



## LOS GRISES SUPERIORES

### Introducción.

Nuestro robot, desarrollado por estudiantes de niveles superiores para WRO Future engineers, combina un EV3 de LEGO como controlador principal y dos cámaras OpenMV para visión. Detecta colores clave (blanco, rojo, verde, azul y naranja) mediante calibración LAB, empleando cuatro ROIs (bajo, medio, alto y negro) para seguimiento de línea, regulación del ancho del pasillo, detección de obstáculos y alerta de colisión. La posición X de los blobs determina la maniobra de evasión según las reglas de competencia (rojo = derecha, verde = izquierda).

Diseñado de manera compacta y simétrica, con cuatro ruedas y tres motores, asegura un desplazamiento estable y preciso. La navegación integra la información visual con la lógica del EV3, combinando seguimiento de línea, control de pasillo y evasión de obstáculos. Todo el desarrollo, realizado mediante pruebas y ajustes continuos, resultó en un robot confiable, eficiente y listo para competir.

### 1. Equipo.

**Erick Daniel Guerrero Uresti.** Comencé a participar en torneos de robótica desde el 2016 al 2019 obteniendo 2 segundos lugares en el torneo mexicano de robótica, debido a la pandemia Covid19 no pude seguir compitiendo si no hasta el 2024 como coach en TMR y WRO obteniendo pase al internacional actualmente estudio mi último año de ingeniería en mecatrónica.

**Paulina Ibarra Martínez.** Tres años siendo parte del club de robótica de la Escuela Normal Superior "Profr. Moisés Sáenz Garza", participación en dos torneos mexicanos de robótica obteniendo el 5 lugar en el último, siendo coach junior a partir del 2024, obteniendo tercer lugar en el WRO 2024 y primer lugar nacional en el torneo mexicano de robótica 2025.



## 2. Visión.

El sistema de visión constituye uno de los componentes fundamentales del robot, ya que permite la interpretación del entorno de competencia y la toma de decisiones en tiempo real. Para este fin se empleó una cámara **OpenMV**, configurada y optimizada durante distintas etapas del proyecto. El desarrollo incluyó procesos de calibración de colores, definición y evolución de las regiones de interés (ROIs), y el diseño de estrategias para la detección de obstáculos y prevención de colisiones.

### 2.1 Calibración

Durante las primeras pruebas se detectaron inestabilidades en la identificación de colores debido a variaciones de luz ambiental. Para resolverlo, se fijaron parámetros de la cámara como auto-gain, auto-white balance y exposición, garantizando una detección más estable. Además, se realizó un ajuste progresivo de umbrales LAB para colores clave de la pista: blanco, rojo, verde, azul y naranja. Este proceso permitió que el sistema funcionara con mayor consistencia en diferentes condiciones de iluminación.

### 2.2 Evolución de las regiones (ROIs)

- Inicio: Se empleó un ROI central dinámico anclado al piso blanco, enfocado en el seguimiento de la línea principal.
- Propuesta de mejora: Se consideró el uso de ROIs trapezoidales para abarcar tanto el camino como los pilares.
- Septiembre: Se incorporó un sistema de tres ROIs horizontales (bajo, medio y alto), inicialmente fijos, y posteriormente transformados en dinámicos, siempre ajustando su borde inferior al piso blanco. Estos ROIs permitieron una mejor detección de pasillos amplios o estrechos, además de brindar soporte en curvas.
- ROI adicional: Se introdujo un ROI negro con la función específica de alertar colisiones, reemplazando la detección directa de pilares en casos críticos.



Actualmente, el robot utiliza cuatro ROIs principales:

- ROI Bajo: Seguimiento de la línea y detección de colores cercanos al piso.
- ROI Medio: Identificación de obstáculos intermedios (rojo, verde, naranja).
- ROI Alto: Apoyo en curvas y detección de obstáculos lejanos.
- ROI Negro: Alerta de colisión en caso de detección de áreas oscuras.

Fecha	Configuración de ROIs	Objetivo principal
20 de agosto	ROI central dinámico anclado al piso blanco.	Seguimiento inicial de la línea y detección de colores básicos.
27 de agosto	Propuesta de ROIs trapezoidales.	Ampliar la cobertura para abarcar camino y pilares.
3 de septiembre	ROIs dinámicos combinados con un ROI de altura.	Seguimiento de línea y cálculo de distancia libre.
5 de septiembre	Tres ROIs horizontales fijos (bajo, medio, alto).	Diferenciar pasillos amplios o estrechos mediante detección de colores.
8 de septiembre	Tres ROIs horizontales dinámicos + ROI negro.	Mejorar la detección de rojo, verde y naranja; añadir alerta de colisión.
9 de septiembre	ROIs con estrategia de compensación en curvas.	Evitar pérdida de pilares lejanos; detección simultánea de rojo, verde y blanco.
11 de septiembre	ROIs refinados para entregar coordenada X en base Y.	Detección precisa de esquinas de color y soporte en curvas.

### 2.3 Estrategias de detección y evasión

El sistema de visión también se diseñó para soportar la lógica de evasión de obstáculos. Para ello, se empleó la coordenada X en la base del blob como métrica principal, lo que permitió una detección más confiable que el área del objeto, la cual en ocasiones generaba datos inconsistentes. Adicionalmente, la lógica incorporada al EV3 utiliza las reglas de competencia (pilar rojo = giro a la derecha, pilar verde = giro a la izquierda) para definir la maniobra adecuada de evasión.

## 2.4 Problemas y soluciones.

Problema identificado	Solución implementada
Variaciones de luz en la pista generaban detecciones inestables.	Se fijaron los parámetros de auto-gain, auto-white balance y exposición en la cámara OpenMV, asegurando estabilidad en la detección.
En curvas, el robot perdía de vista los pilares más lejanos.	Se introdujo una estrategia de compensación con la posición base del blob y se ampliaron los ROIs dinámicos para mantener cobertura.
El robot detectaba áreas muy grandes en los blobs de color, provocando datos confusos.	Se adoptó la coordenada X en la base del blob como métrica principal y se mantuvo el área solo como referencia secundaria.
Los scripts de OpenMV eran redundantes y complicaban la integración con EV3.	Se unificaron los envíos de datos en slots LPF2, eliminando redundancias como <i>PRINT_EVERY</i> y <i>SEND_EVERY</i> .
El seguidor de línea no era reactivo a los cambios en el ancho del pasillo.	Se incorporó el ancho del pasillo como variable proporcional de corrección (ajuste de KP en el EV3).
Riesgo de choque cuando el robot no reconocía pilares correctamente.	Se sustituyó el ROI de pilares por un ROI negro, encargado de alertar colisiones en la trayectoria.

## 3. Control.

El sistema de control del robot está diseñado para garantizar un desplazamiento estable dentro de la pista, integrando la información visual obtenida por la cámara OpenMV con la lógica implementada en el controlador EV3. La estrategia de navegación se basa en tres pilares: seguimiento de línea, regulación del ancho de pasillo y evasión de obstáculos.



### 3.1 Seguimiento de línea.

Para mejorar la respuesta, se incorporó un esquema de ROIs horizontales dinámicos, que permiten identificar la posición relativa de la línea en diferentes alturas de la imagen. El error de posición se traduce en una señal proporcional dentro del EV3, donde el KP inicial fue configurado en 1 y ajustado posteriormente para mejorar la sensibilidad en curvas y rectas.

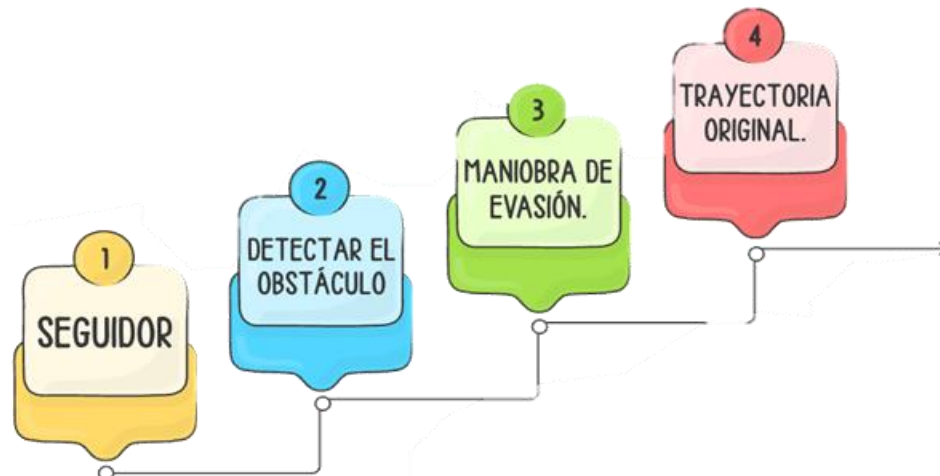
### 3.2 Regulación ancho de pasillo.

Una de las mejoras clave fue la incorporación del ancho del pasillo como métrica de control. A partir de los datos enviados desde la OpenMV (ancho detectado en ROIs inferiores), se integró un cálculo proporcional dentro del controlador del EV3. Esto permitió que el robot ajustara su trayectoria en función del espacio libre disponible, logrando una navegación más reactiva y adaptada a variaciones en el entorno.

### 3.3 Evasión de obstáculos.

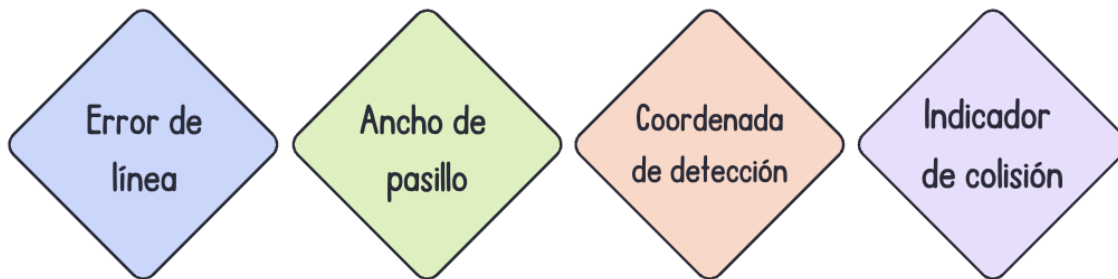
La evasión de obstáculos se diseñó considerando las reglas de competencia: pilar rojo implica giro a la derecha, pilar verde implica giro a la izquierda. Para determinar el lado de evasión, el robot utiliza la diferencia entre la posición X detectada en la cámara y un X target predefinido, lo que permite definir de forma confiable el sentido de maniobra.

Posteriormente, el robot ejecuta la evasión mediante una trayectoria suave que incluye:



### 3.4 Integración y comunicación.

La comunicación entre la OpenMV y el EV3 se realiza mediante el protocolo LPF2, en el que se unificaron los datos transmitidos para simplificar la integración. Se eliminó la redundancia de funciones internas como *PRINT\_EVERY* y *SEND\_EVERY*, centralizando los envíos de métricas en slots específicos. Las principales variables enviadas fueron:



### 3.5 Sensores y métricas.

Sensor / Fuente	Métrica extraída	Uso en el sistema de control
OpenMV – ROI Bajo	Error de línea (posición relativa del piso)	Seguimiento de trayectoria principal.
OpenMV – ROI Medio	Ancho de pasillo y colores intermedios (rojo, verde, naranja)	Regulación proporcional y anticipación de obstáculos.
OpenMV – ROI Alto	Posición de obstáculos lejanos	Soporte en curvas y preparación de evasión.
OpenMV – ROI Negro	Detección de áreas oscuras (colisión)	Alerta de choque, envío de indicador binario al EV3.
OpenMV – Blobs de color	Coordenada X en base Y del objeto detectado	Determinación del lado de evasión (rojo = derecha, verde = izquierda).
EV3 – Motor encoders	Velocidad y distancia recorrida	Control de velocidad y desplazamiento suave en maniobras.
EV3 – Lógica interna	Variable proporcional (KP)	Corrección dinámica en curvas y rectas.

## 4. Conclusión.

El desarrollo de este robot permitió integrar sistemas de visión y control de manera eficiente, logrando un desplazamiento estable, detección precisa de colores y evasión de obstáculos.



## 5. Apéndice.

