampoco vienen armados o contruidos los robots, debido a que la idea principal es incentivar la creatividad de los alumnos de la Facultad de Educación

Técnica para el Desarrollo, para futuras temas de trabajo de titulación que puedan controlar o manipulas robots prototipos mediante LabView y Matlab/Simulink.

4.2. Recomendaciones.

- Promover cursos de capacitación en robótica orientado a los alumnos que recién inicien sus estudios en la FETD para promover en ellos la investigación.
- Promover concursos de robótica internos en la FETD y del Club de Robótica en la UCSG para asociarse a la Federación Ecuatoriana de Robótica (FER).
- Motivar a los estudiantes y docentes de la FETD el desarrollo y la investigación de aplicaciones del Lego NXT para futuros proyectos integrando nuevas tendencias tecnológicas para encontrar soluciones a las mismas, además de ser una de las líneas de investigación que fomenta el actual Gobierno Ecuatoriano, en cuanto a las TIC's.
- Sugerir a la FETD a través de sus autoridades académicas la creación de la materia de Fundamentos de Robótica en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones y lo mismo para Ingeniería en Electrónica en Control y Automatismo pero adicional una materia llamada Robótica avanzada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, J., Blanco A., S., Blanco S., S., Escribano, R., González, V., Pascual, S., & Rodríguez, A., (2004). *Tecnologías de la Información y de la Comunicación*.

Atmatzidou, (2008). *The use of LEGO Mindstorms in elementary and secondary education: game as a way of triggering learning*. Intl. Conf. on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots, Venice (Italy) 2008 November,3-4 pp. 22-30.

Bagnall, B., (2007). *Maximum LEGO NXT, Building Robots with Java Brains*. Variant Press, 2007.

Bermejo, S., (2003). *Desarrollo de robots basados en el comportamiento*. Ediciones UPC, España.

Butler, D., & Martin, F., (2001). *Learning with LEGO Mindstorms in Irish Primary Education*. The Spring Symposium of the American Association for Artificial Intelligence (AAAI), March 2001, Stanford, California USA

Gandy, E. A. (2010). *The Use of LEGO MINDSTORMS NXT Robots in the Teaching of Introductory Java Programming to Undergraduate Students*.

Gómez, J. M., Mandow, A., Fernández, J., & García, A., (2010). *Using LEGO NXT Mobile Robots With LabVIEW for Undergraduate Courses on Mechatronics*, IEEE Transactions on Education,

IEEE Robotics, (2007). *IEEE Robotics and Automation Society*.
Extraído en abril 2011 de la página web: <http://www.ieee-ras.org/>

Lew, M., Horton, T., & Sherriff, M., (2010). *Using LEGO MINDSTORMS NXT and LEJOS in an Advanced Software Engineering Course. The 23rd Annual IEEE-CS Conference on Software Engineering Education and Training*, Pittsburg, PA, Mar 9-12, 2010.

Márquez, G., (2008). *Desarrollo de un Sistema de Monitoreo para diversas aplicaciones*. Proyecto de grado de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de los Andes.

Moundridou, M. & Kalinoglou, A., (2008). *Using LEGO Mindstorms as an Instructional Aid in Technical and Vocational Secondary Education: Experiences from an Empirical Case Study*, Conference: European Conference on Technology Enhanced Learning - ECTEL , pp. 312-321, 2008.

Nieves, G., (2008). *Estudio de las posibilidades didácticas en ingeniería de control del LEGO Mindstorms NXT*. Trabajo de grado de Ingeniero Técnico Industrial de la Universidad Politécnica de Cartagena, España.

Ochoa, I., (2015). *Robótica y Mecatrónica*. Página Web Académica.

Odorico, A., Lage, F., & Cataldi, Z., (2006). *La robótica: Una tecnología actual, clave en los sistemas de producción moderna vista desde una perspectiva pedagógica*. Laboratorio de Informática Educativa y Medios Audiovisuales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Real Academia Española (2015). *Definición de robot*. Disponible el línea en la página web: www.rae.es

Ruiz, J., (2014). *Robótica: Estado del Arte*. Doctorando en Sistemas de Información de la Universidad de Deusto.

Santos, J., & Duro, R., (2004). *Evolución artificial y robótica autónoma*. Editorial RAMA, 2004.

Anexos

