

***IDEAS PARA PROGRAMAR UN
ROBOT RASTREADOR SIN
MORIR EN EL INTENTO***

Rubén Espino San José

PUMA

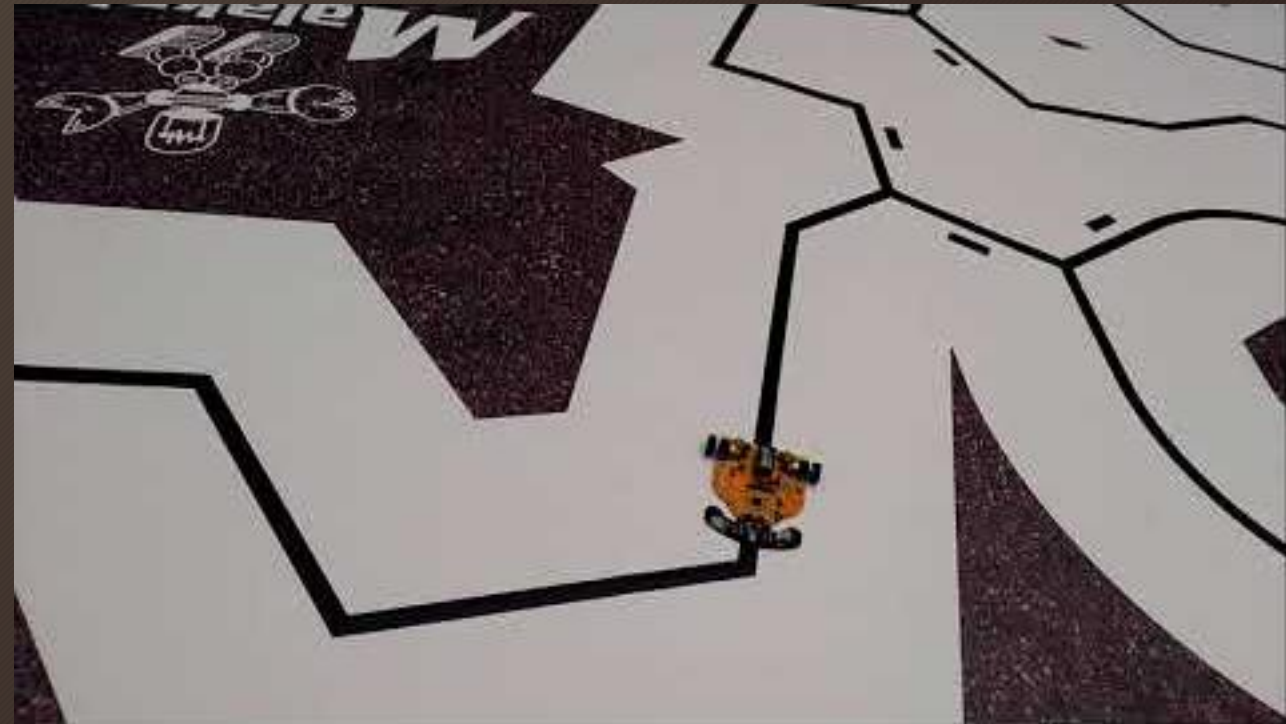


PRIDE

LA PRUEBA DE RASTREADORES

2

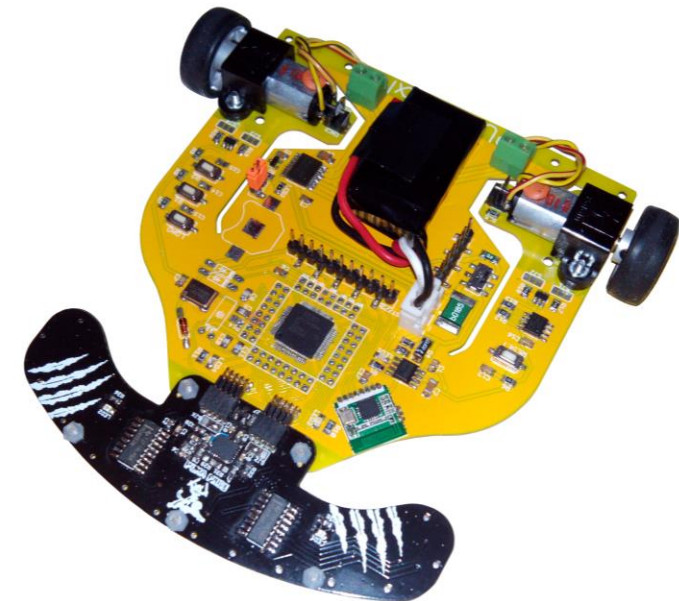
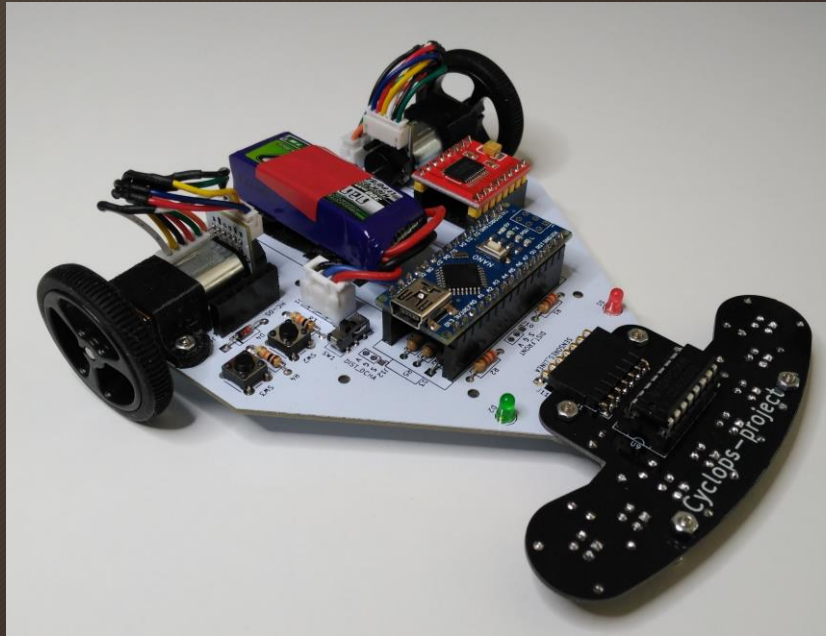
- Circuito: línea negra sobre fondo blanco, con curvas cerradas e incluso poligonales, bifurcaciones y marcas de giro
- Objetivos:
 - Recorrer el circuito en el menor tiempo posible
 - Escogiendo los caminos correctos



PAUTAS GENERALES

3

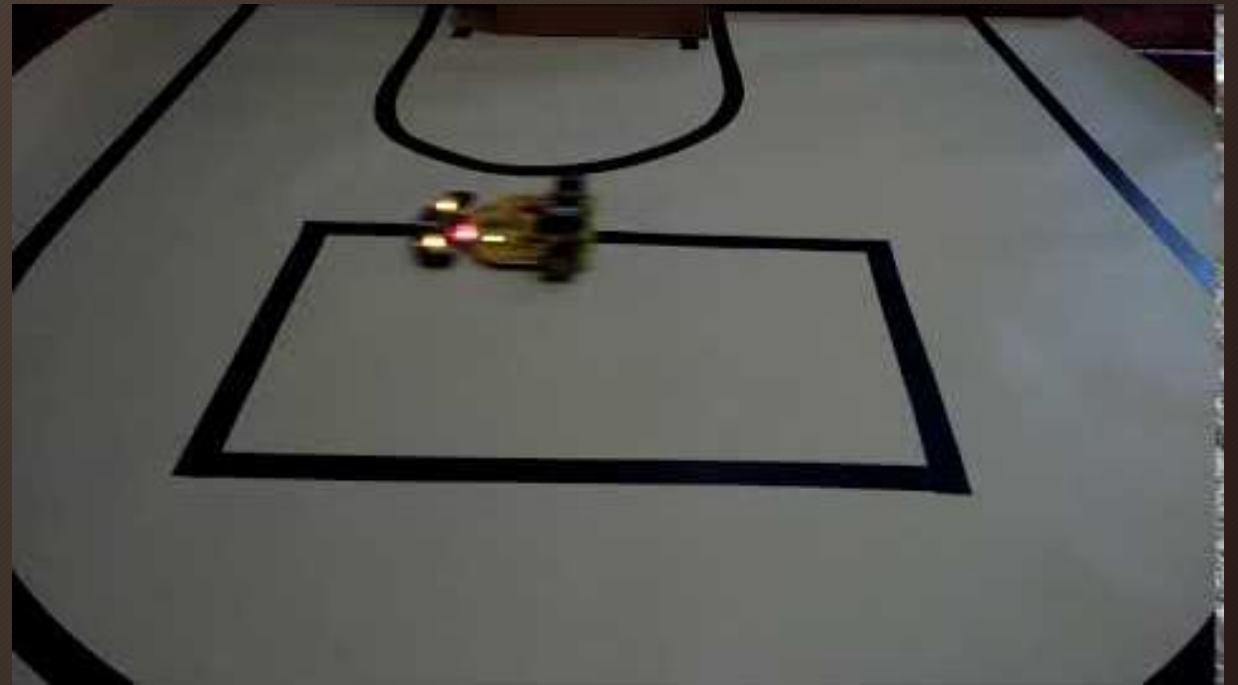
- Morro ancho y con muchos sensores para leer las marcas de giro
- Morro curvado para evitar “engaños” en los ángulos rectos
- Separación de sensores máxima de 1 cm para diferenciar marcas de giro
- [Cyclops-Project](#)
 - Robot Open Source
 - Reto: programación del algoritmo de rastreadores



OBJETIVOS INICIALES

4

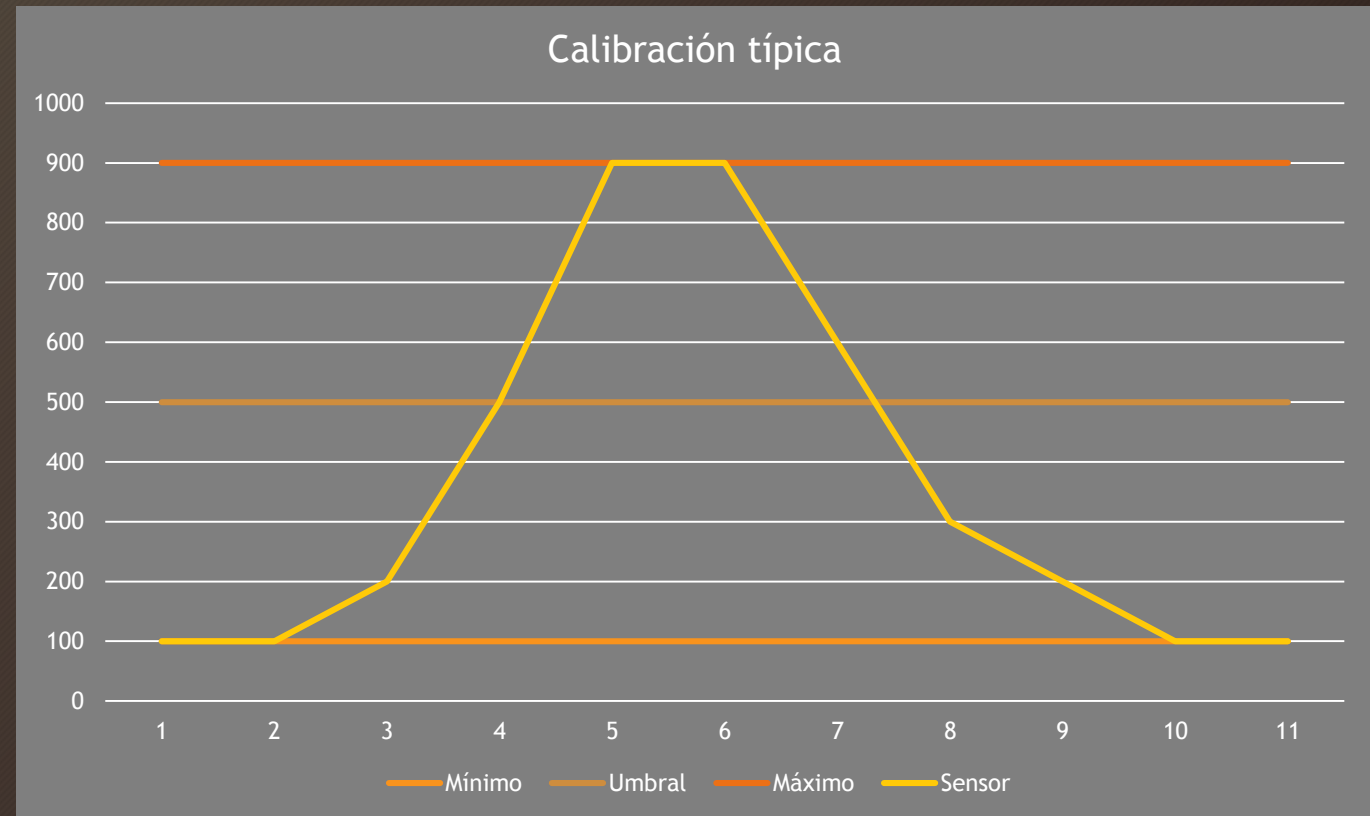
- Conseguir que el robot siga la línea con el [algoritmo PID](#)
- Calibrar el PID con amortiguamiento crítico para que el robot vaya lo más centrado posible y que no pierda las marcas de giro



EL RETO - PARTE 1

5

- Detectar las diferentes líneas
 - Lectura analógica de sensores (0-1023 para ADC de 10 bits)
 - Calibrado inicial en estático para calcular umbrales de cada sensor
 - Al correr, digitalizar según umbrales



EL RETO - PARTE 2

6

- Asignar las líneas
 - Comparar líneas entre los instantes actual y anterior
 - Puede ser:
 - Camino
 - Marca de giro
- Supongamos robot con 10 sensores

Sensores	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Instante 2	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
Instante 1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

Ejemplo:

- Instante inicial: la línea a seguir está centrada
- Instante 1: estamos siguiendo la línea en 4-5
- Instante 2: líneas en 1-2 y 4-5
 - Calculamos cuál es la más cercana a la del instante anterior (la 4-5)
 - Determinamos que la línea 1-2 es una posible marca de giro a izquierdas

EL RETO - PARTE 3

7

- Toma de decisiones: máquina de estados
 - Estados principales: RASTREAR, MARCA_DE_GIRO, BIFURCACION
 - Múltiples cambios de estado:

Sensores	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Instante 2	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	MARCA_DE_GIRO
Instante 1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	RASTREAR

Sensores	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Instante 2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	RASTREAR y validar marca
Instante 1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	MARCA_DE_GIRO

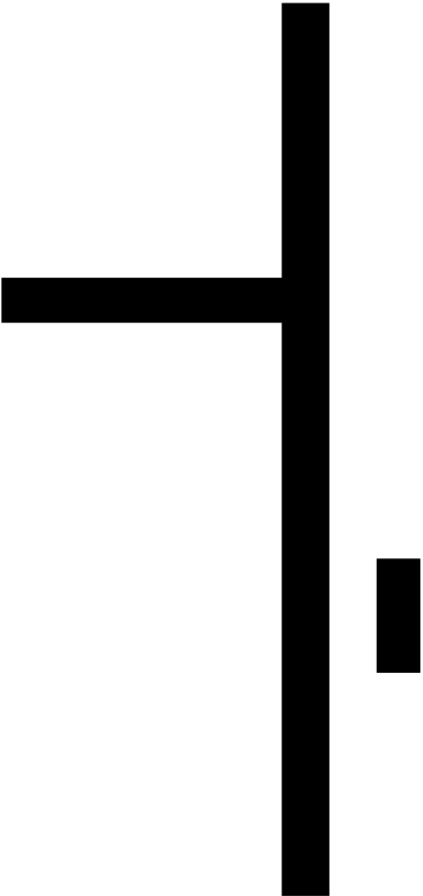
Sensores	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Instante 2	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	BIFURCACION
Instante 1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	RASTREAR

Sensores	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Instante 2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	RASTREAR
Instante 1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	BIFURCACION

Sensores	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Instante 2	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	RASTREAR y no validar marca
Instante 1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	MARCA_DE_GIRO

CASO PRÁCTICO BÁSICO

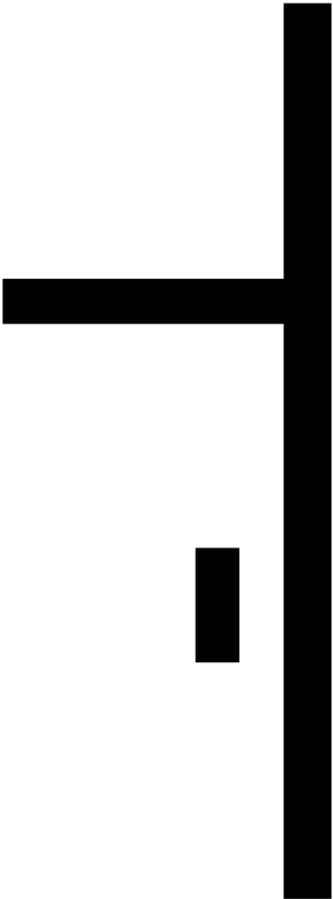
- Caso básico
 - Una marca de giro
 - Dos posibles caminos
- En giro a derechas:
 - Borrar a partir del segundo sensor en negro desde la derecha



Estados											Giro
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Bifurcación	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	
	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	DCHA
	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	
	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	
Marca de giro	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	flag_dcha
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	

CASO PRÁCTICO BÁSICO 2

- Caso básico
 - Una marca de giro
 - Dos posibles caminos
- En giro a izquierdas:
 - Borrar a partir del segundo sensor en negro desde la izquierda

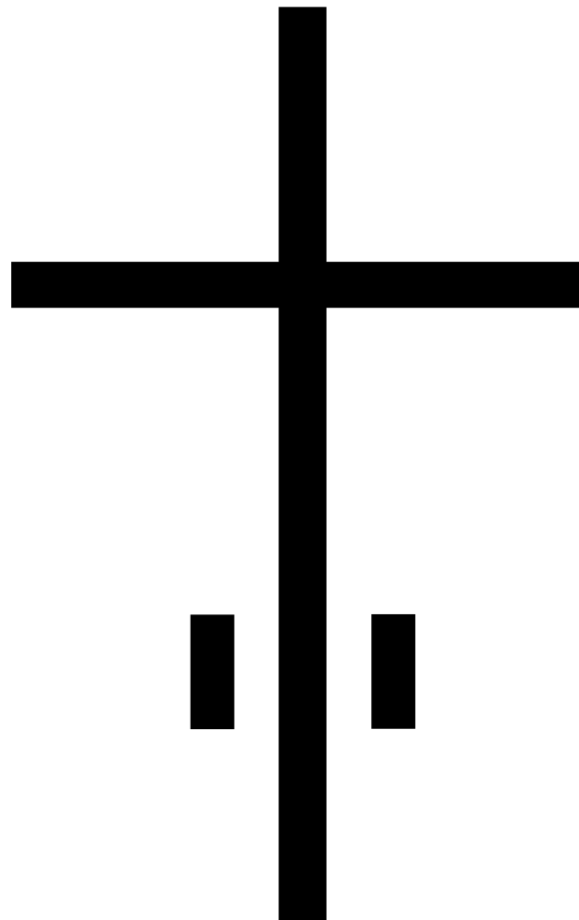


Estados												Giro
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	
	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	
	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0		
Bifurcación	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0		
	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0		
	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0		
	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0		
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		IZQ
	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0		
	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0		
Marca de giro	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0		flag_izq
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		

CASO PRÁCTICO CON 3 CAMINOS

10

- Caso avanzado
 - Hasta dos marcas de giro
 - Tres posibles caminos
- Con una marca
 - Igual que casos anteriores
- Con dos marcas:
 - Continuar recto
 - Ignorar sensores laterales en la bifurcación ¡¡sean cuales sean sus valores!!

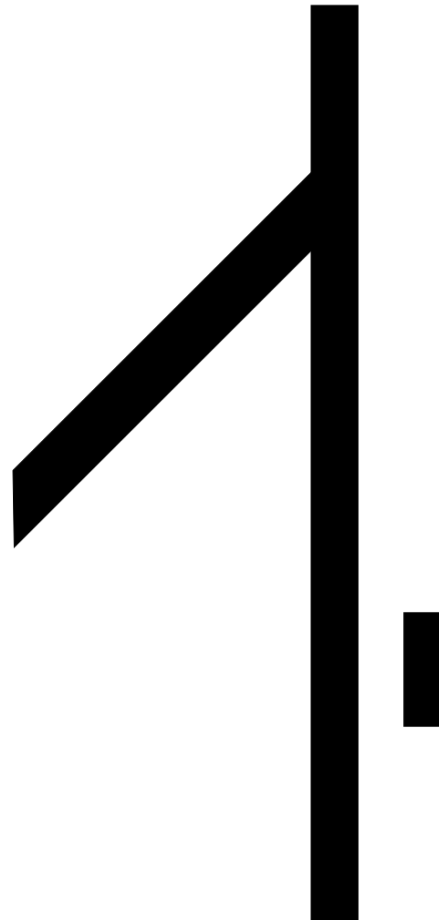


Estados											Giro
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	
Bifurcación	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	CENTRO
	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	
	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	
	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	flag_dcha
Marca de giro	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	flag_izq
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	

CASO PRÁCTICO COMPLEJO

11

- Caso complejo
 - Está fuera de normativa
 - Se pone marca de giro por sea caso
 - ¡¡El camino cerrado puede llevar a engaño y pensar que es marca de giro!!
- Si dos líneas se juntan
 - Ignorar marca de giro

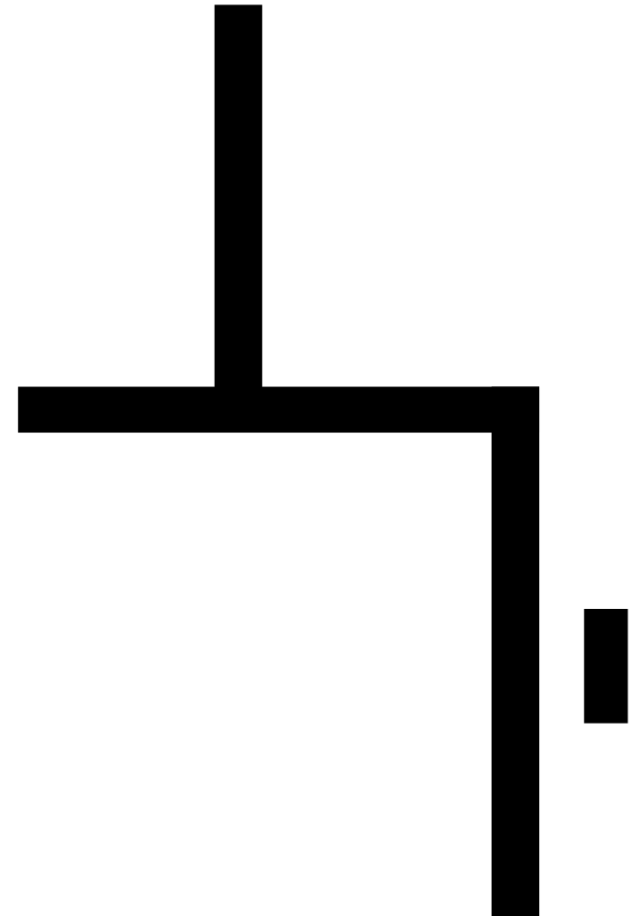


Estados												Giro
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0		
Rastrear	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0		Ignorar marca
	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0		
	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0		
Marca de giro	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0		flag_izq
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		DCHA
	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0		
	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0		
Marca de giro	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0		flag_dcha
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		

OTROS POSIBLES CASOS

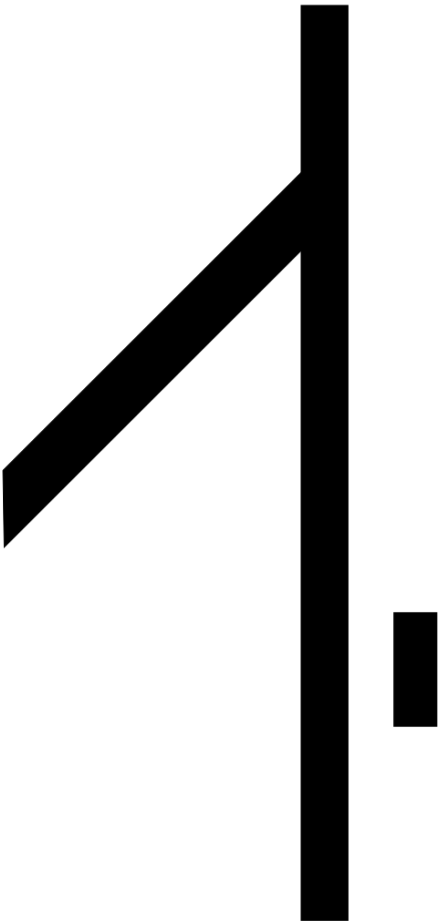
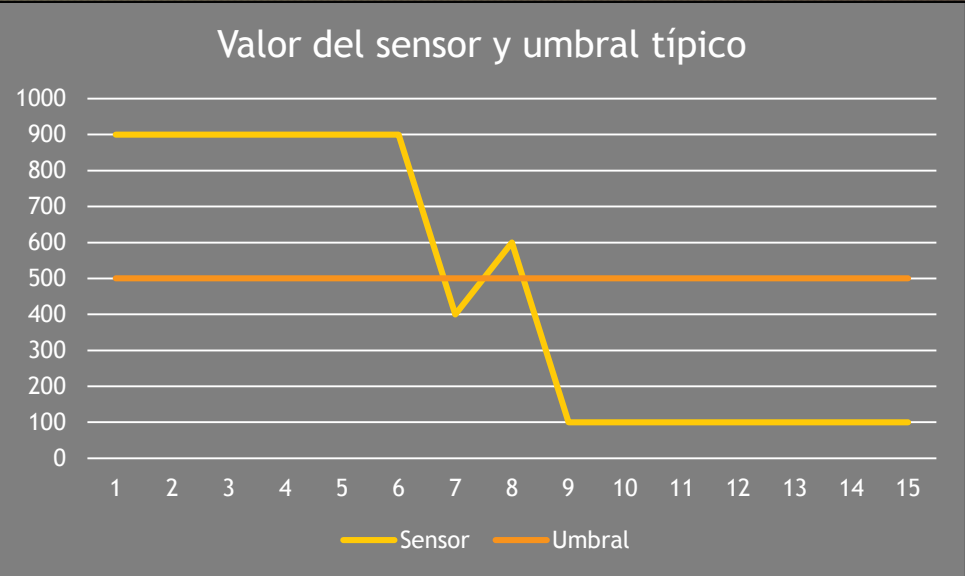
12

- Bifurcaciones con o sin ángulos poligonales
- Bifurcaciones en curva
- Curva poligonal entre marca de giro y bifurcación (puede llevar a confusión)
- ...



EFFECTOS DEL RUIDO EN LOS SENSORES

- Caso con ruido
 - Cambios de estado indeseados
 - Se equivoca con el giro
 - Toma el camino incorrecto

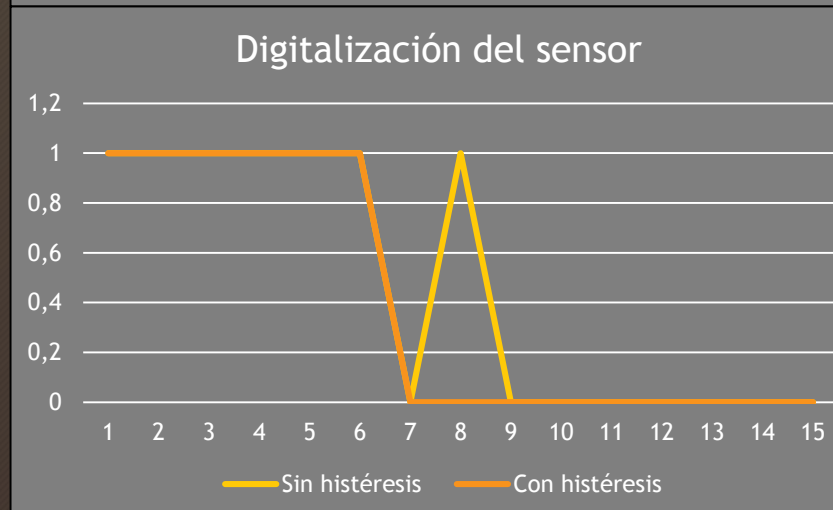
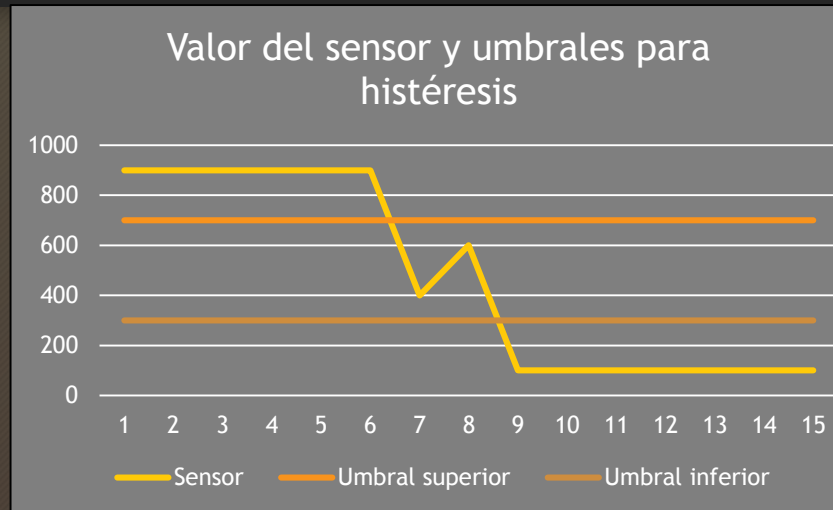


Estados											Giro
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	
	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	
Bifurcación	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	
	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	IZQ
Marca de giro	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	flag_izq
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	DCHA
	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	
	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	
Marca de giro	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	flag_dcha
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	

EFECTOS DEL RUIDO EN LOS SENSORES

14

- Solución: histéresis en los sensores
 - En realidad es jugar con dos umbrales
 - Sólo cambia de estado si sobrepasa los dos umbrales



Estados											Giro
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	
	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	Ignorar marca
	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	
Marca de giro	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	flag_izq
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	DCHA
	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	
	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	
Marca de giro	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	flag_dcha
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Rastrear	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	

OTROS EFECTOS INDESEADOS

15

- Otros problemas
 - Baches, variación de contraste de la línea, variación de luminosidad...
- Necesidad de recalibrar continuamente
- Solución: calibración dinámica
 1. Comparar máximos y mínimos de todos los sensores en un instante
 2. Escalado de todos los sensores en función de la desviación media

REFERENCIAS

16

- Referencias de GitHub
 - Rubén Espino: [Resaj](#)
 - [Cyclops-Project](#)
- [Charla PIDs en Malakabot 2017](#)
- [Open RoboSports](#)



- Facebook
 - [@pumaprideteam](#)
- Twitter
 - Rubén Espino: [@RugidoDePuma](#)
 - Javier Baliñas: [@supernudo](#)
 - Javier Isabel: [@JavierIH](#)
 - Alejandra Guardo: [@AlejandraSaku](#)

GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN 😊

