

**Simposio conmemorativo del 25 aniversario del ININDETEC
14-16 de octubre de 2026. Antón Lizardo, Ver.**

Vehículos autónomos de superficie y subacuáticos: Del diseño a las competencias y aplicaciones

Dr. Herman Castañeda Cuevas



Grupo de investigación en Movilidad
Departamento de Mecatrónica
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Tecnológico de Monterrey

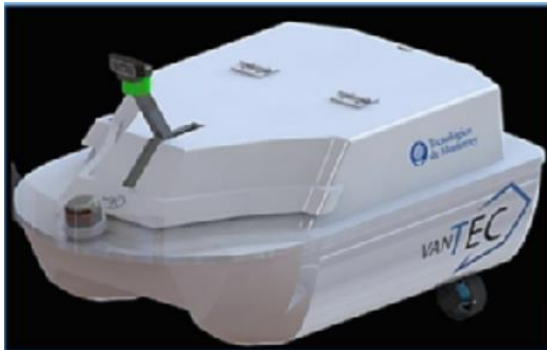
Contacto: hermancc@tec.mx

Contenido

1. Introducción.
2. Investigación y el grupo estudiantil.
3. El vehículo acuático de superficie.
4. Modelación, control y guiado.
5. El vehículo subacuático.
6. Modelación, control y navegación.
7. AWAS: Aplicación para vehículos acuáticos.

Introducción

- Los vehículos acuáticos no tripulados (sin piloto humano a bordo) pueden ser vistos como máquinas (robots) que **perciben (a través de sensores), planean y actúan** para lograr una tarea o una misión.



El vehículo de superficie:

- Diseño tipo Catamarán
- Buena estabilidad y maniobrabilidad
- Gran superficie útil
- Aptos para diversas aplicaciones



El vehículo subacuático:

- Diseño compacto
- Modular
- Ágiles (actuación completa)
- Aplicaciones en inspección

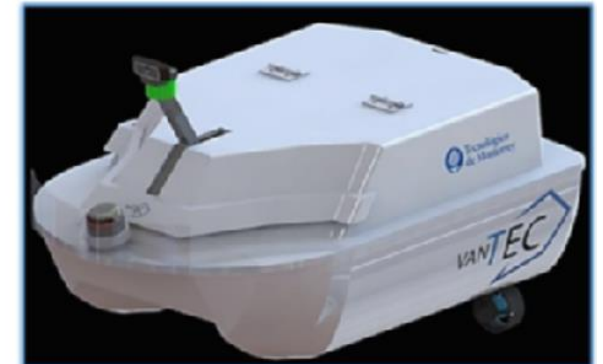
Problema de investigación: Incertidumbres y perturbaciones

Las incertidumbres y perturbaciones reducen el desempeño, afectando la misión y la estabilidad de los vehículos.

- Incertidumbre paramétrica
- Dinámica no modelada
- **Perturbaciones externas**

Perturbaciones externas se pueden definir de acuerdo con el ambiente donde se desplazan los vehículos.

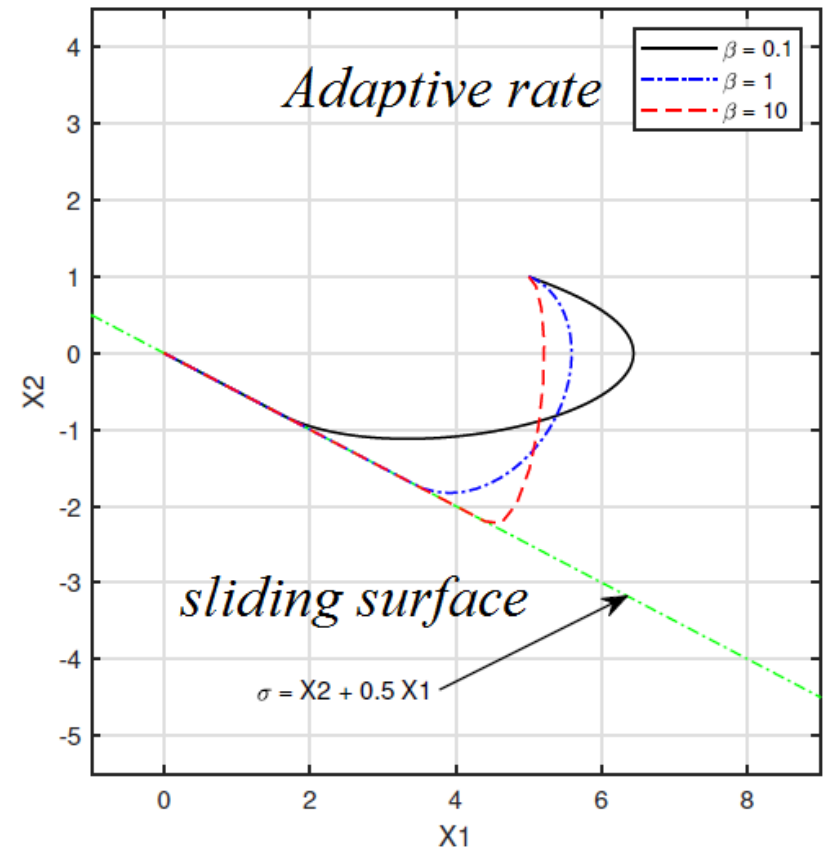
- **Vehículo acuático:** Viento, olas, corrientes acuáticas, carga extra.



¿Cómo afrontar las incertidumbres y perturbaciones?

Los controladores por modos deslizantes adaptativos:

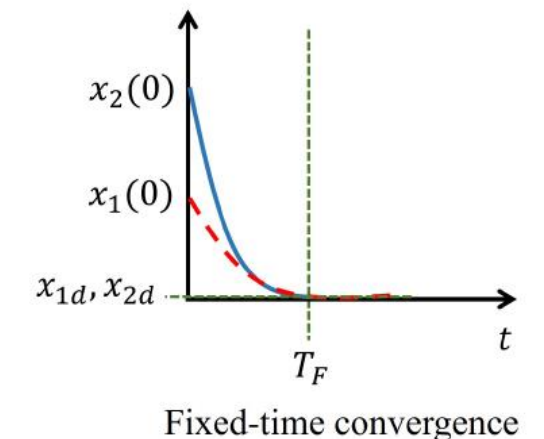
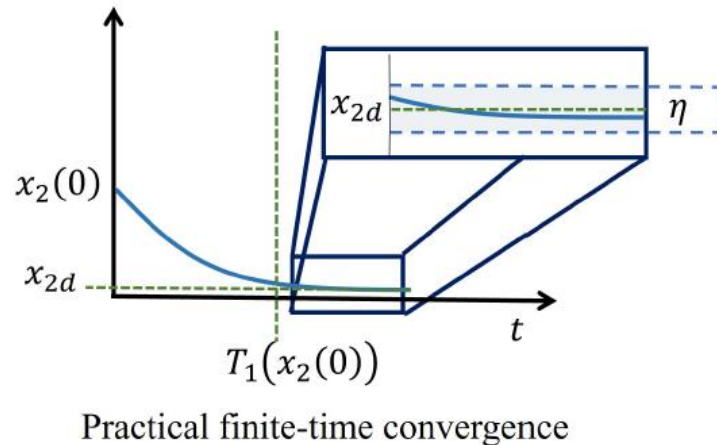
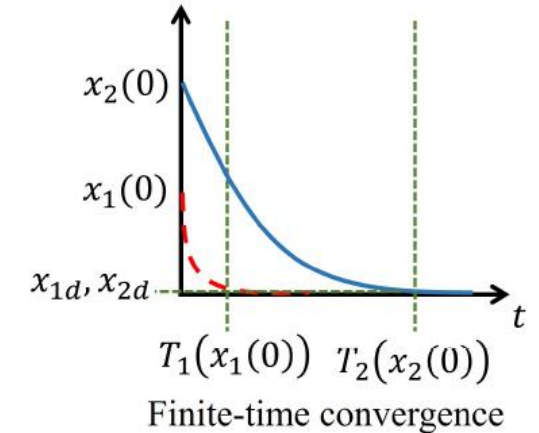
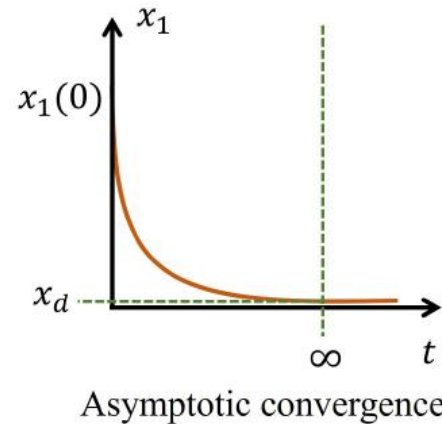
- Convergencia en tiempo finito.
- Insensibilidad a perturbaciones acopladas.
- Su ganancia de control se **adapta en relación con la perturbación**.
- Efecto reducido de chattering.
- **No es necesario conocer la cota de la perturbación** (acotado).



¿Cómo estimar el estado completo de los vehículos?

Observadores y diferenciadores

- Convergencia en **tiempo finito**, y en **tiempo fijo**.
- **Reducción** de los efectos del **ruido** en la medición.
- Estimación del **estado completo** y de **perturbaciones**.



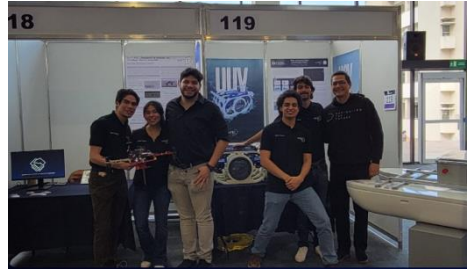
Laboratorio de control de sistemas robóticos

- Robots móviles para experimentación
- Area de pruebas 5 x 13m
- Sistema de captura de movimiento (VICON)
- Proyección de escenarios virtuales
- Oficinas para estudiantes
- Mesas de trabajo

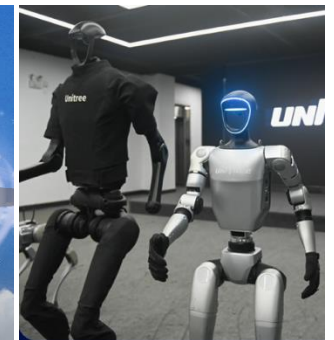
CETEC, Torre norte, Tecnológico de Monterrey



VantTec: Grupo estudiantil del Tecnológico de Monterrey



- **Grupo estudiantil** dedicado al desarrollo de proyectos relativos a **vehículos autónomos**.
- **Creado desde 2015** y activo hasta la fecha.
- Actualmente **más de 100 estudiantes**
- **Diversidad de carreras**, IMT, IRS, ITC, IFI, etc.
- 6 proyectos insignia: **USV, UUV, Swarm, UAV, SDV, Humanoide**.
- Desarrollan habilidades más allá del aula, como **ROS, Diseño electrónico, CAD, Programación, Sistemas embebidos**, y también servicio social e inclusivo.
- Competencias como motor de desarrollo: **Roboboat, Robosub, TMR, Drones**.



El vehículo acuático de superficie



Historia del vehículo acuático de superficie

VTEC S-I



Primer prototipo construido para participar en RoboBoat 2017.

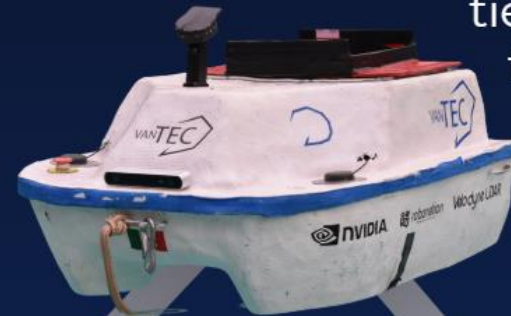
2017

Segundo prototipo, diseñado en CAD para RoboBoat 2018 y lo que serviría como base del VTEC S-III.

VTEC S-II



VTEC S-III



Tercer barco, compitiendo en 2019 y 2024 en RoboBoat dada su practicidad, eficiencia y tiempo en agua. Principal fuente de publicaciones en VANTEC.

2025

VTEC S-IV



Último prototipo, más grande, con el doble de fuerza y con un acercamiento hacia la modularidad.

Competencia RoboBoat y logros

- **RoboBoat es una competición internacional para estudiantes** de todo el mundo que diseñan embarcaciones robóticas autónomas para recorrer un circuito de pruebas.
- Estas embarcaciones están **diseñadas para realizar tareas que simulan desafíos reales a los que se enfrenta la industria marítima** como la vigilancia costera, la seguridad portuaria y oceanografía.
- La competencia consta de 3 fases: 1) **Construcción del barco**, 2) **navegar** y 3) **ganar con el**.

- 2017 Special drone aware
- 2018 Engineering Integrity Aware
- 2019 5to. Lugar general
- 2020 **1er. Lugar en modalidad virtual**
- 2021 **1er. Lugar en 2 categorías**
- 2024 Finalistas

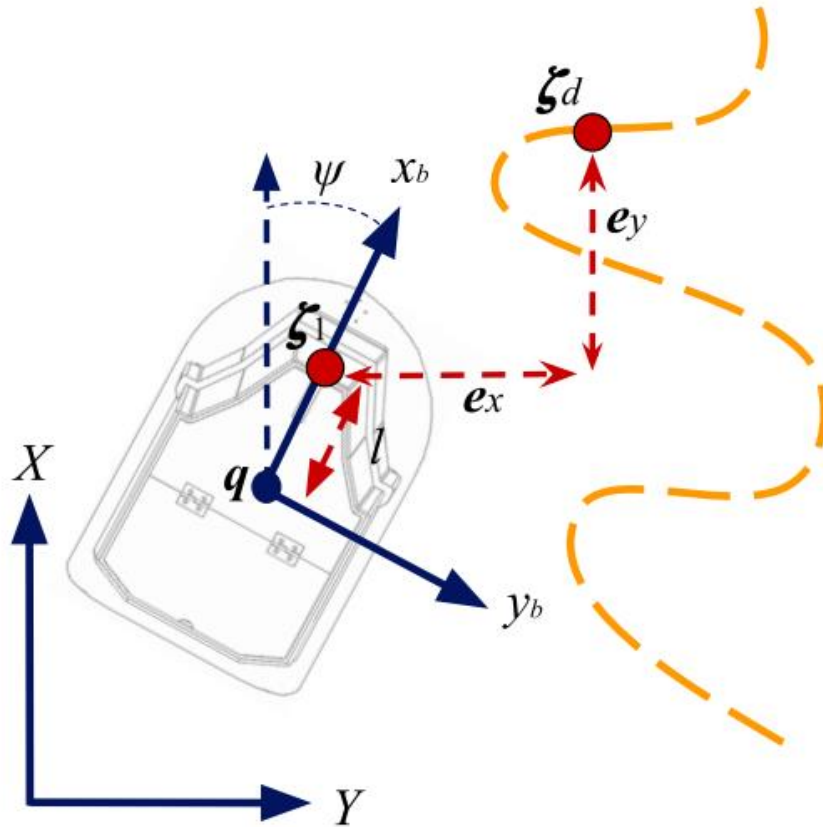
Además, se han obtenido

- Thrusters T200 de Bluerobotics
- Jetson Nano
- LiDAR Velodyne (16 laser)
- \$3000.00 USD

Fuente: <https://roboboat.org/>



Modelación matemática del vehículo de superficie



$$\tau = M\dot{v} + C(v)v + D(v)v \quad (1)$$

$$\dot{\eta} = J(\eta)v \quad (2)$$

$$\eta = [x, y, \psi]^T \rightarrow \text{Estado}$$

$$v = [u, v, r]^T \rightarrow \text{Velocidades locales}$$

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_x \\ \tau_y \\ \tau_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{\text{port}} + \alpha_T T_{\text{stbd}} \\ 0 \\ (T_{\text{port}} - \alpha_T T_{\text{stbd}})B/2 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Entradas de control}$$

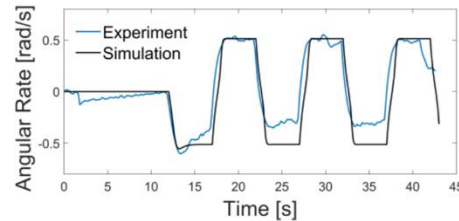
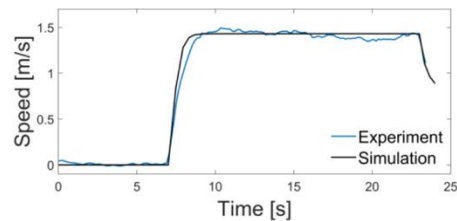
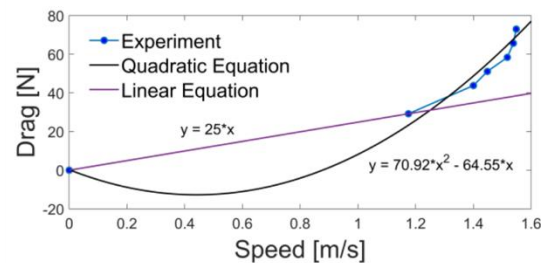
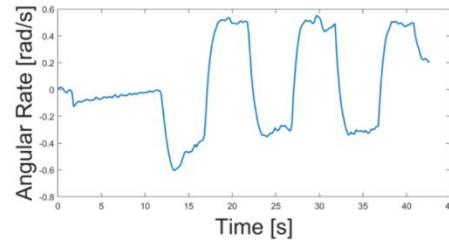
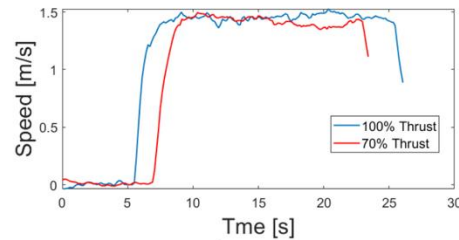
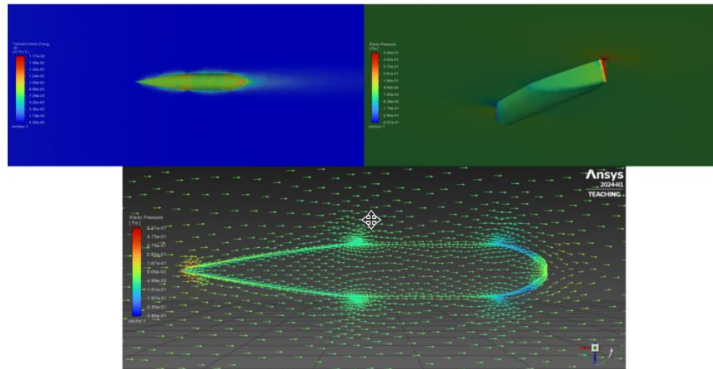
$$J(\eta) = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Matriz de rotación}$$

$$D(v) = - \begin{bmatrix} X_u & 0 & 0 \\ 0 & Y_v & Y_r \\ 0 & N_v & N_r \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_{u|u}|u| & 0 & 0 \\ 0 & Y_{v|v}|v| + Y_{v|r}|r| & Y_{r|v}|v| + Y_{r|r}|r| \\ 0 & N_{v|v}|v| + N_{v|r}|r| & N_{r|v}|v| + N_{r|r}|r| \end{bmatrix} \rightarrow \text{Matriz de arrastre}$$

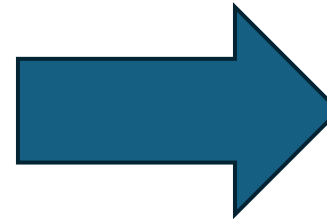
$$M = \begin{bmatrix} m - X_{\dot{u}} & 0 & -my_G \\ 0 & m - Y_{\dot{v}} & mx_G - Y_{\dot{r}} \\ -my_G & mx_G - N_{\dot{v}} & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix} \rightarrow \text{Matriz de inercias}$$

$$C(v) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -m(x_G r + v) \\ 0 & 0 & -m(y_G r - u) \\ m(x_G r + v) & m(y_G r - u) & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2(Y_{\dot{v}}v + (\frac{Y_{\dot{r}} + N_{\dot{u}}}{2})r) \\ 0 & 0 & -X_{\dot{u}}u \\ 2(-Y_{\dot{v}}v - (\frac{Y_{\dot{r}} + N_{\dot{u}}}{2})r) & X_{\dot{u}}u & 0 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Matriz de Coriolis}$$

Verificación del modelo y obtención de parámetros



*Estimación de
parámetros
mediante CAD*



*Estimación de
parámetros
mediante
experimentos*

X_u		25, ($u > 1.2$) 64.55
Y_v	0.5	$f(Y, v)$
Y_r	3	$-\pi\rho\sqrt{(u^2 + v^2)}T^2L$
N_v	0.06	$-\pi\rho\sqrt{(u^2 + v^2)}T^2L$
N_r	0.02	$-\pi\rho\sqrt{(u^2 + v^2)}T^2L^2$
$X_{\dot{u}}$		-2.25
$Y_{\dot{v}}$		-23.13
$Y_{\dot{r}}$		-1.31
$N_{\dot{v}}$		-16.41
$N_{\dot{r}}$		-2.79
$X_u u $		0, ($u > 1.2$) -70.92
$Y_v v $		-99.99
$Y_v r $		-5.49
$Y_r v $		-5.49
$Y_r r $		-8.8
$N_v v $		-5.49
$N_v r $		-8.8
$N_r v $		-8.8
$N_r r $		-3.49

$$f(Y, v) = -40\rho|v|[1.1 + 0.0045\frac{L}{T} - 0.1\frac{B_{\text{hull}}}{T} + 0.016(\frac{B_{\text{hull}}}{T})^2](\frac{\pi TL}{2}).$$

Parameter	Value
Length overall	1.01 [m]
Length on the waterline	0.93 [m]
Draft	0.09 [m]
Beam overall	0.75 [m]
Beam on the waterline	0.61 [m]
Centerline-to-centerline side hull separation	0.41 [m]
Individual hull beam	0.27 [m]
Length to beam ratio	2.47
Mass	30 [kg]
Longitudinal center of gravity	0.45 [m]
Moment of inertia	4.1 [kgm^2]

Control robusto a perturbaciones externas

Dinámica longitudinal (sistema de primer orden)

$$\dot{\zeta}_u = f(\zeta_u) + g(\zeta_u)U_u \quad (4)$$

$$\dot{\zeta}_\psi = f(\zeta_r) \quad (5)$$

$$\dot{\zeta}_r = f(\zeta_\psi) + g(\zeta_\psi)U_\psi \quad (6)$$

Dinámica de orientación (sistema de segundo orden)

$$f(\zeta_u) = \frac{1}{m - X_{\dot{u}}} [(m - Y_{\dot{v}})vr + X_{u|u}|u|u| + X_u u] \quad (7)$$

$$g(\zeta_u) = \frac{1}{m - X_{\dot{u}}} \quad (8)$$

$$U_u = \frac{1}{g(\zeta_u)} [-f(\zeta_u) + \dot{u}_d + \alpha_u \dot{e}_{I,u} - u_{\alpha,u}] \quad (9)$$

Control de velocidad longitudinal

$$f(\zeta_\psi) = \frac{1}{I_z - N_{\dot{r}}} [(-X_{\dot{u}} + Y_{\dot{v}})uv + N_{r|r}|r|r| + N_r r] \quad (10)$$

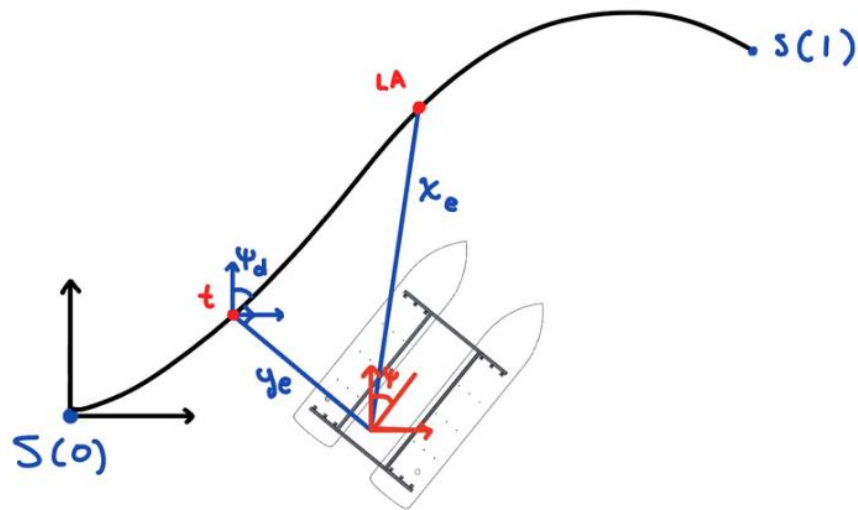
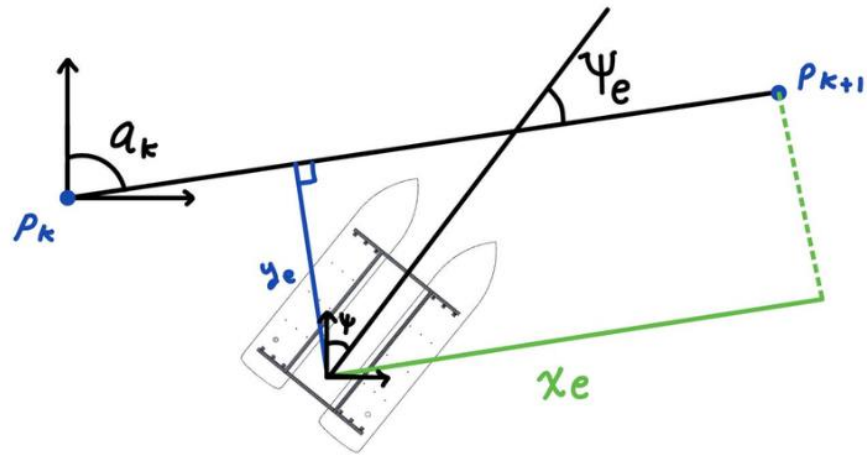
$$g(\zeta_\psi) = \frac{1}{I_z - N_{\dot{r}}} \quad (11)$$

$$U_\psi = \frac{1}{g(\zeta_r)} [-f(\zeta_r) + \dot{r}_d + \alpha_r \dot{e}_{I,r} - u_{\alpha,r}] \quad (12)$$

Control de orientación

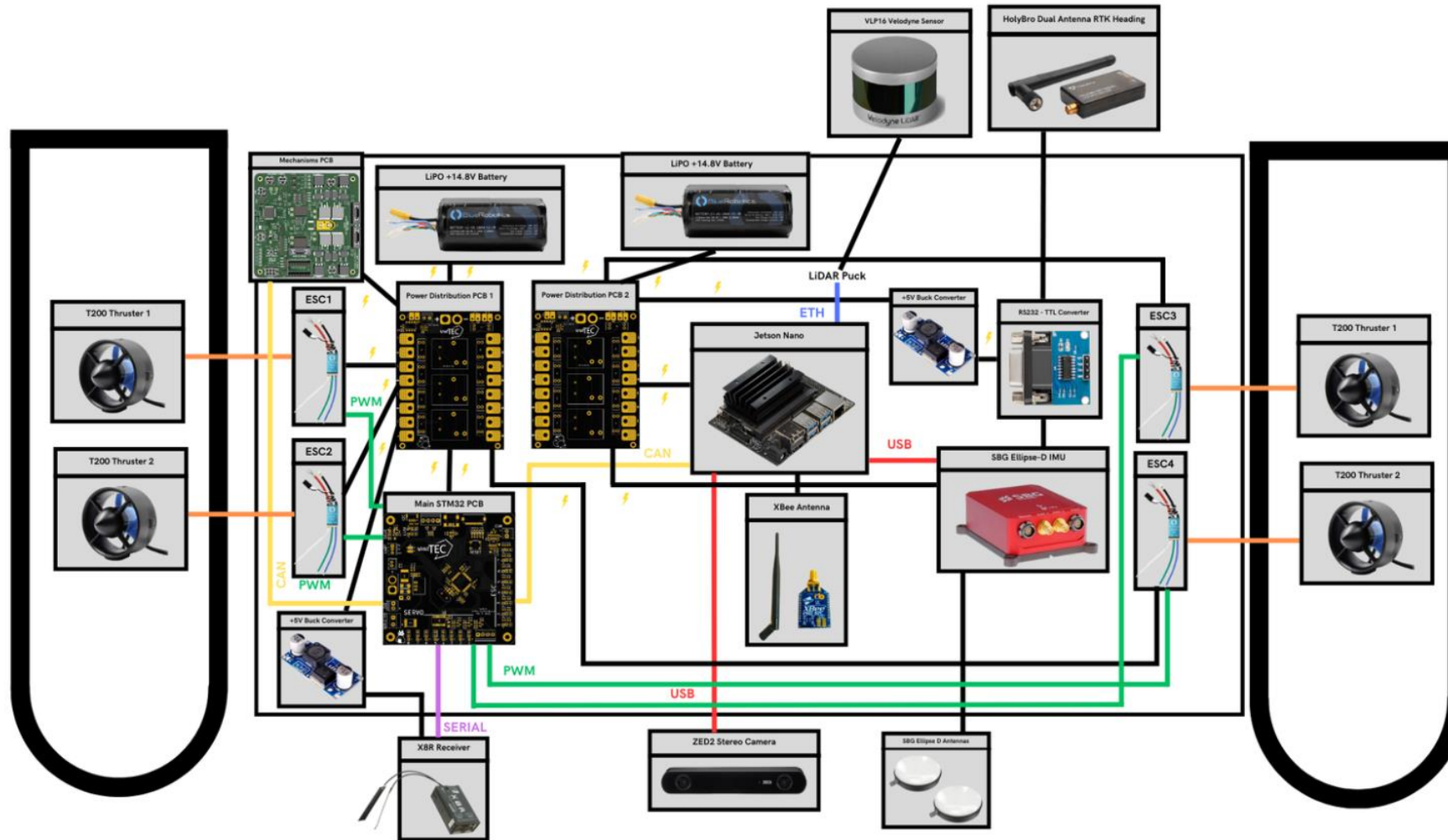
$u_\alpha \rightarrow$ Control por modos deslizantes adaptativo

Ley de guiado para seguir rutas y evitar colisiones



- **Ley de guiado** basado en **LOS** (Light of sight).
- **Ley de guiado** basado en **NMPC** (Nonlinear model predictive control).
- **Splines** que proporcionan referencias **continuas y suaves**.
- **Evasión** de obstáculos **estáticos y dinámicos**.
- **NMPC** con **pesos variables**.

Diagrama electrónico del prototipo

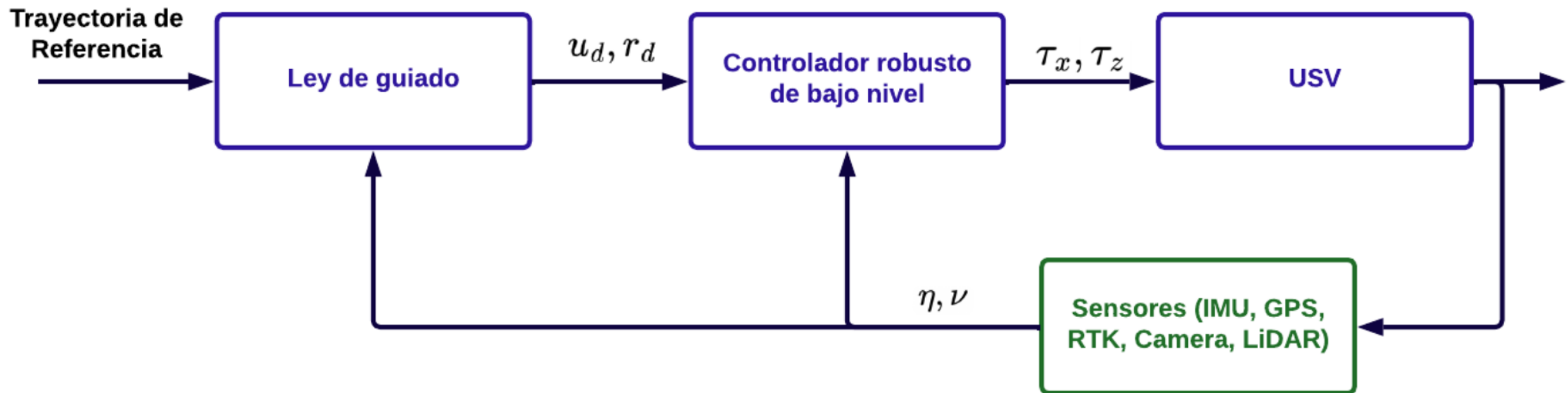


- 4 Thrusters T200 en paralelo Bluerobotics.
- 4 ESCs.
- PCB potencia.
- PCBs distribución.
- 2 Baterías Lipo.
- SBG IMU con GPS.
- Jetson Nano Orin.
- Cámara ZED.
- LiDAR Velodyne
- Switch de seguridad.
- Telemetría (radio).
- Control remoto.

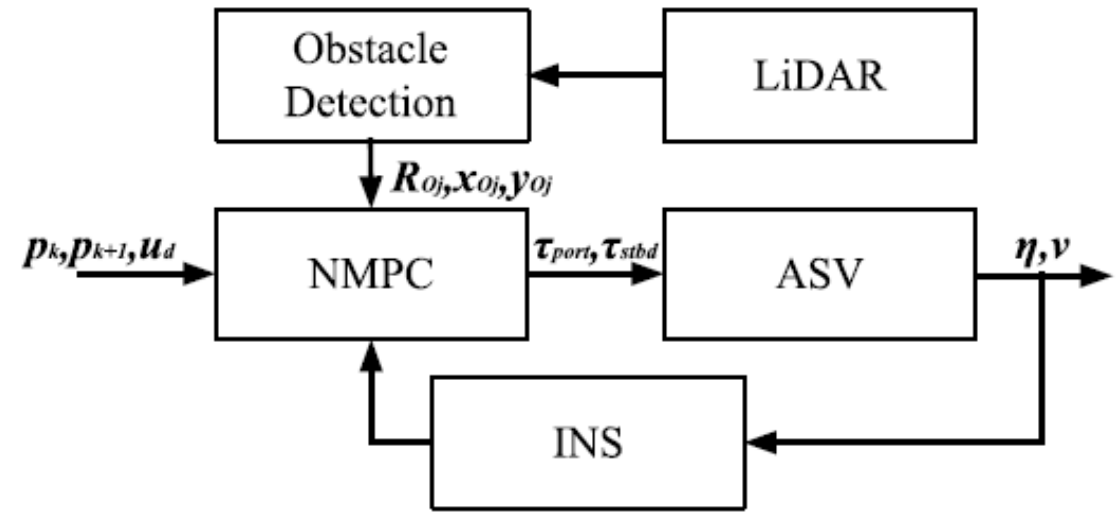
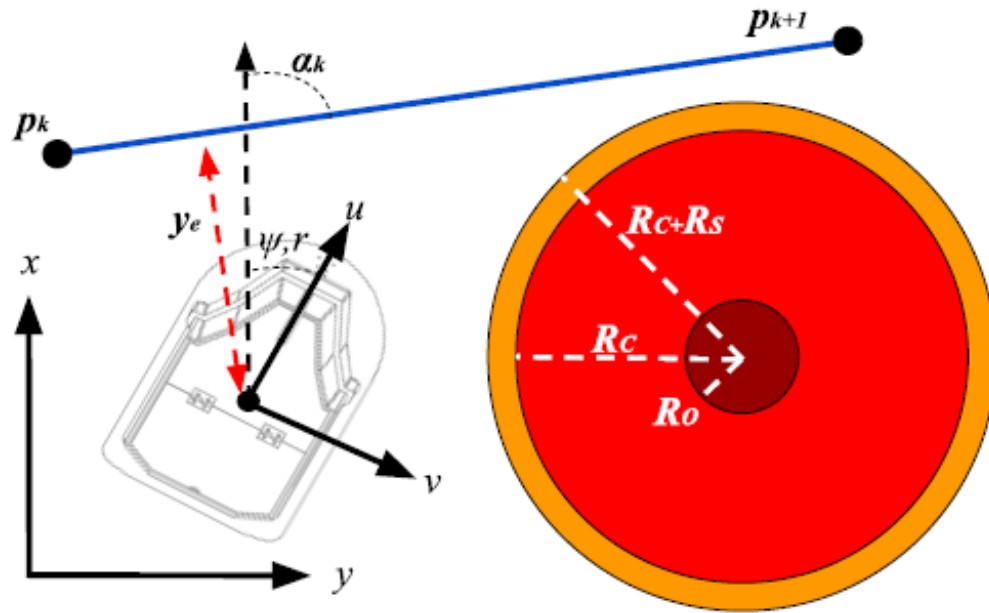
Control y guiado

Objetivo de control: Diseñar un controlador para un vehículo de superficie para seguir trayectorias en presencia de incertidumbres y perturbaciones externas tales como viento, olas y corrientes acuáticas.

Objetivo de guiado: Proporcionar referencias al controlador de tal manera que el vehículo pueda seguir rutas y evadir obstáculos.

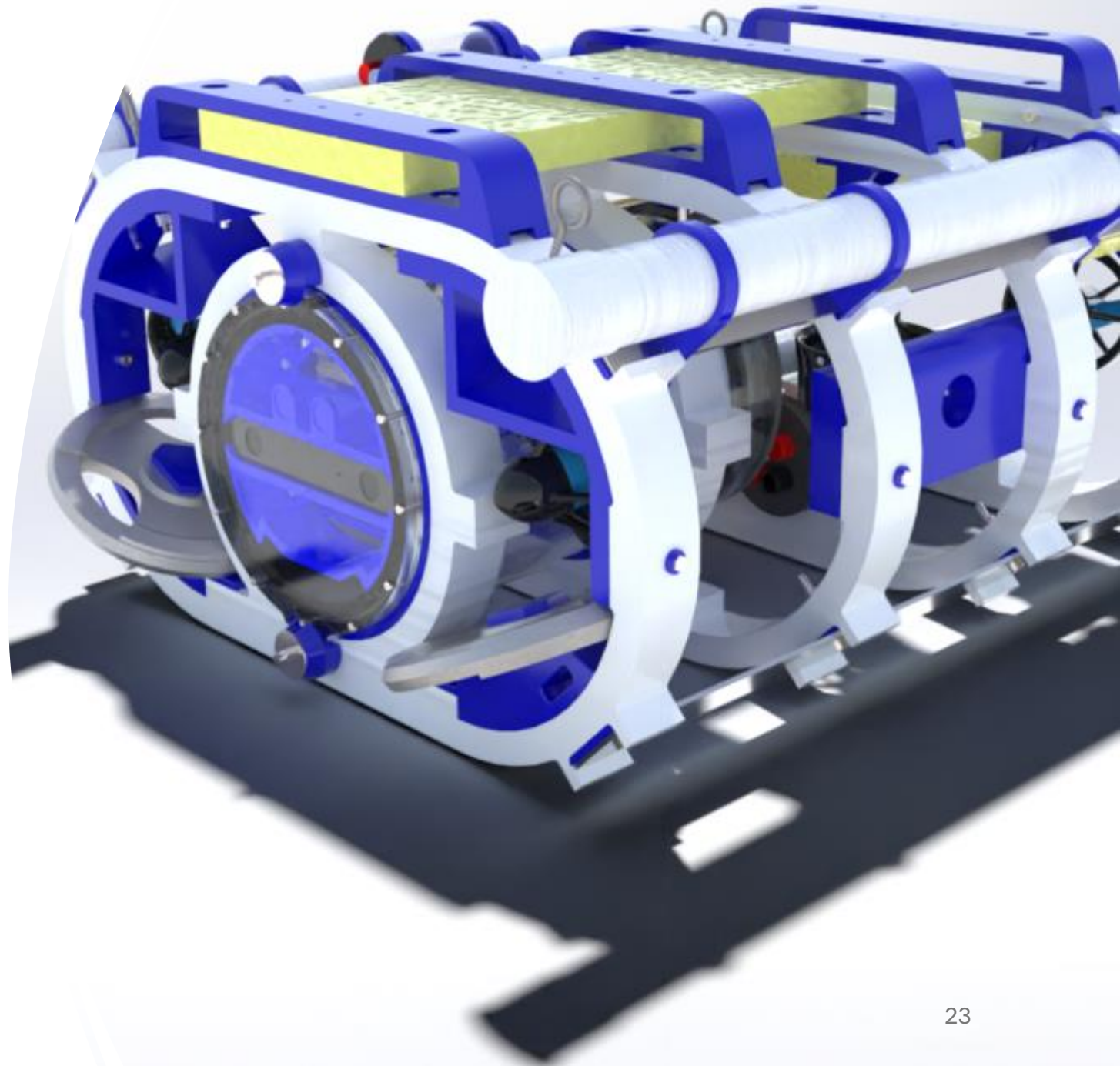


Evación de colisiones mediante NMPC



El sistema detecta los obstáculos mediante LIDAR.

El vehículo subacuático



Historia del vehículo subacuático

VTEC - U1

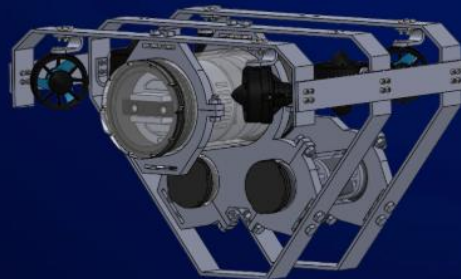


Primer prototipo construido para entender las necesidades del vehículo

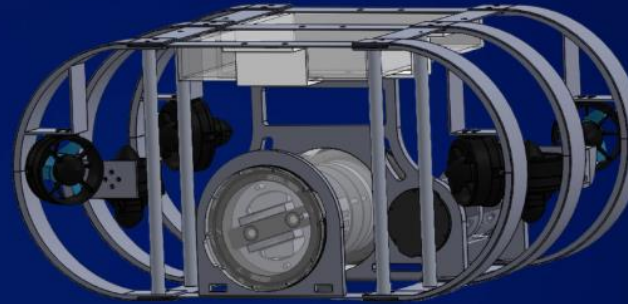
2019

Segundo prototipo diseñado en CAD para participar en Robosub 2020 y lo que serviría como base del VTEC - U3

VTEC - U2



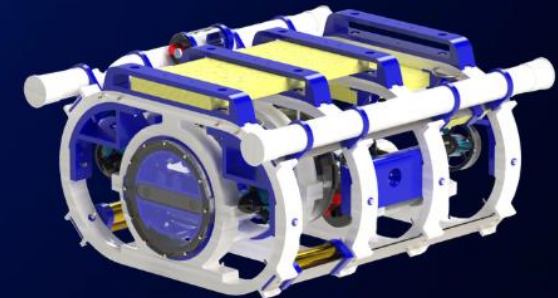
VTEC - U3



Tercer submarino el cual compitió en Robosub 2020 - 2022 gracias a su modelo de control, VantTec siguió como referente en publicaciones científicas

2026

VTEC - U4



Último prototipo, más grande con un acercamiento hacia la modularidad

Competencia Robosub y logros

- **RoboSub es una competición internacional** para estudiantes de todo el mundo diseñan y construyen submarinos robóticos.
- **Los AUV experimentales imitan a los del mundo real** que se emplean para tareas como la exploración submarina, el mapeo del lecho marino y la localización por sonar, entre muchas otras.
- La competencia consta de 3 fases: 1) **Construcción del sub**, 2) **navegar** y 3) **ganar con el**.

- 2020 **1er. Lugar** en modalidad virtual
- 2026 **3er. Lugar** en MathWorks Simulation
- 2026 Excellence and Achievement Award
- 2026 **Semifinalistas**.

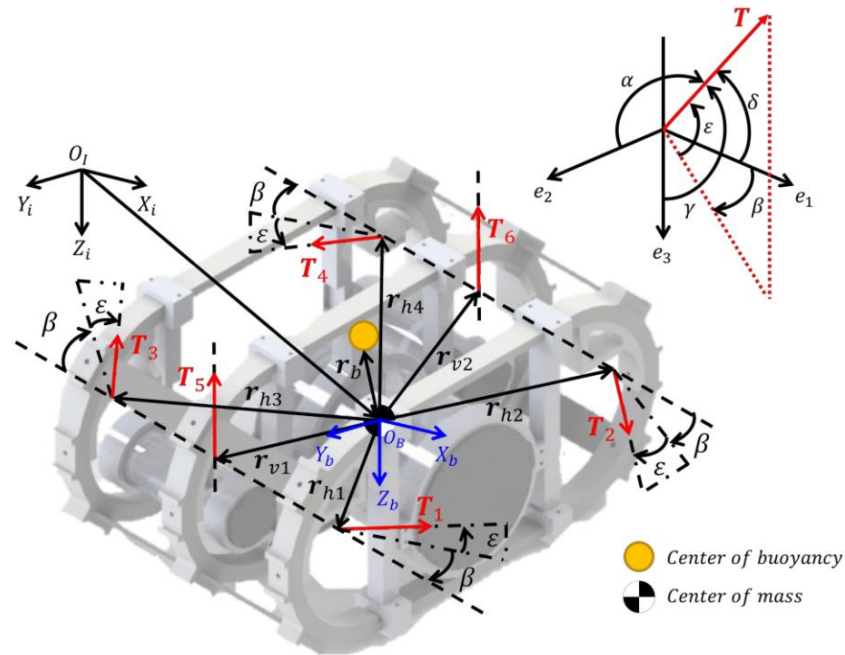
Además, se ha obtenido

- **Thrusters T200** de Bluerobotics.
- Efectivo por mas de **\$500.00 USD**.

Fuente: <https://robosub.org/>



Modelación matemática del vehículo subacuático



$$\dot{\eta} = J(\eta)\nu$$

$$M\dot{\nu} + C(\nu)\nu + D(\nu)\nu + g(\eta) = \tau$$

$$\eta = [x, y, z, \phi, \theta, \psi]^T \rightarrow \text{Estado}$$

$$\nu = [u, v, w, p, q, r]^T \rightarrow \text{Velocidades locales}$$

$$\tau = \begin{bmatrix} (T_1 + T_2 - T_3 - T_4)|c\delta| \\ (-T_1 + T_2 - T_3 + T_4)|c\alpha| \\ -(T_5 + T_6) + (-T_1 - T_2 + T_3 + T_4)|c\gamma| \\ (-T_1 + T_2)\lambda_1 + (T_3 - T_4)\lambda_2 + (-T_5 + T_6)r_{vy} \\ (T_1 + T_2)\lambda_3 + (T_3 + T_4)\lambda_4 \\ (-T_1 + T_2 + T_3 - T_4)\lambda_5 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Entradas de control}$$

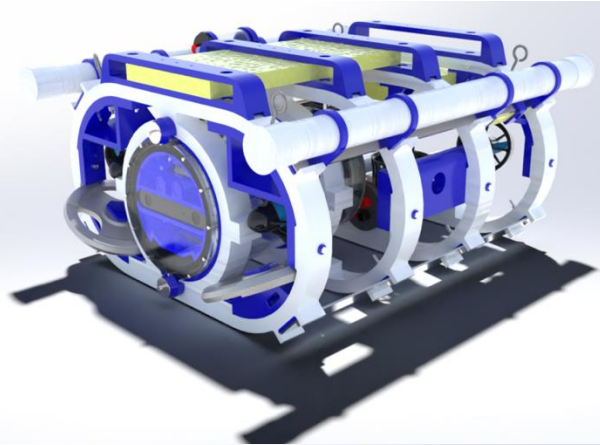
$$J(\eta) = \begin{bmatrix} R(\eta) & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & T(\eta) \end{bmatrix} \rightarrow \text{Matriz de rotación}$$

$$R(\eta) = \begin{bmatrix} c\psi c\theta & -s\psi c\phi + c\psi s\theta s\phi & s\psi s\phi + c\psi c\phi s\theta \\ s\psi c\theta & c\psi c\phi + s\psi s\theta s\phi & -c\psi s\phi + s\psi c\phi s\theta \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix}$$

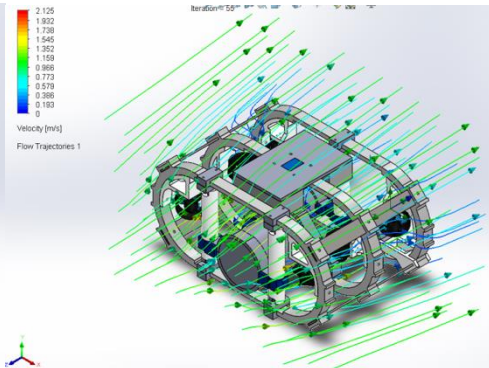
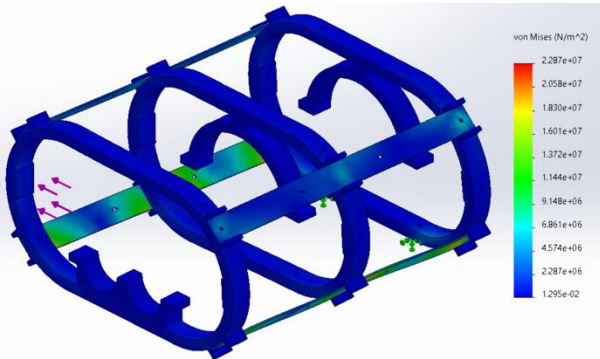
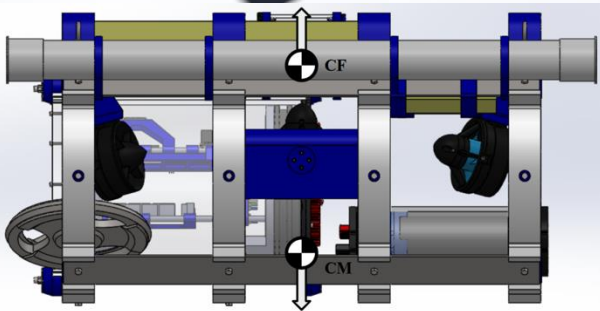
$$T(\eta) = \begin{bmatrix} 1 & s\phi t\theta & c\phi t\theta \\ 0 & c\phi & -s\phi \\ 0 & s\phi/c\theta & c\phi/c\theta \end{bmatrix}$$

M, C, y D Matrices de Inercias, Coriolis y arrastre, respectivamente, que contienen coeficientes hidrodinámicos

Verificación del modelo y obtención de parámetros



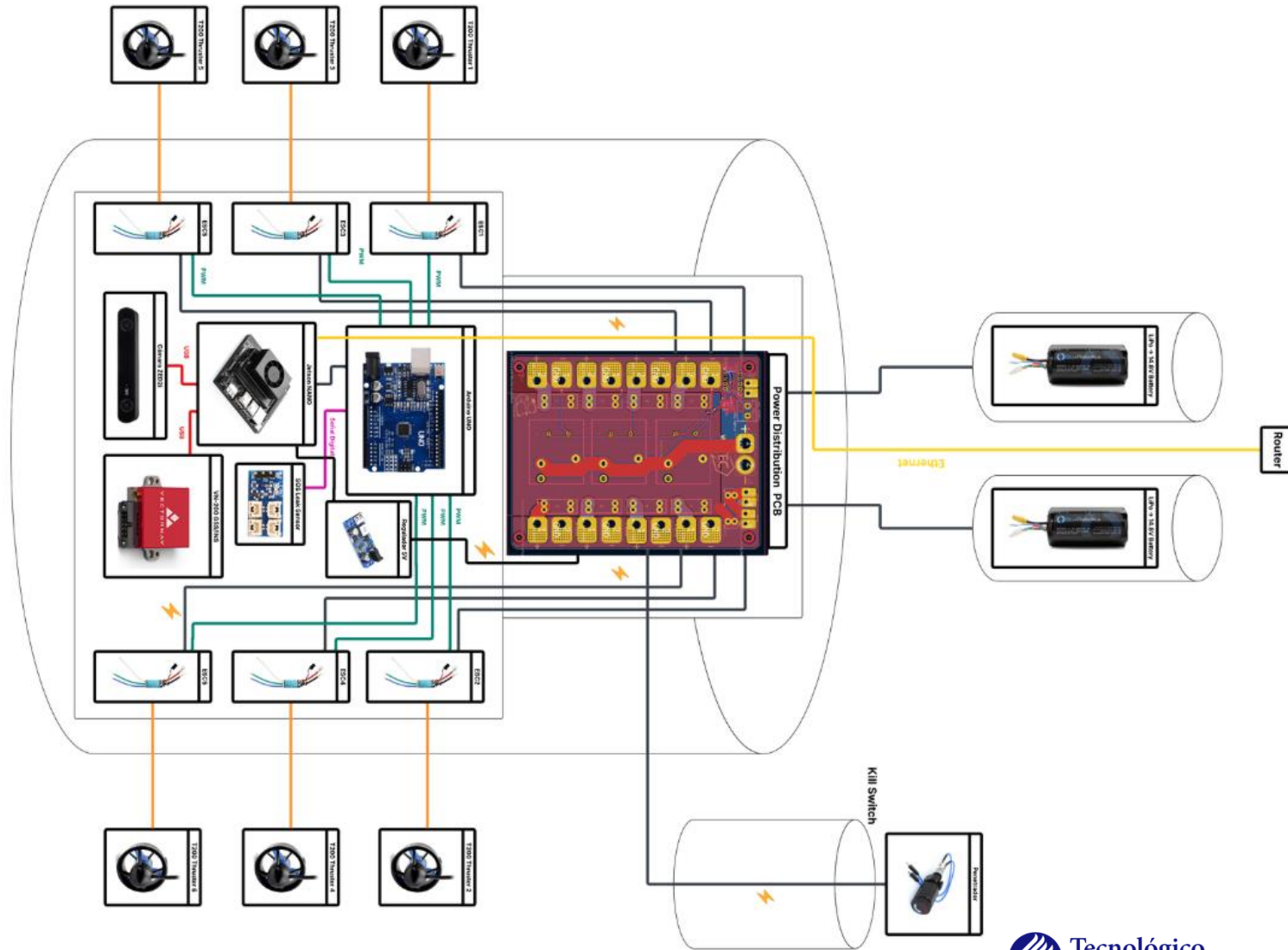
- *Mediciones directas*
- *Estimación mediante CAD*
- *Cálculos usando strip theory*



Parameter	Value	Parameter	Value
Length	0.48 [m]	I_{yy}	1.75 [kg m ²]
Height	0.36 [m]	I_{zz}	1.43 [kg m ²]
Beam	0.72 [m]	$X_{\dot{u}}$	16.8374 [kg]
m	24 [kg]	$Y_{\dot{v}}$	20.2748 [kg]
Volume	0.0252 [m ³]	$Z_{\dot{w}}$	35.318 [kg]
W	235.44 [N]	$K_{\dot{p}}$	0.2165 [kg]
B	245 [N]	$M_{\dot{q}}$	0.6869 [kg]
β	15 [deg]	$N_{\dot{r}}$	0.6157 [kg]
ε	20 [deg]	X_u	-0.3431 [N m ² s ⁻¹]
α	75.92 [deg]	Y_v	0.0518 [N m ² s ⁻¹]
δ	24.81 [deg]	Z_w	-0.5841 [N m ² s ⁻¹]
γ	105 [deg]	K_p	0.0064 [N m ² s ⁻¹]
$r_{b,z}$	-0.10726 [m]	M_q	0.04 [N m ² s ⁻¹]
r_{hx}	0.1867 [m]	N_r	-0.1063 [N m ² s ⁻¹]
r_{hy}	0.2347 [m]	$X_{ u u}$	-111.7397 [N m ² s ⁻²]
r_{hz}	0.0175 [m]	$Y_{ v v}$	-44.4058 [N m ² s ⁻²]
r_{vx}	0 [m]	$Z_{ \omega \omega}$	-157.1951 [N m ² s ⁻²]
r_{vy}	0.2384 [m]	$K_{ p p}$	-0.4634 [N m ² s ⁻²]
r_{vz}	0 [m]	$M_{ q q}$	-0.2902 [N m ² s ⁻²]
I_{xx}	0.9 [kg m ²]	$N_{ r r}$	-2.2897 [N m ² s ⁻²]

Eidsvik, O.A. 2015. Identification of Hydrodynamic parameters for ROV's. NTNU

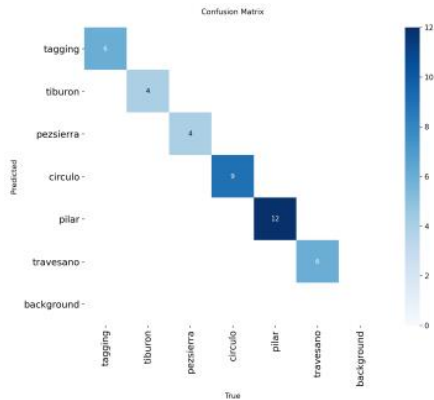
Diagrama electrónico del prototipo subacuático



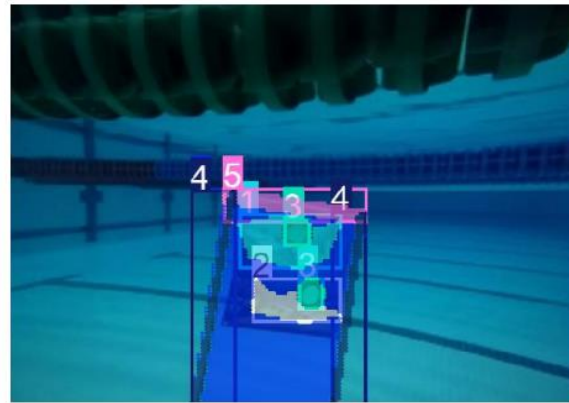
- 6 Thrusters T200 Bluerobotics.
- 6 ESCs.
- PCB potencia.
- 2 Baterias Lipo.
- Vector NAV IMU (VN-300).
- Jetson Nano Orin.
- Cámara ZED.
- Switch de seguridad.
- Teater (cordón umbilical).
- Arduino.

Navegación basada en visión

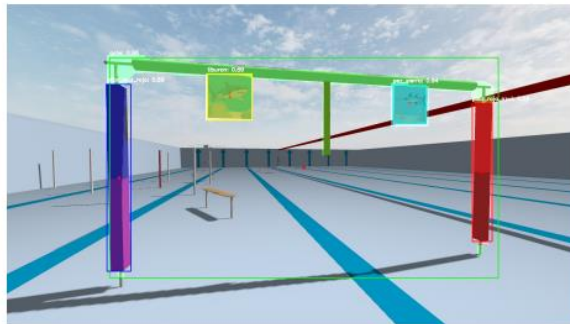
El sistema usa modelo entrenado basado en YOLO para navegar e identificar obstáculos u objetos de interés .



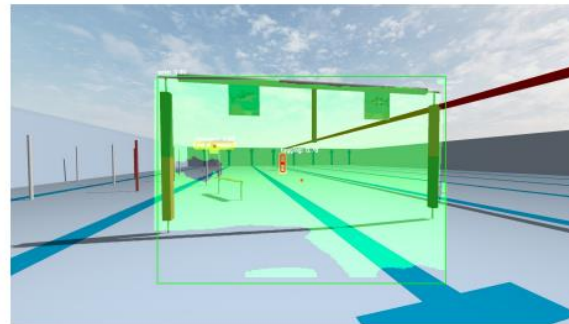
(a) Confusion matrix



(b) Real-life segmentation

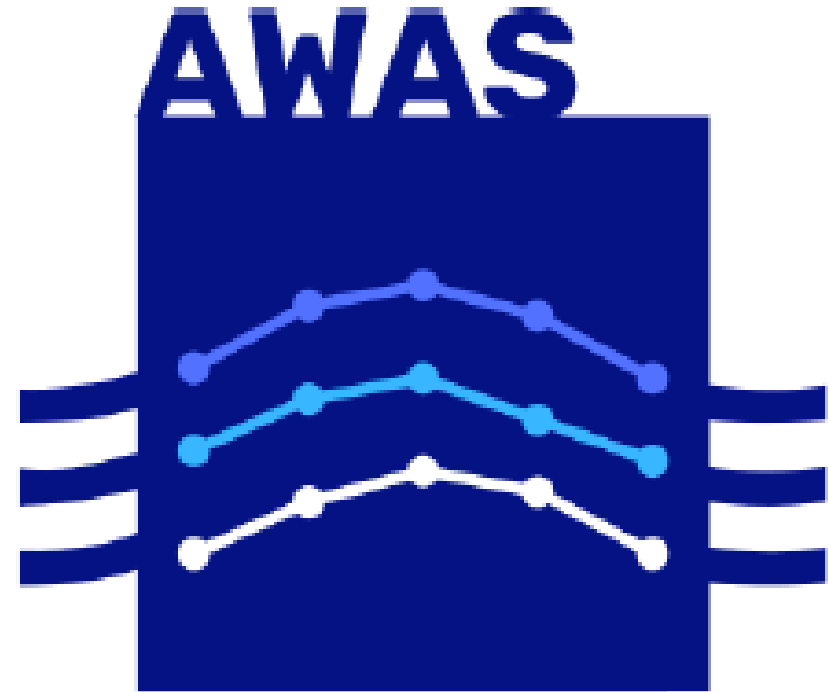


(c) Gate state detection



(d) Navigation state detection

- Navegación basada en visión.
- Un nodo de ROS con YOLO.
- Navegación de propósito general.
- Identificación de objetos (específicos).



Aplicación con vehículos acuáticos

Proyecto AWAS: Monitoreo de la calidad del agua

AWAS – Autonomous Water Administration System → Sistema automatizado para la administración del agua

¿Sabías que el 66.8% del agua superficial existente en México esta contaminada de acuerdo a la CONAGUA?

Actualmente, la inspección de los cuerpos de agua se hace manualmente y no es continua

Entonces, apuntamos a la automatización para obtener datos

- Hay pocas opciones en México
- Podría optimizarse los recursos
- Precisión
- Costo y tiempo de operación

La automatización y la recolección de datos son cruciales para tomar decisiones informadas para una mejor administración del agua



¿Qué propone AWAS?

Un sistema de monitoreo de aguas compuesto por un vehículo acuático, sensores de aspectos hídricos y una plataforma de visualización gráfica de datos recolectados. La adaptabilidad para distintas tareas, captura periódica, transmisión en tiempo real de datos, análisis e interpretación de resultados y operación autónoma hacen distinta de soluciones existentes en el mercado mexicano.

Proyecto AWAS: Monitoreo de la calidad del agua



Artículos científicos de revista arbitrada

1. Adaptive Unmanned Surface vVehicle Control Under Perturbations With a Tunable Settling Time, A Gonzalez-Garcia, H Castañeda **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, 2026.
2. Constant-Rate Convergence for an Adaptive Sliding Mode Controller Using a Fixed-Time Disturbance Observer, A Gonzalez-Garcia, A Miranda-Moya, H Castañeda, **Int. Journal of Robust and Nonlinear Control**, 2026.
3. Optimizing unmanned surface vehicle control: A data-enabled learning approach, X Li, A Gonzalez-Garcia, H Castañeda, **Control Engineering Practice** 168, 106737, 2026
4. Disturbance rejection-based adaptive non-singular fast terminal sliding mode control for a quadrotor under severe turbulent wind Miranda-Moya, A., Castañeda, H., Wang, H. **ISA Transactions**, 157, pp. 248–257, 2025.
5. Adaptive sliding mode control with nonlinear MPC-based obstacle avoidance using LiDAR for an autonomous surface vehicle under disturbances Collado-Gonzalez, I., Gonzalez-Garcia, A., Cuan-Urquiza, R., ... Sotelo, D., Castañeda, H. **Ocean Engineering**, 311, 118998, 2024.
6. Unmanned surface vehicle robust tracking control using an adaptive super-twisting controller Gonzalez-Garcia, A., Castañeda, H., De León-Morales, J. **Control Engineering Practice**, 149, 105985, 2024.
7. Novel adaptive law for super-twisting controller: USV tracking control under disturbances. E Alvaro-Mendoza, A Gonzalez-Garcia, H Castañeda, J De Leon-Morales, **ISA Transactions**, vol 139, pp 561-573, 2023.
8. Finite-time control for an Unmanned Surface Vehicle based on adaptive sliding mode strategy, J Rodriguez, H Castañeda, A Gonzalez-Garcia, JL Gordillo, **Ocean Engineering** 254, 111255, 2022.
9. Path following and LiDAR-based obstacle avoidance via NMPC for an autonomous Surface vehicle. A Gonzalez-Garcia, I Collado-Gonzalez, R Cuan-Urquiza, C Sotelo, D. Sotelo, H. Castañeda, **Ocean Engineering**, vol 266. 2022.
10. Adaptive integral terminal super-twisting with finite-time convergence for an unmanned surface vehicle under disturbances, A Gonzalez-Garcia, H Castañeda, **Int. Journal of Robust and Nonlinear Control** 32 (18), 10271-10291, 2022.
11. Guidance and Control Based on Adaptive Sliding Mode Strategy for a USV Subject to Uncertainties, A Gonzalez-Garcia, H Castañeda **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, 2021.

Artículos de congreso arbitrado

1. Modeling identification and control of an unmanned Surface vehicle. A Gonzalez-Garcia H. Castañeda, **AUSVI Xponential 2019**.
2. Control of a double thruster twin-hull unmanned Surface vehicle: Experimental results. A. Gonzalez-Garcia, H. Castañeda, **XXI Congreso Mexicano de Robotica**, 2019.
3. USV path-following control based on Deep reinforcement learning and adaptive control. A Gonzalez-Garcia, H. Castañeda, L. Garrido, **Global Oceans 2020: Singapore-US gulf coast**.
4. Adaptive integral terminal sliding mode control for an unmanned Surface vehicle against external disturbances. A Gonzalez-Garcia, H Castañeda, **IFAC-PapersOnLine**, 54 (16), 202-207, 2021.
5. A real-time NMPC guidance law and robust control for an autonomous Surface vehicle, I collado-Gonzalez, A Gonzalez-Garcia, C Sotelo, D. Sotelo, H. Castañeda, **IFAC-PapersOnLine** 54 (16), 252-257, 2021.
6. Adaptive non-singular terminal sliding mode tracking control of an UUV against disturbances. VS Martinez-Perez, AE Sanchez-Calvo, A Gonzalez-Garcia, H. Castañeda, **IFAC-PapersOnLine** 55 (31), 13-18, 2022.
7. Adaptive Integral Terminal Sliding Mode Guidance and Control for an UUV Under Perturbations. AE Sanchez-Calvo, VS Martinez-Perez, A Gonzalez-Garcia, H. Castañeda. **Congreso Nacional de Control Automatico**, 2022.

¡Muchas gracias por su atención!

Canal de YouTube (Laboratorio)

<https://www.youtube.com/@LCSR-Hcc>

GitHub (Laboratorio)

<https://github.com/rscl-itesm>

Perfil de Google scholar (Herman Castañeda)

<https://scholar.google.com/citations?user=aAbtWIkAAAAJ&hl=es>

Contacto: hermancc@tec.mx Oficina: 510,
Cetec, torre sur, 5to. Piso. Tecnológico de
Monterrey, campus Monterrey.

Grupo estudiantil VantTec

<https://www.vanttec.com/>

Documental (VantTec)

<https://www.youtube.com/watch?v=k-hC77RkwAw>

Redes sociales de VantTec

<https://www.instagram.com/vanttec/>

<https://www.linkedin.com/company/vanttec?originalSubdomain=mx>

https://www.facebook.com/VantTec/?locale=es_LA

**Especial agradecimiento a todos mis estudiantes, por su esfuerzo,
dedicación y talento.**