



Facultad de Estudios Superiores

Acatlán

Centro de Desarrollo Tecnológico
Laboratorio de Algoritmos para la Robótica



TDP: Manejo autónomo con LEGOS, plan TMR-2024 Enero-Septiembre 2024



Presentan:

**Miriam Hernández, Carlos Giovanni Donjuan,
César Ricardo Zetina, Abelino Zuñiga**

Reporte Técnico

TDP: Manejo autónomo con LEGOS, plan TMR2024

Enero-Septiembre 2024

Donjuan Carlos Giovanni, Zetina César Ricardo, Zuñiga Abelino, Hernández Miriam

1. Introducción

En el presente documento se realiza una detallada descripción de la solución al problema: Manejo autónomo con LEGOS, de la categoría IEEE LARC Standard Educational Kit (LARC-SEK). Esta solución se llevó a prueba durante el XV TMR – Decimoquinto Torneo Mexicano de Robótica, en el cual el equipo participante logró obtener el 3er lugar en dicho evento. Este evento fue realizado en la Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, del 18 al 20 de abril del 2024.

El equipo participante, trabajó alrededor de dos meses de forma continua para lograr llevar a cabo una buena participación. Cabe mencionar que el equipo participante estuvo conformado por alumnos de la carrera de Matemáticas Aplicadas y Computación, de distintos semestres y niveles, por lo que el equipo formado fue muy característico por la forma en la que tuvieron que adaptar su comunicación y emparejamiento de ideas para lograr implementar una solución al problema planteado.

A lo largo del documento se describe cada etapa, iniciando con la descripción del problema, se continuará con el planteamiento de solución, la puesta en marcha, las pruebas realizadas, las áreas de oportunidad y finalizará con las conclusiones.

2. Descripción del problema

Para muchas personas, los coches autónomos pueden parecer una imposibilidad, una visión de un futuro lejano con aires de ciencia ficción. Sin embargo, muchas empresas tecnológicas y fabricantes de vehículos están sumando esfuerzos para que la conducción autónoma sea una realidad cada vez más cercana a nosotros.

Siguiendo esta tendencia tecnológica, las aplicaciones de transporte también están invirtiendo y apostando por este prometedor futuro. Así, algunas empresas están impulsando un concurso para ver qué vehículo sería capaz de transportar el mayor número de pasajeros en el menor tiempo posible.

a. Reglas

- i. **Objetivo General:** Los participantes deben construir un robot capaz de orientarse, trasladarse por las calles de la ciudad, no chocar con los obstáculos, encontrar a los pasajeros, además de transportarlos a ubicaciones preestablecidas con eficiencia y agilidad.

- ii. Los Robots: Se podrá construir un sólo robot capaz de realizar todos los desafíos propuestos en la competición. El tamaño máximo permitido es de 25 x 25 x 25 cm, no hay límite en la cantidad de piezas, sensores y controladores. Los componentes sólo pueden ser de un tipo de kit (LEGO, Vex R, etc.). El robot debe ser totalmente autónomo.
- iii. El Escenario: Es una lona impresa proporcionada por el comité organizador, como se muestra en la figura 1. El tamaño es de 1.5 m x 3.56 m.

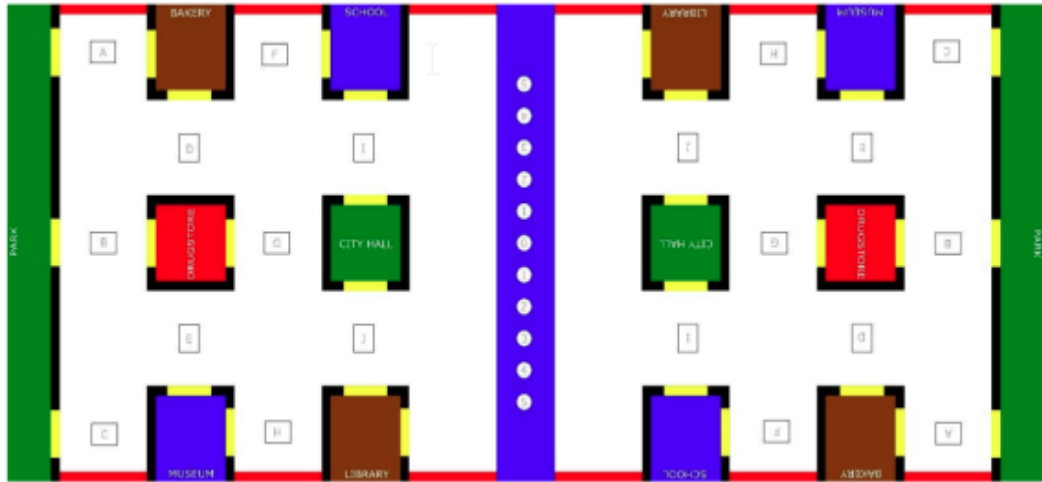


Figura 1. Escenario de la ciudad

Es un escenario en espejo, por lo que las áreas se describen de la siguiente forma:

- Parque, área verde.
 - Panadería, área cuadrada color café.
 - Escuela, área cuadrada color azul
 - Farmacia, área cuadrada color rojo
 - Ayuntamiento o alcaldía, cuadro verde
 - Museo, cuadro azul
 - Biblioteca, Cuadro café
 - Calle, zonas en blanco
 - Líneas negras, límites entre calles y establecimientos.
 - Líneas rojas, final de una calle sin salida.
 - Líneas amarillas, entrada de los establecimientos.
 - Paradero, es la franja azul con círculos numerados.
 - Rectángulos grises con letras, lugares para obstáculos.
- iv. Los pasajeros: Son tubos de PVC para tuberías de 5 cm de circunferencia. Cada tubo representa un pasajero y tendrá un color que representa el sitio al que desea ir, estos se describen de la siguiente manera:
 - Tubos de 10 cm representan a niños y pueden ser de color azul, verde o café.

- Tubos de 15 cm que representan a los adultos y pueden ser de color azul, verde, café y rojo.
- v. Las competencias:
- Cada uno de los equipos competirá en un lado de la ciudad.
 - El equipo con la puntuación más alta será el ganador.
 - Cada partido contará con al menos un árbitro, encargado de gestionar y anotar puntaje.
 - La posición de inicio será aleatoria y puesta por el árbitro en alguna parte de las calles, y se buscará la simetría entre ambos equipos.
 - Robot perdido, si cruza el paradero o si sale de los límites de las calles.
 - Los pasajeros siempre deben estar en vertical.
 - La cantidad de pasajeros la define el árbitro.
 - Se considera un pasajero entregado de forma exitosa cuando se encuentra completamente en el área de destino y si ingresó por alguna de las entradas. El tubo debe quedar en posición vertical.
 - Pasajeros perdidos, si quedan colocados en las calles, deberán ser regresados al embarcadero en su zona de inicio. Cada tubo perdido es una penalización.
 - Si se mueven más tubos en la zona del embarcadero, se consideran como tubos perdidos.
 - No se permite salir de los límites de las calles, es decir invadir establecimientos, pasar líneas negras o salir de las calles, pasar líneas rojas.
 - Los robots no pueden atravesar los locales.
 - Los obstáculos serán representados por cartones de leche de tamaño 16x9x7cm. y podrán ser colocados en los cuadros con letras de la A a la J. Máximo pueden ser colocados dos obstáculos por cada lado de la ciudad.
 - Cada obstáculo derribado o movido de su sitio es una penalización. Y reinicio del robot al punto de salida.
 - El objetivo de los obstáculos es que los robots puedan encontrar nuevas rutas.
 - El partido termina cuando se colocan con éxito todos los pasajeros.
 - El tiempo máximo es de 12 minutos por partido.
- vi. Definición de pasajeros:
- Tubo azul 10 cm, niños con destino a la escuela.
 - Tubo azul 15 cm, adulto al museo.
 - Tubo verde 10 cm, niño al parque.
 - Tubo verde 15 cm, adulto al ayuntamiento.
 - Tubo café 10 cm, niño va a la biblioteca.
 - Tubo café 15 cm, adulto hacia la panadería.
 - tubo rojo 15 cm, adulto que va a la farmacia.

vii. Puntuaciones:

- Cada tubo rojo de 15 cm colocado correctamente: 50 puntos.
- Tubo café de 15 cm: 45 puntos.
- Tubo azul 15 cm: 45 puntos
- Tubo verde 15 cm: 42 puntos
- Tubo verde 10 cm: 40 puntos
- Tubo café 10 cm: 37 puntos
- Tubo azul 10 cm: 37 puntos
- Tubo perdido: -3 puntos
- -15 puntos si al intentar colocar otro tubo en algún local derriba el ya colocado, los tubos serán colocados en el embarcadero.
- Cada salida de la pista: - 3 puntos
- Obstáculo no identificado: -4 puntos
- Cada reinicio de robot: - 7 puntos
- Cada tubo recolocado en el embarcadero: - 3 puntos
- Cada tubo colocado en el sitio incorrecto es un tubo perdido.
- Robot inactivo: - 7 puntos.
- La menor puntuación es 0, no hay puntuaciones negativas.

3. Propuesta de solución

Para poder resolver el problema, este queda dividido en dos grandes fases, la primera es la construcción del robot y la segunda corresponde a la programación de la solución.

A continuación se realizará la descripción de ambas secciones.

a. Construcción del robot

Esta se inició con el planteamiento de un modelo el cual fuera estable, ya que en la participación del torneo del año pasado se presentaban desviaciones drásticas en el trayecto del robot, por lo cual en esta ocasión se optó por crear un modelo que utilizará llantas tipo oruga para que el desplazamiento de las ruedas fuese uniforme. Para esto se tuvo que implementar un mecanismo de engranajes de tal forma que tanto el rin de enfrente como el de atrás que se encuentran del mismo lado avancen en el mismo sentido mientras estén conectados al mecanismo, de igual forma se tuvo que considerar que dicho mecanismo debía de estar reforzado estructuralmente, ya que este mismo causaba un cambio en el centro de gravedad del modelo.

Tomando en cuenta las complicaciones que se presentaron el año pasado al realizar un modelo con dos ladrillos después de extensas pruebas se optó por utilizar un modelo que solo utilice un ladrillo, habiéndose tomado esta decisión, se evaluó cuales sensores eran los más indispensables y en qué posiciones podrían ser reutilizables para distintas tareas. Dicho esto, se

optó por utilizar 3 sensores de colores; dos de ellos serían colocados frente al robot para la visualización del terreno y las referencias que este daba, ya sea para alinearse, detenerse o seguir una línea, mientras que el tercer sensor se puso en el costado izquierdo montado sobre un motor para que este pudiese desplazarse arriba y abajo para que realizara la lectura y clasificación de los tubos. Finalmente como cuarto sensor se utilizó un sensor ultrasónico montado en la posición delantera del robot viendo hacia enfrente para que este pudiese detectar la presencia de obstáculos.

Mientras que en el caso de los motores se utilizaron 3 servomotores y 1 motor de eje; los servomotores fueron utilizados para el desplazamiento del robot, mientras que el motor de eje fue utilizado para subir y bajar el sensor del costado y el ultimo servomotor se utilizo para la realizacion de una garra ubicada entre ambos sensores de color y el sensor ultrasonico.

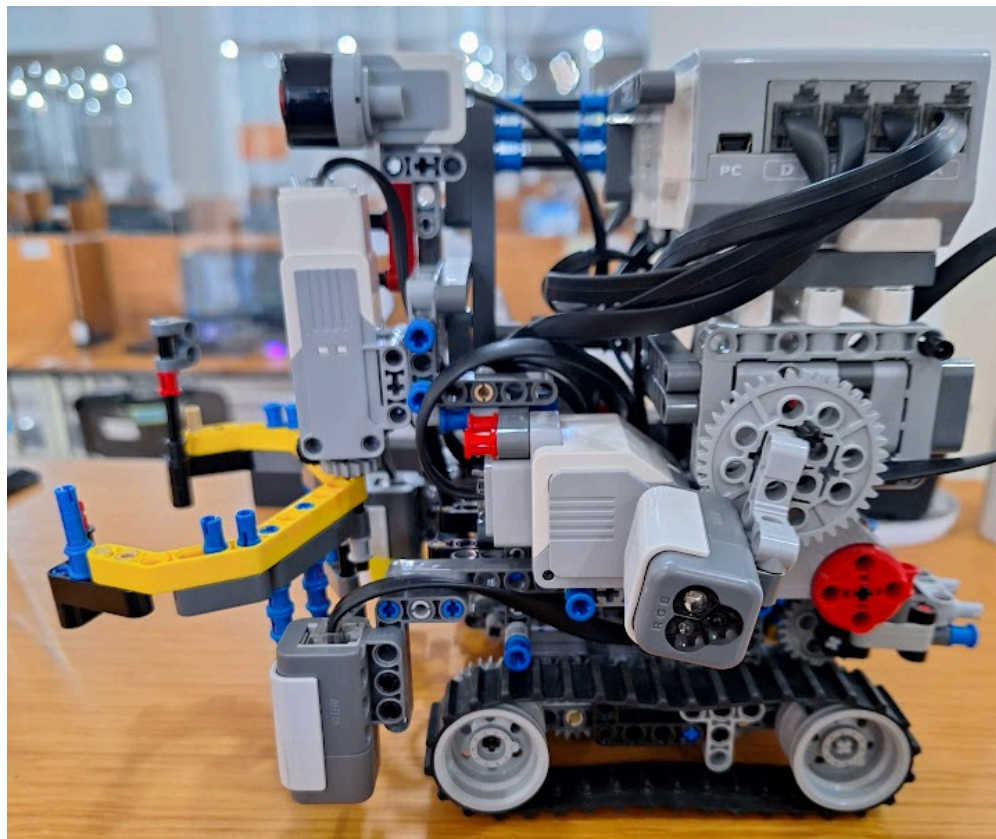


Figura 2. Estructura final del robot

4. Programación de solución

Para implementar la solución, el equipo logró identificar dos grandes problemas a resolver y los cuáles lograron ser tratados como dos problemas totalmente independientes.

El primero consiste en la sección correspondiente al embarcadero, que es justo en donde estarán colocados los pasajeros. El segundo corresponde a los recorridos por las calles para entregar a los pasajeros a sus destinos.

A continuación se realiza una descripción detallada de esas implementaciones.

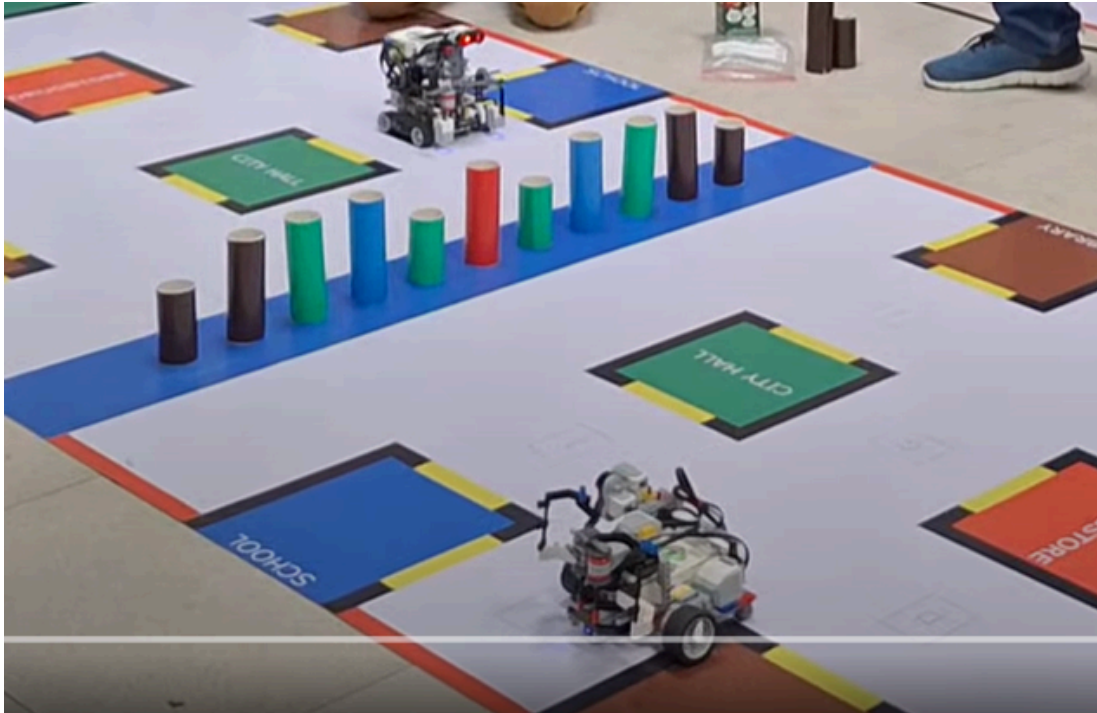


Figura 3. Escenario con 2 equipos participantes, lado superior equipo LAR.

a. Problema del embarcadero

Para lograr realizar esta tarea, fue necesario crear una lista de valores para ir identificando a los pasajeros acorde a su color, cabe mencionar que el registro de los pasajeros es tomado como base para lograr calcular, como segundo paso, la ruta a seguir a lo largo del escenario.

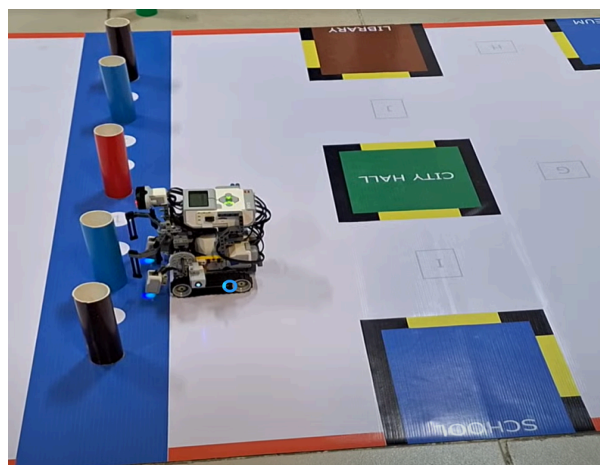


Figura 4. Robot a punto de tomar un tubo azul

Para lograr tomar un tubo, fue necesario realizar un movimiento de ajuste para evitar que el robot, mueva o tire a los tubos que se encuentran en espera en el embarcadero. Ese movimiento consistió en lo siguiente:

- Separarse de la zona del embarcadero para poder hacer un giro,
- realizar un pequeño movimiento inclinado para centrar la posición de la garra al final del giro a 90° ,
- Quedar posicionado frente al tubo, y
- acercarse al tubo poco a poco, para cerrar la garra.

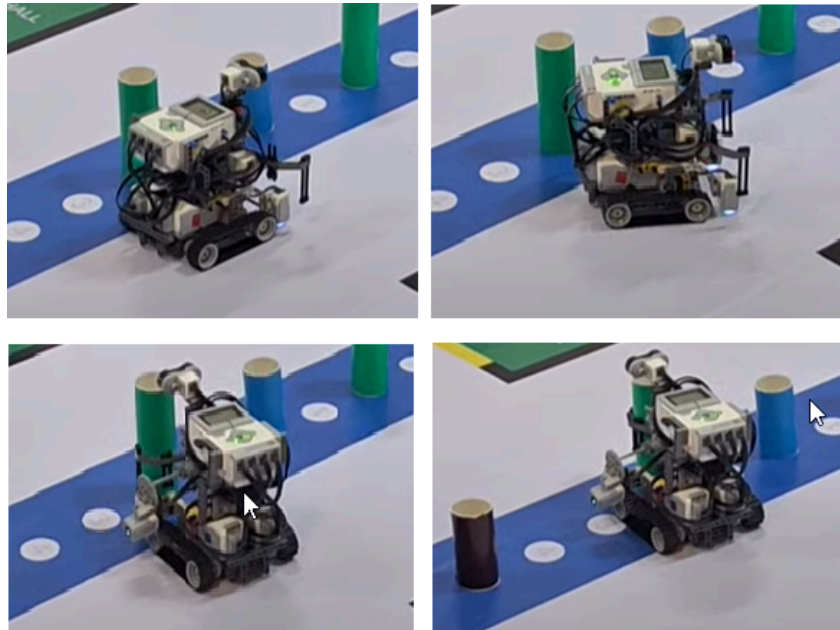


Figura 5. Movimiento especial para poder tomar un tubo con seguridad.

El movimiento final corresponde a dirigirse con todo y el tubo al final de la calle, para quedar en una posición conocida y arrancar la segunda parte de la solución.

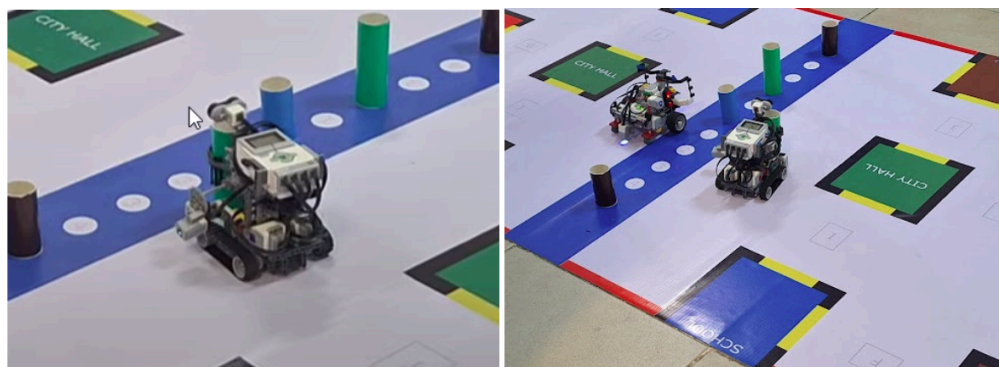


Figura 6. Movimiento final para llegar a posición segura antes de arrancar la segunda parte de la solución.

b. Problema del recorrido de calles

Creando una solución para resolver este problema primero se tuvo que plantear dos casos en general (excluyendo la evasión de obstáculos que se hablara acerca de este caso en el siguiente punto), el primer caso se da cuando el robot sabe exactamente en donde está ubicado dentro del escenario y desea llegar a un destino, mientras que el segundo caso se da cuando el robot desconoce totalmente su ubicación y desea encontrarla para llegar a la zona del embarcadero.

Empezaremos explicando el segundo caso ya que este termina donde empieza el primero, ya que siempre se quiere llegar a un punto en específico. En este caso se busca llegar primero a una referencia en particular, si vemos el escenario como una matriz de 5x5 (visualiza la figura 7 para identificar esas posiciones.) siendo [1,1] el cuadrante de A y [5,5] entre la librería y el embarcadero, estos puntos estratégicos serían: [1,1], [3,1] y [3,3], identificando los nos dan un panorama general del escenario debido a que son únicos en características, así que lo que se busca es poder llegar a uno de estos puntos en específico y si en el proceso se encuentra que se llegó al embarcadero (zona azul), de forma automática el robot sabe su orientación y es más sencillo llegar a la posición [1, 5], que de desde ahora será el punto de partida para recorrer el embarcadero.

El algoritmo realiza una búsqueda de posiciones aleatorias al inicio hasta lograr identificar una posición conocida, una vez localizada su posición y orientación se da paso a la segunda sección de rutas.

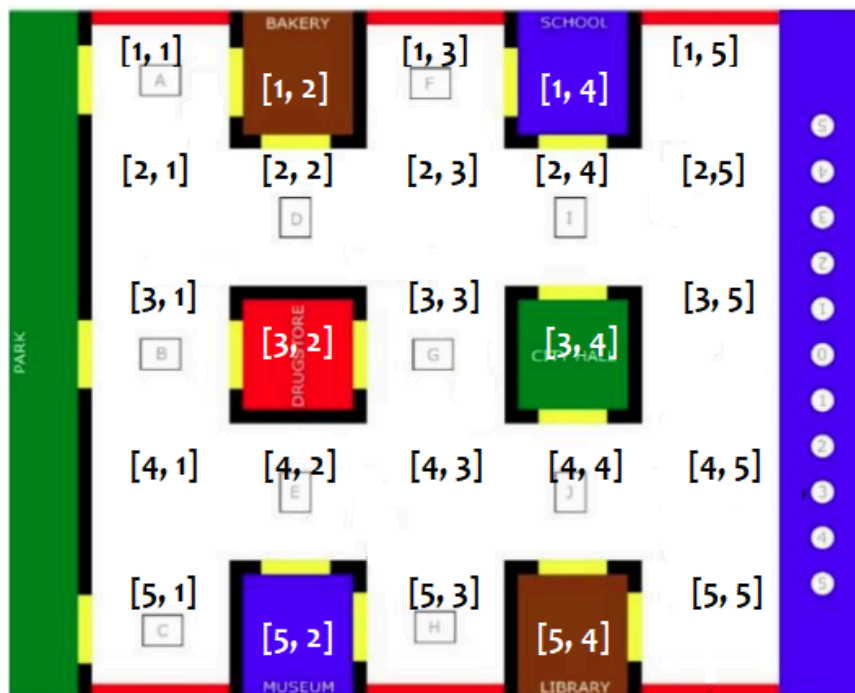


Figura 7. Posiciones planteadas para el problema

La ubicación de las posiciones de todo el escenario nos permite realizar un algoritmo para localizar la ruta más corta de un punto a otro, éste realizado por medio de diferencia entre distancias, además de seguir un conjunto de restricciones correspondientes a las zonas de los locales que son posiciones no permitidas para pasar. Cada movimiento y giro del robot hace una actualización del lugar en donde se encuentra ubicado, para que de esta manera no se pierda en el escenario.

Este algoritmo de generación de rutas de un punto a otro es utilizado para llegar a la zona de salida del embarcadero, también es utilizado cuando el robot tiene ya un tubo y está ubicado en la zona [5, 5] para realizar una ruta y entregar al pasajero a su destino.

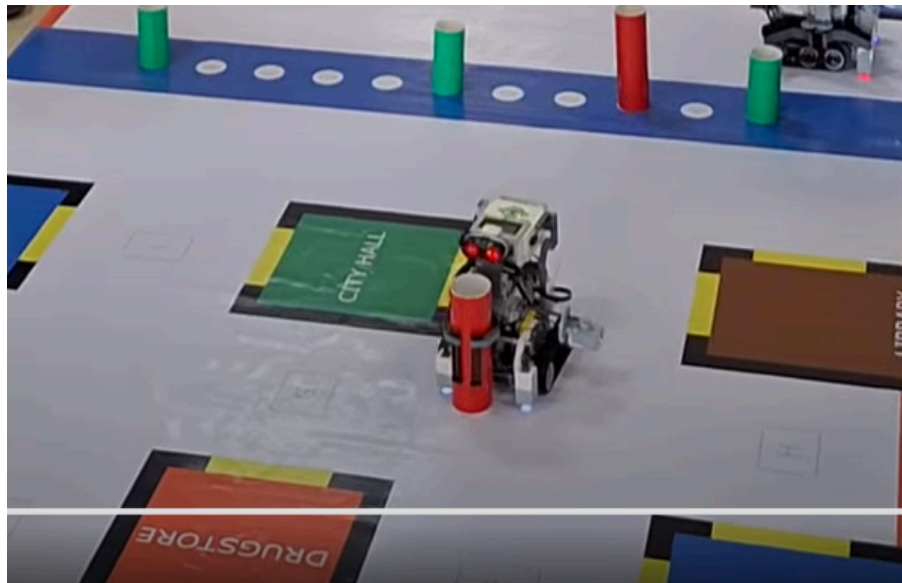


Figura 8. Siguiendo ruta para entrega de persona a su destino.

La estructura general de la solución queda de la siguiente manera:

1. Búsqueda de posición principal para recorrer el embarcadero.
2. Recorrer el embarcadero en busca de pasajeros.
3. Reconocimiento de pasajeros y abordaje de los mismos (Movimiento especial para tomarlo con la garra).
4. Llegada a la zona [5, 5] para seguimiento de ruta a destino.
5. Seguimiento de ruta.
6. Dejada de pasajero a su destino (Movimiento especial para entregar al pasajero, ingresando por las zonas amarillas del local, ingresando y soltando garra).
7. Salir de zona del local y buscar ruta para posición inicial de embarcadero [1, 5].
8. Siguiendo ruta y todo vuelve a repetirse desde 2.

c. Problema para evasión de obstáculos

Dentro del planteamiento de la solución de la creación de rutas se contempló que era probable encontrarse con alguno de los dos posibles obstáculos, por lo cual debía ser posible replantear la ruta incluso si estaba a mitad de camino que ya se había planeado, tomando en cuenta los pasillos por los que no se iba a poder circular por su obstrucción con obstáculos.

Por esto mismo, el robot cuenta con un sensor ultrasónico en la parte delantera para poder detectar un posible obstáculo frente a él y que pueda detenerse antes de colisionar con este. Al final se optó que la solución más sencilla para rodear un obstáculo iba a ser similar al movimiento de la pieza del caballo de ajedrez, ya que es muy poco probable que existan dos pasillos inmediatos bloqueados, en cuyo caso se podría volver a utilizar dicho movimiento hasta llegar al destino deseado.

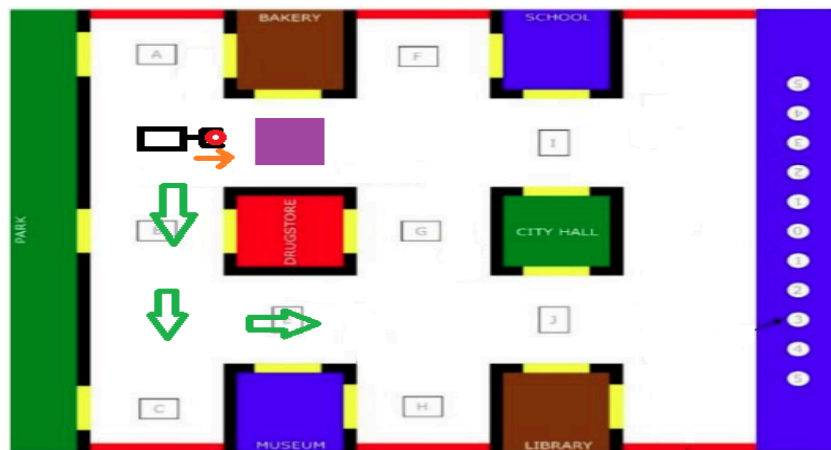


Figura 9. Movimiento del caballo para evadir obstáculos.

El movimiento del caballo es un movimiento compuesto de un recorrido, parecido a la L, el cual permite colocar al robot al pasillo paralelo al que se dirige, visualiza la figura 9 para entender dicho movimiento.

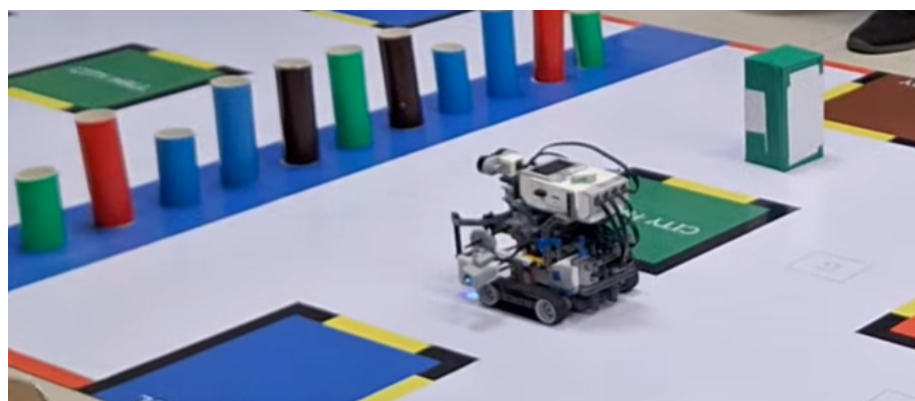


Figura 10. Prueba con obstáculos.

5. Puesta en marcha de la solución

Al final del tiempo de preparación antes de acudir al torneo ya se tenía claro el planteamiento del problema, la solución al problema que se había propuesto y la estructura del robot. Dicho esto, aún no se había podido mostrar el desarrollo final de la solución completa, ya que faltaba la integración de el código de todas las partes de la solución, aunque esto no fue gran problema ya que fue una tarea simple a realizar y dentro de las pruebas que se habían realizado en el laboratorio todo parecía indicar que el desempeño del robot en el torneo sería adecuado.

6. Durante el TMR, experiencia

La competencia se llevó a cabo a lo largo de tres días, el primer día fue destinado a la calibración de los robots, para esta actividad se destinó toda la mañana y parte de la tarde, dando inicio a la primer competencia a las 4 pm, sin embargo, el clima cambió drásticamente ese día, lo cual provocó que los robots no funcionaran adecuadamente, y más aún que el sensor principal de los mismos fue el sensor de luz y color, lo cual provocó que todo el trabajo realizado por los equipos participantes no fuera el esperado, el comité organizador de la categoría acorde a lo observado durante las calibraciones y durante el intento en la ronda de participación, organizó grupos para las competencias del día 2.



Figura 11. Día 1 de competencia, calibración en escenario.



Figura 12. Organización de equipos y calibraciones del día 1.

Para el día 2, se organizaron 3 rondas de participaciones, para que los equipos participaran y se definieron los equipos que llegaron a la final. Para el equipo del LAR, le tocó participar en la primera ronda, logrando ganar el primer enfrentamiento, para el segundo enfrentamiento también logró quedar victorioso. Después de la primera ronda por sugerencia de los participantes se solicitó mover el escenario a una sala con luz controlada, así se evitó los cambios bruscos de ambiente por cuestiones de clima, favoreciendo así a todos los equipos participantes, pues las calibraciones sufrieron menores cambios de ronda a ronda.

El equipo participó nuevamente durante la segunda ronda, en la que el desarrollo y visualización de la solución fue más evidente, sin embargo el robot, comenzó a presentar una falla mecánica, provocando un empate en dicha participación. Para la última participación del día, el equipo no logró reparar la falla mecánica del robot, debido al tiempo de ronda a ronda, por lo que para esta el robot no logró desarrollar sus recorridos, haciendo que el equipo perdiera en su última participación del día.



Figura 13. Día 2, primera ronda de competencia.



Figura 14. Rondas en la sala con luz controlada, ronda 2, tercer enfrentamiento.

Cada equipo participó en 4 enfrentamientos a lo largo del día, el equipo LAR ya no le tocó participar en la tercera ronda del día, al final del día, los resultados finales, mostraron que el equipo LAR pasará en primer lugar del grupo, asegurando así su participación en las finales. Debido a la falla mecánica del robot el equipo tuvo que realizar muchos ajustes a su robot durante la noche, además de que se notificó que la prioridad en las rondas sería la evasión de obstáculos, por lo que el equipo, preparó también algunos ajustes en su programación.

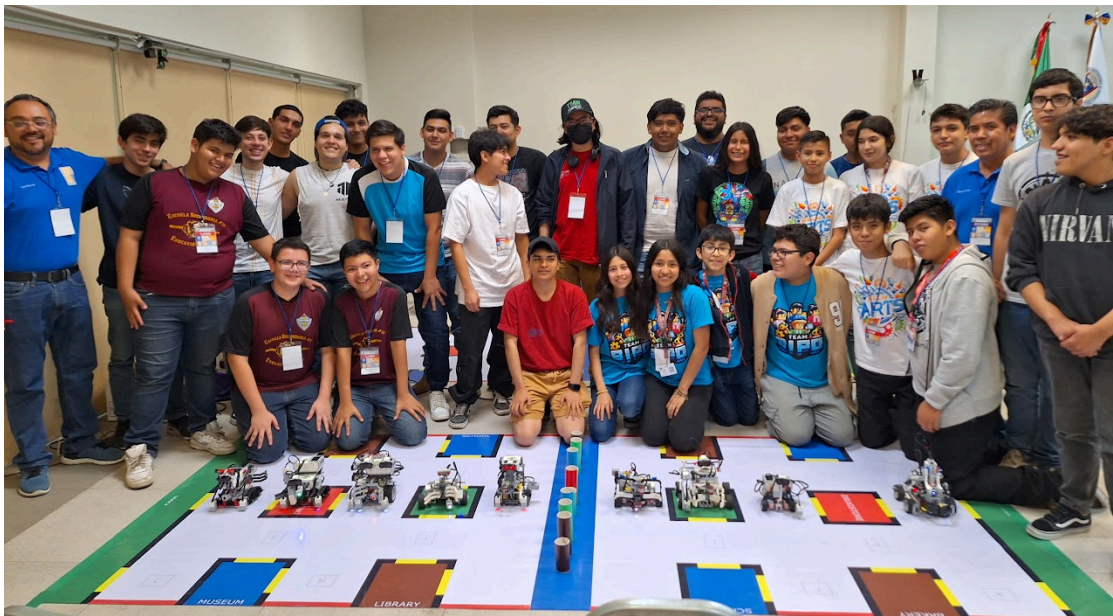


Figura 15. Día 2, foto oficial de los participantes en la categoría LARC-SEK.

Para el día 3, el equipo se presentó muy temprano a la sede para alcanzar a realizar algunas pruebas finales sobre el escenario oficial, y las rondas comenzaron justo a las 9 am. Todo iba marchando bien, sin embargo, llegó el momento de la participación del equipo, el robot comenzó su recorrido y llegó al embarcadero, justo cuando debía tomar al pasajero, inició una falla crítica en el motor de agarre, este se

sobre calentó y dejó de funcionar, para cuando el robot debía dejar al usuario en su destino, el motor no funcionó y por lo tanto, no realizó la apertura del agarre del pasajero. A pesar de la intención bien ejecutada del robot, no se consideró el puntaje porque el usuario no fue colocado en su lugar de destino. A partir de ese momento, el motor no quiso funcionar, por lo que cada intento realizado, el robot ya no logró tomar a los pasajeros a pesar de que este si los reconocía y a pesar de que el robot si identificaba las rutas para realizar las entregas.



Figura 16. Calibraciones del día 3, antes de la participación final.



Figura 17. Ronda semifinal con obstáculos.

7. Conclusiones

Existe una gran área de oportunidad de mejora al algoritmo presentado en la competencia y más en la sección presentada para la búsqueda de rutas, la mejora de este algoritmo permitirá tener un mejor control al momento de encontrar un obstáculo, todo el problema debe ser resuelto como un grafo conectado y en el cual se pueden implementar algoritmos de ruta más corta con eficiencia.

A pesar de que la solución presentada fue buena, el problema mecánico del robot imposibilita al equipo, para defender un claro primer lugar, sin embargo, queda como experiencia de mejor y fortaleza para el próximo equipo participante, recordemos que este tipo de competencias, el problema a resolver se mantiene por 2 años.



Figura 18. Equipo LAR, con 3er Lugar en la categoría LARC-SEK

8. Referencias

- Página oficial del TMR 2024, <https://femexrobotica.org/tmr2024/>
- Reglas de la categoría LARC-SEK, <https://femexrobotica.org/tmr2024/larc-standar-education-kits/>
- Documentación y referencia de programación de robots EV3, <https://www.ev3dev.org/>