

# PRESENTACIÓN COLOMBIAMAR

**Sistema de control de  
velocidad y rumbo para un  
Vehículo de Superficie No  
Tripulado -USV**

# Tabla de contenidos

## 01

### PLATAFORMA DE PRUEBAS

Presentación y características del USV.

## 02

### ESQUEMA DE CONTROL

Descripción de la arquitectura de hardware y las estrategias de control utilizadas.

## 03

### PRUEBAS DE NAVEGACIÓN

Descripción de las pruebas realizadas para obtener los modelos del USV.

## 04

### RESULTADOS

Presentación de los resultados obtenidos y la sintonización de los controladores.

# Plataforma de Pruebas

Fabricada en Fibra de vidrio

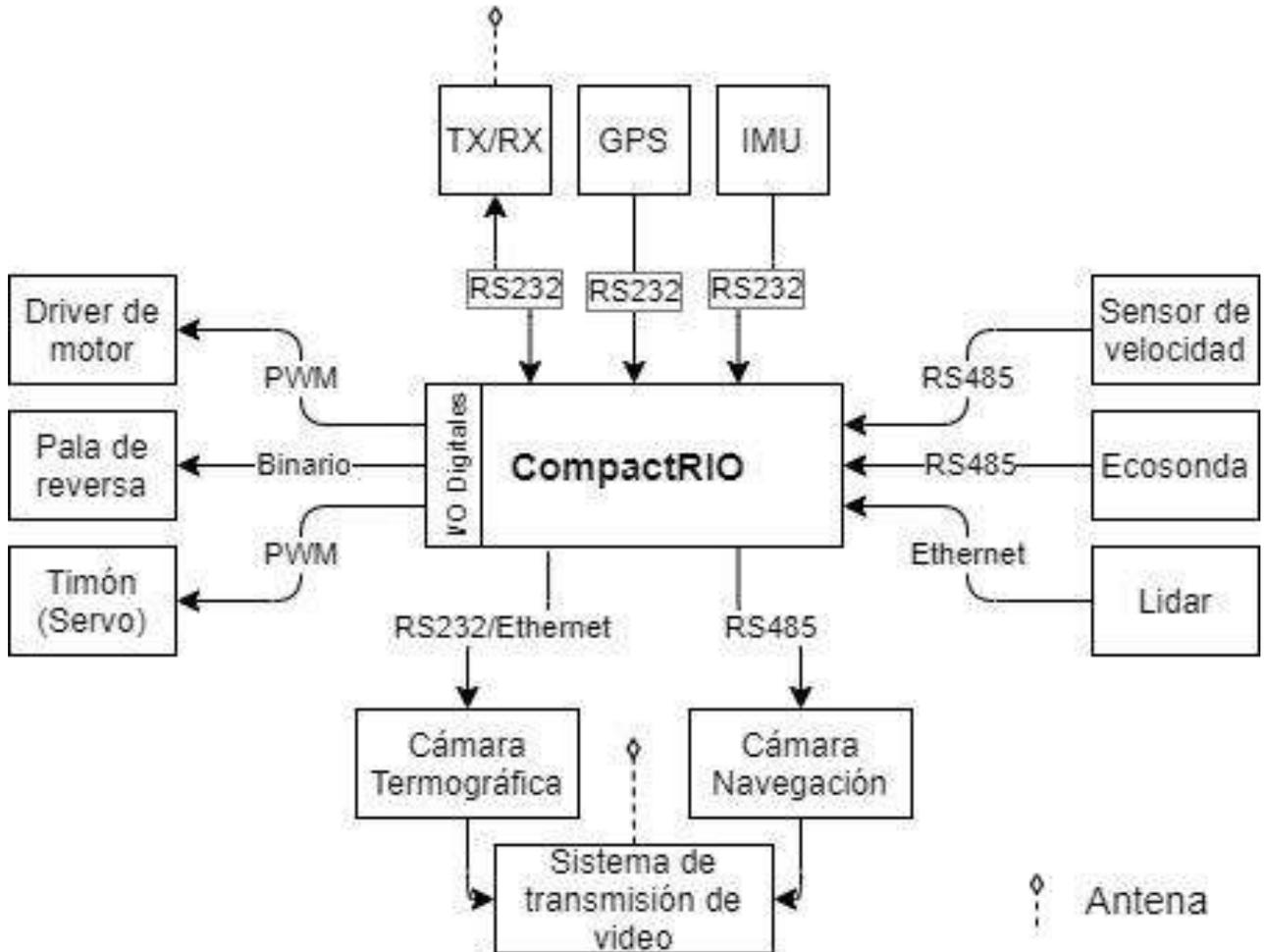
Actuador: Propulsor a Chorro, tobera de salida.

Sensores principales: IMU , GPS

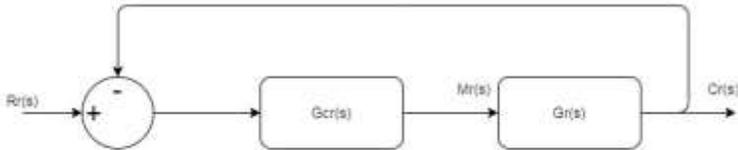


# Esquema de Control

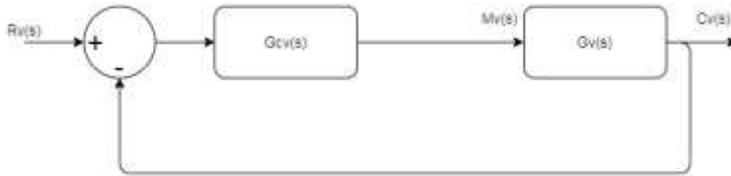
Arquitectura de hardware del sistema USV



# Esquema de control

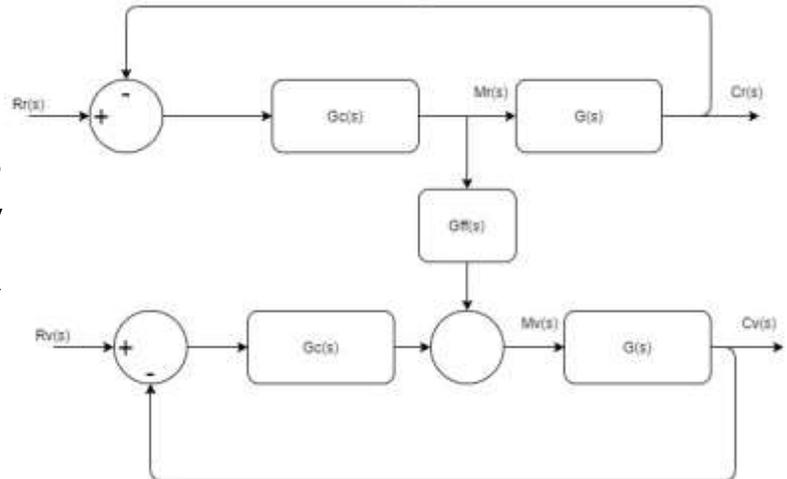


Lazo de control para la variable rumbo



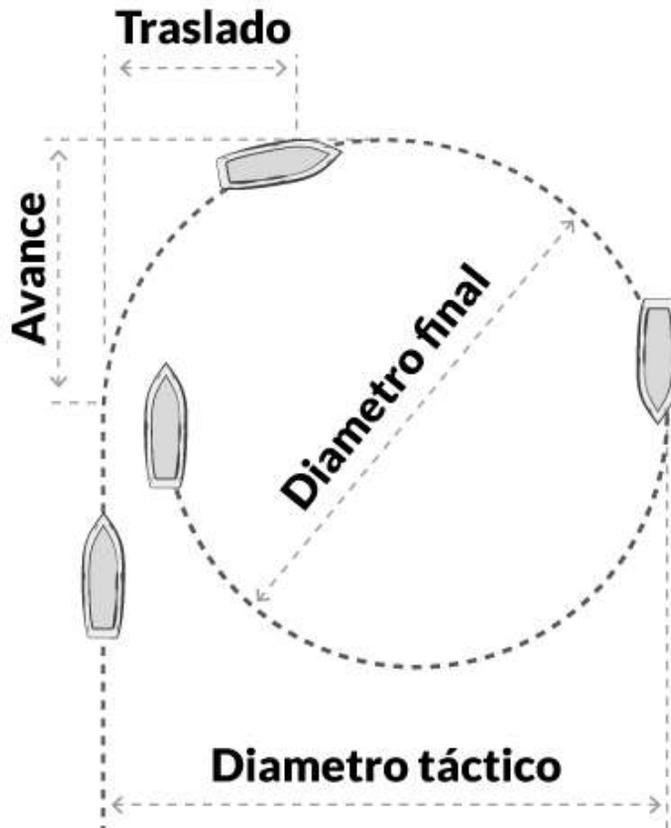
Lazo de control para la variable velocidad

Lazos de control acoplados para las variables rumbo y velocidad, mediante técnica Feed forward.



# Pruebas de Navegación

## Metodología de círculos evolutivos



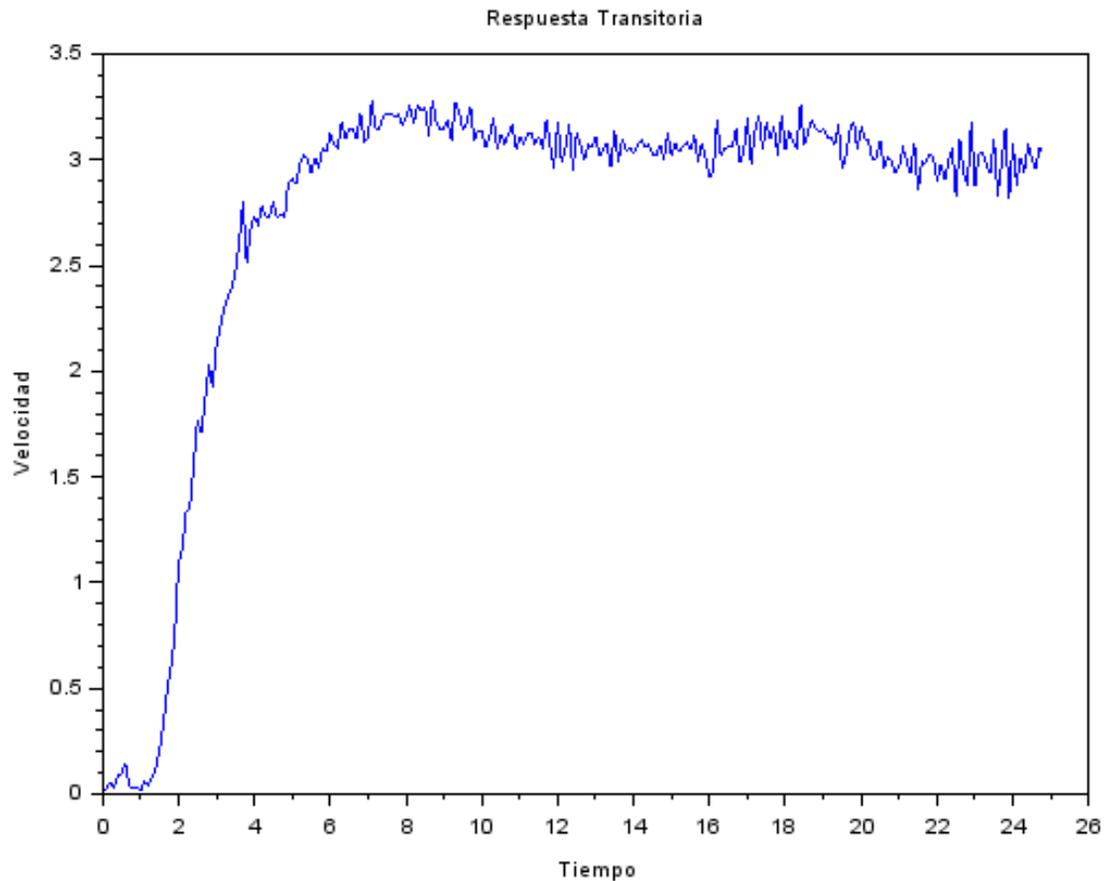
# Pruebas de Navegación

- Fase 0: USV en condiciones Iniciales. Esto es propulsión y timón a 0%
- Fase 1: Con timón = 0% realiza un paso escalón en propulsión
- Fase 2: Una vez el USV haya estabilizado en velocidad, realizar paso escalón en Timón.



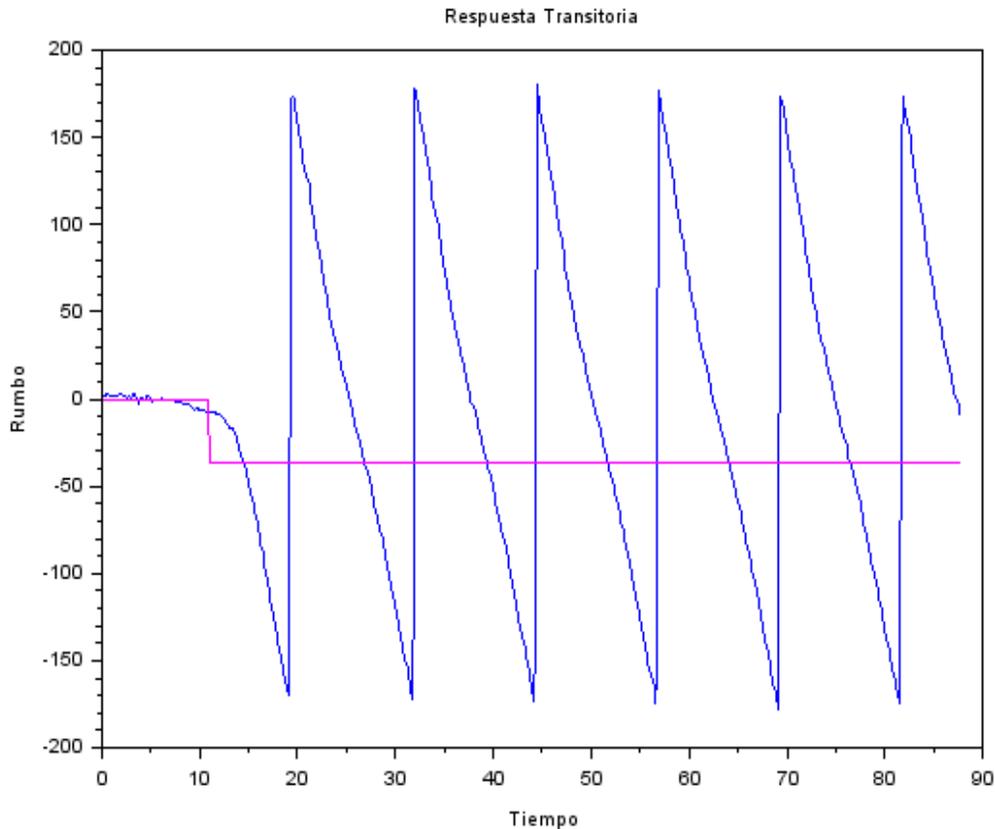
# Pruebas de Navegación

## Comportamiento inicial del USV en la variable velocidad



# Pruebas de Navegación

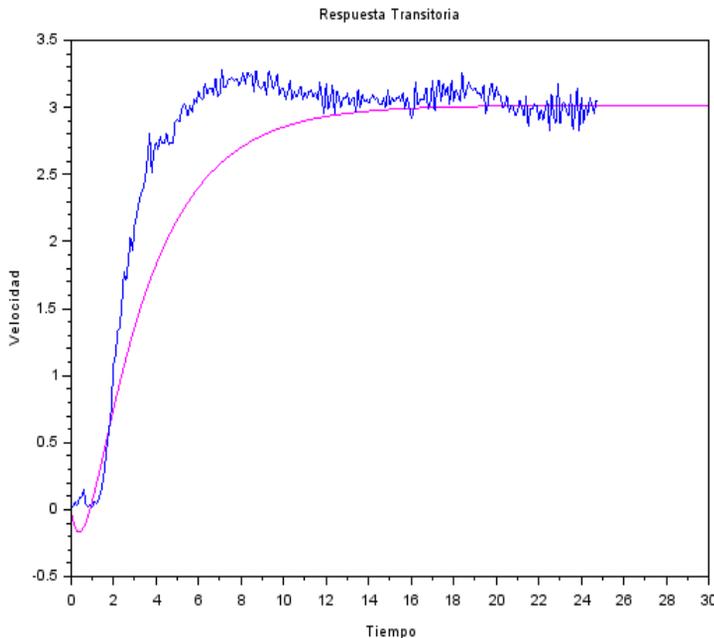
## Comportamiento inicial del USV en la variable rumbo



# Pruebas de Navegación

$$G(S) = \frac{0.335 e^{-1.2S}}{3s + 1} \quad \longrightarrow \quad \text{Modelo para la variable velocidad}$$

$$\text{Modelo de la variable rumbo} \quad \longleftarrow \quad G(S) = \frac{0.004864S + 0.4364}{0.04719S^2 + 1.614S + 1}$$



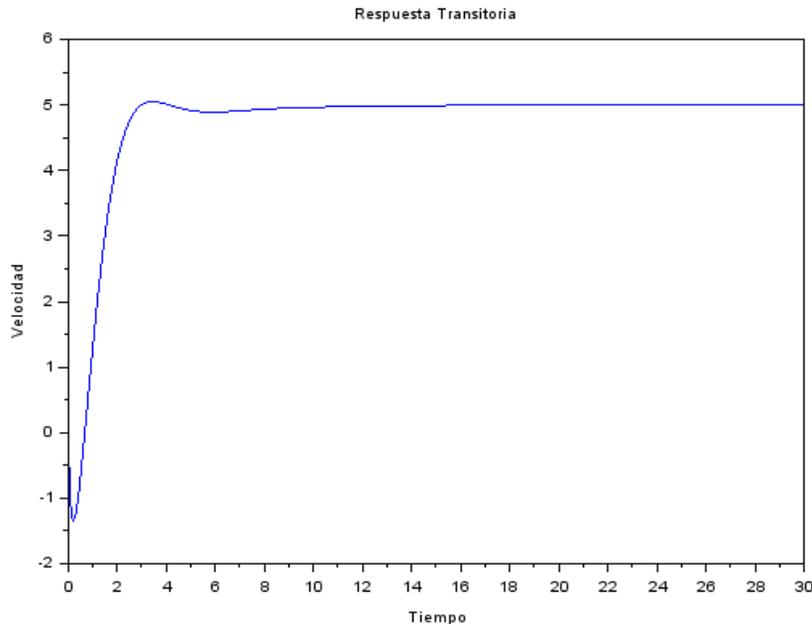
# Resultados

## Controlador de velocidad

Constantes del Controlador PID

$$K_c = 6.13 \quad \tau_i = 3.51s \quad \tau_d = 0.394s$$

Simulación del comportamiento del USV con el controlador incluido, para la variable velocidad



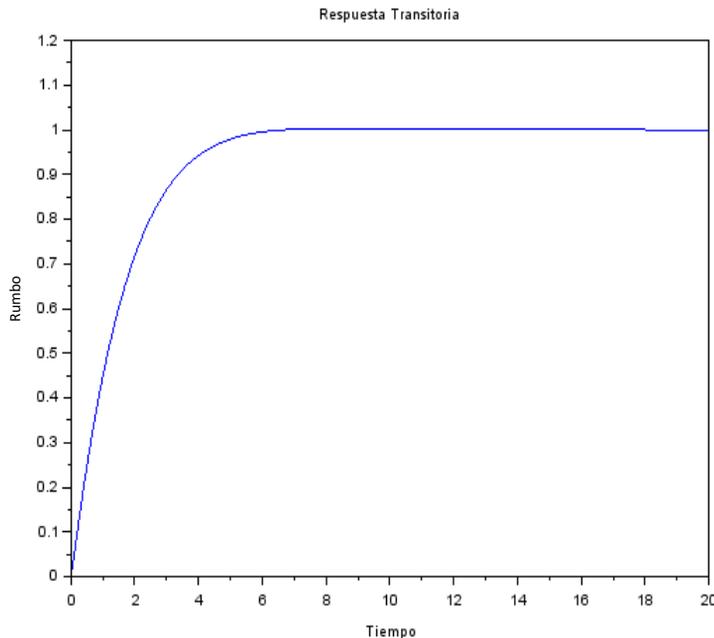
# Resultados

## Controlador de rumbo

Constantes del Controlador PI

$$K_c = 6.13 \quad \tau_i = 3.51s$$

Simulación del comportamiento del USV con el controlador incluido, para la variable rumbo



# Resultados

**¿Por qué esto es importante?**

Cualquier algoritmo de planificación de rutas de navegación o de evasión de obstáculos se basa en indicar la trayectoria a seguir; Pero es el lazo de control presentado, es el que garantiza dicha trayectoria.



# PRESENTACIÓN COLOMBIAMAR

**Análisis de algoritmos  
aplicados al control de la  
navegación en vehículos no  
tripulados**

# Tabla de contenidos

**01**

## INTRODUCCIÓN

Conceptos básicos para navegación de vehículos no tripulados

**02**

## ALGORITMOS DE NAVEGACIÓN

Resumen de algunos algoritmos de navegación para vehículos no tripulados. Concepto de planificación.

**03**

## ANÁLISIS

Análisis cualitativo realizado al desempeño de diferentes algoritmos.

**04**

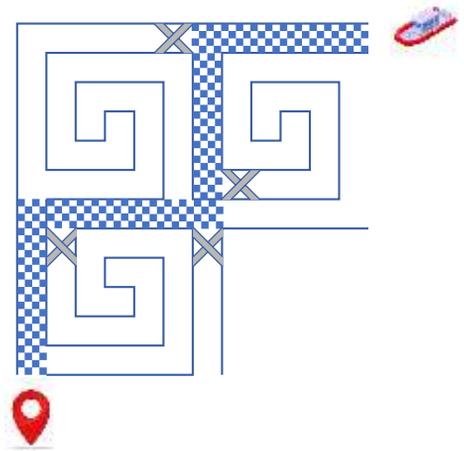
## CONCLUSIONES

Conclusiones y recomendaciones.

# Introducción

La navegación autónoma es la técnica o metodología que permite a un vehículo no tripulado desplazarse desde un punto a otro, en un entorno con obstáculos.

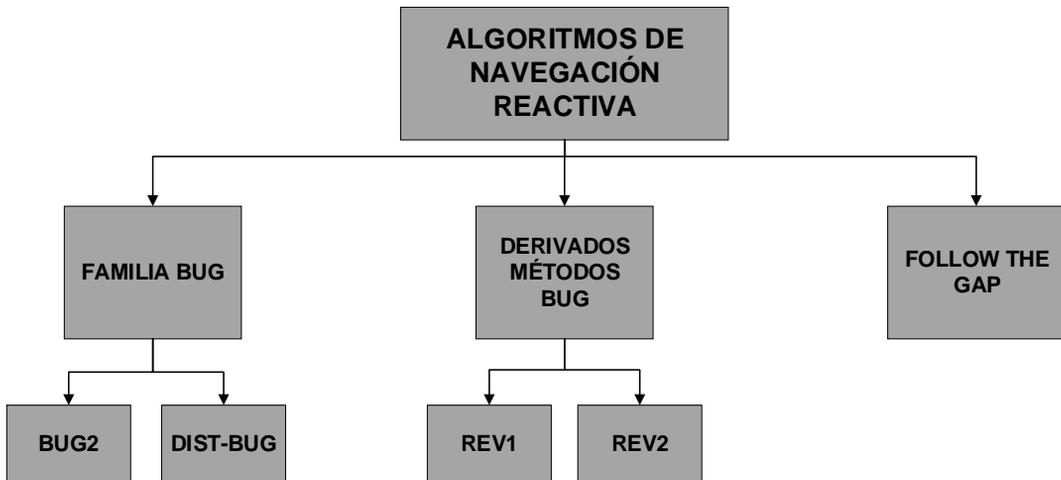
El objetivo de un algoritmo de navegación es llevar al vehículo desde el punto de inicio al punto final, a través de una ruta o trayectoria que los interconecte, evitando los obstáculos que se presenten en el intermedio



# Algoritmos de navegación

## Algoritmos de navegación reactiva

Evitan la acumulación de conocimiento del entorno y basan las decisiones para el movimiento del vehículo con base en la información en tiempo real proporcionada por los sensores.

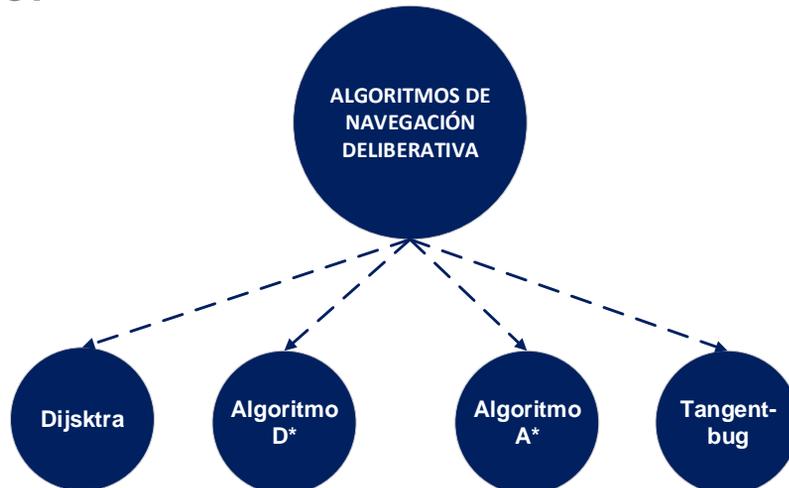


# Algoritmos de navegación

## Algoritmos de navegación deliberativa

Utilizan una representación o modelo del entorno para tomar las decisiones de la navegación.

Combinan varias actividades: percepción del entorno y localización o estimación de la posición (SLAM), planeación de trayectoria y seguimiento del camino.



# Algoritmos de navegación

## Algoritmos seguidores de pistas

Permiten al vehículo determinar la dirección de la pista de navegación que debe seguir para llegar al objetivo, considerando la presencia de obstáculos en el entorno, que pueden estar o no sobre la pista.



# Algoritmos de navegación

## Planificación

Planificación global: generación de ruta que permite definir un camino libre de obstáculos entre el punto de inicio y el objetivo, a partir de la información inicial que se tiene del entorno.

Planificación local: Modifica la trayectoria inicial en la medida que requiera esquivar obstáculos. Utiliza la información de los sensores para identificar obstáculos y así, tomar las acciones para evadirlos y actualizar los datos del entorno.

# Análisis

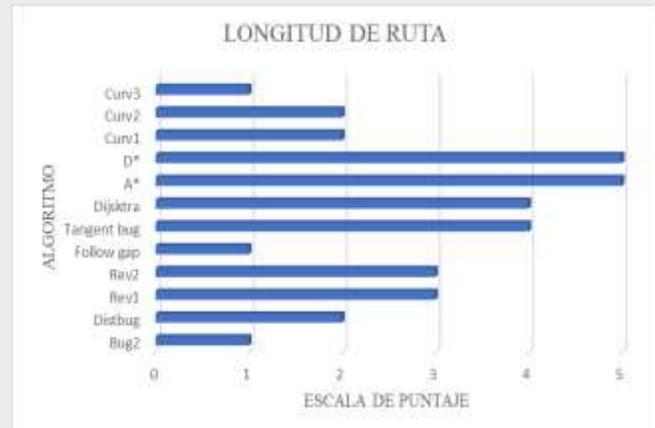
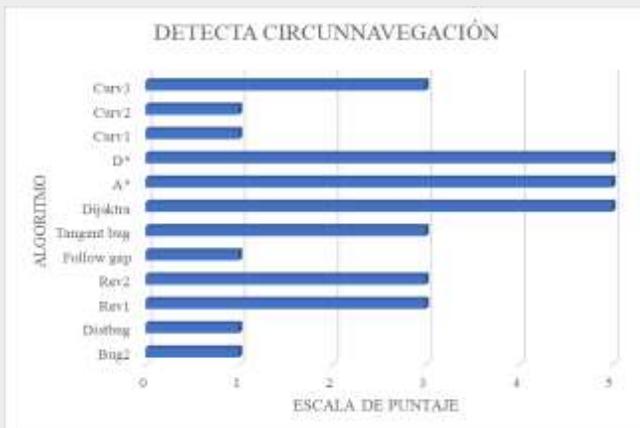
Análisis cualitativo de diferentes algoritmos de navegación, utilizando como referencia las siguientes métricas:

“Desempeño General”: Detección de circunnavegación, Longitud de la ruta y Capacidad de evasión de obstáculos.

“Recursos requeridos”: Requerimientos de memoria, Requerimientos de procesamiento y Cantidad de sensores.

## Detección de circunnavegación:

Capacidad para identificar que está transitando en más de una ocasión por un mismo punto o ruta.

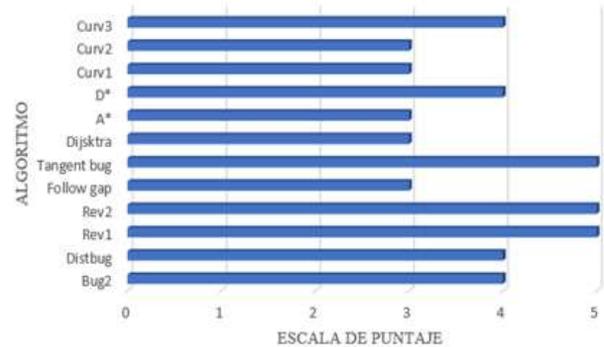


**Longitud de ruta:** Capacidad de garantizar que el USV recorra la ruta de menor distancia hacia el objetivo.

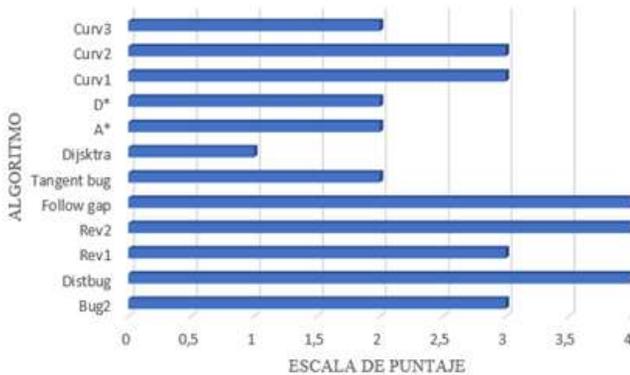
# Análisis

**Evasión de obstáculos:** hace referencia a la capacidad de reaccionar ante obstrucciones conocidas y/o desconocidas.

CAPACIDAD EVASIÓN DE OBSTACULOS



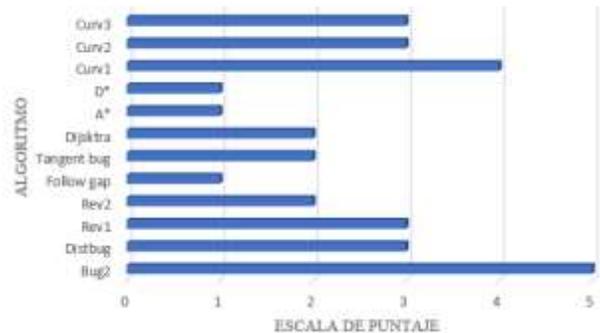
REQUERIMIENTOS DE MEMORIA



**Requerimientos de memoria:** Cantidad de memoria física requerida para almacenar datos.

**Requerimientos de procesamiento:** Capacidad de realizar operaciones con una velocidad que permita al USV reaccionar en tiempo próximo al real.

REQUERIMIENTOS DE PROCESAMIENTO



# Análisis



**Cantidad de sensores:** Requeridos para poder alimentar el algoritmo y que pueda cumplir su función de forma correcta.

## Resumen de resultados

Algoritmo	Métricas de análisis						Puntaje
	Detecta circunnavegación	Longitud de ruta	Cap. evasión obstáculos	Requerimientos memoria	Requerimientos procesamiento	Cantidad de sensores	
Bug2	1	1	4	3	5	4	2,5
Distbug	1	2	4	4	3	4	2,7
Rev1	3	3	5	3	3	4	3,5
Rev2	3	3	5	4	2	4	3,5
Follow gap	1	1	3	4	1	4	2
Tangent bug	3	4	5	2	2	3	3,5
Dijkstra	5	4	3	1	2	3	3,4
A*	5	5	3	2	1	3	3,7
<b>D*</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3,9</b>
Curv1	1	2	3	3	4	4	2,5
Curv2	1	2	3	3	3	4	2,4
Curv3	3	1	4	2	3	4	2,6

# Análisis

El **algoritmo D\*** presenta las mejores características.

Es un algoritmo que tiene como premisa encontrar la ruta más corta.

Utiliza la técnica SLAM, por lo cual, permite detectar la circunnavegación, la evasión de obstáculos y la reacción ante obstáculos dinámicos, mediante la actualización de la ruta de navegación.

Alto uso de recursos (procesamiento, memoria y sensores).

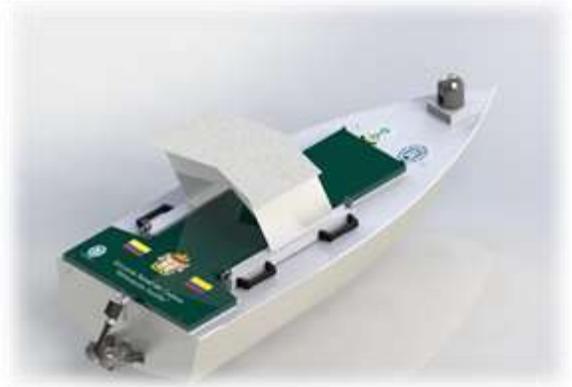
Empleado comúnmente para realizar tareas de planificación global para vehículos autónomos.

Otros algoritmos con buen desempeño:

- Algoritmo A\* (basado en algoritmo Djisktra).
- Algoritmos Rev1 y Rev2 (derivados de la familia bug).
- Algoritmo Djisktra.
- Algoritmo Tangent-Bug.

# Análisis

Los algoritmos de navegación deliberativa presentan un mejor rendimiento que los algoritmos de navegación reactiva y seguidores de pistas, en vista que, para el sistema de control y navegación de un vehículo autónomo, tener un conocimiento completo del espacio de configuración le permite tomar mejores decisiones para llevar el vehículo desde un punto inicial hasta un objetivo.



# Conclusiones

El algoritmo  $D^*$  es recomendado para utilizar en un USV que deba realizar misiones dentro de espacios de configuración conocidos o con poca densidad de obstáculos dinámicos. Sin embargo, su implementación es costosa.

En casos donde se tengan restricciones de recursos, se recomienda utilizar alguno de los algoritmos Rev1 o Rev2 (concepto de navegación reactiva), dado que pueden trabajar adecuadamente sin un conocimiento completo del entorno de navegación.

En escenarios con alta densidad de obstáculos dinámicos, se recomienda implementar una estrategia de navegación complementaria, que conste de un algoritmo maestro de planificación global ( $D^*$  o  $A^*$ ) y un algoritmo secundario, de planificación local (Rev1 o Rev2).

Gracias

