

Desarrollo de sistema de control de profundidad y orientación en robot submarino de 3 grados de libertad

Área del Proyecto: Control, Robots Submarinos

Furjelis Briceño

Descripción General

- Diseño, desarrollo y prueba de un sistema de control para un prototipo de robot submarino ROV (Remote Operated Vehicle) de 3 grados de libertad
- Entorno de simulación UWSim-ROS en Ubuntu, con capacidad de conexión a Matlab
- Desarrollar un algoritmo de control para la profundidad y orientación del ROV:
 - ✓ Modelo dinámico existente
 - ✓ Evaluar la utilización de algún esquema de control
 - ✓ El modelo de ROV podrá ser alguno entre PoseiBot, OpenRov, Girona 500 u otro equivalente



Importancia

- Operación
- Sistema de control
- Controladores: Profundidad y Orientación
- Desarrollos previos



Fases del Proyecto

Fase 1

- Modelado dinámico del robot submarino

Fase 2

- Simulación y verificación del modelo en Matlab (o equivalente)

Fase 3

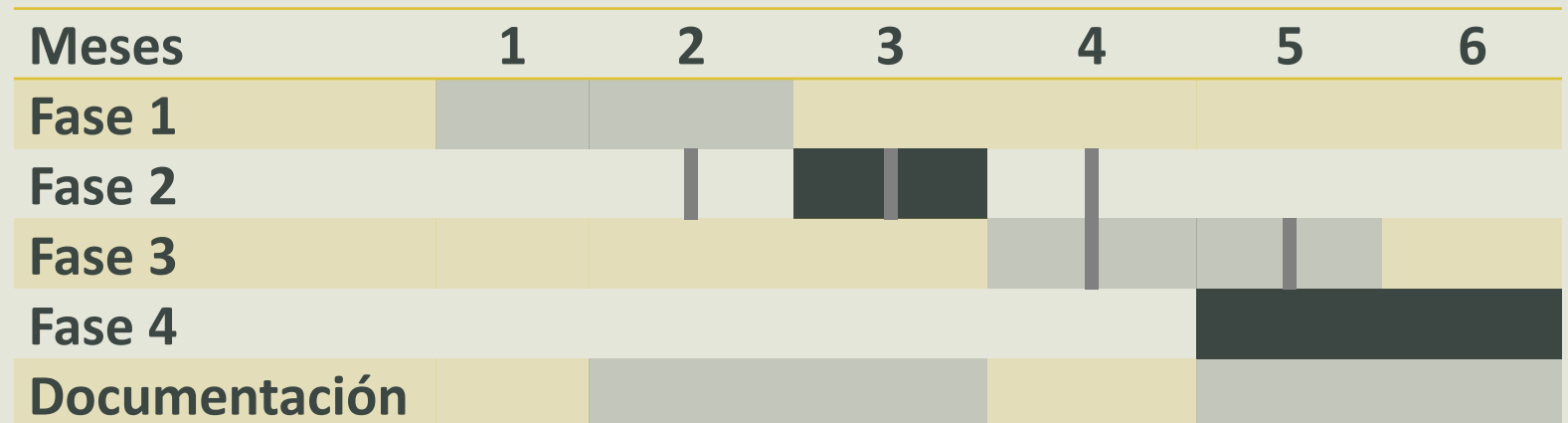
- Desarrollo de controlador de profundidad y orientación

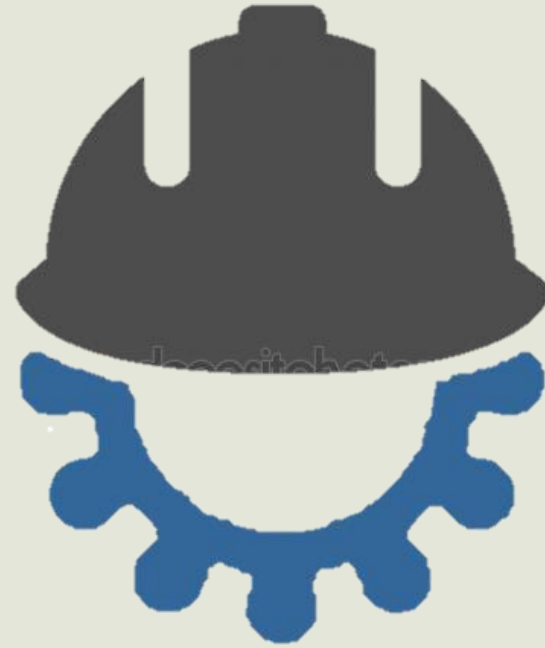
Fase 4

- Pruebas de controladores

Cronograma

- Fase 1: 8 semanas
- Fase 2: 4 semanas
- Fase 3: 8 semanas
- Fase 4: 6 semanas

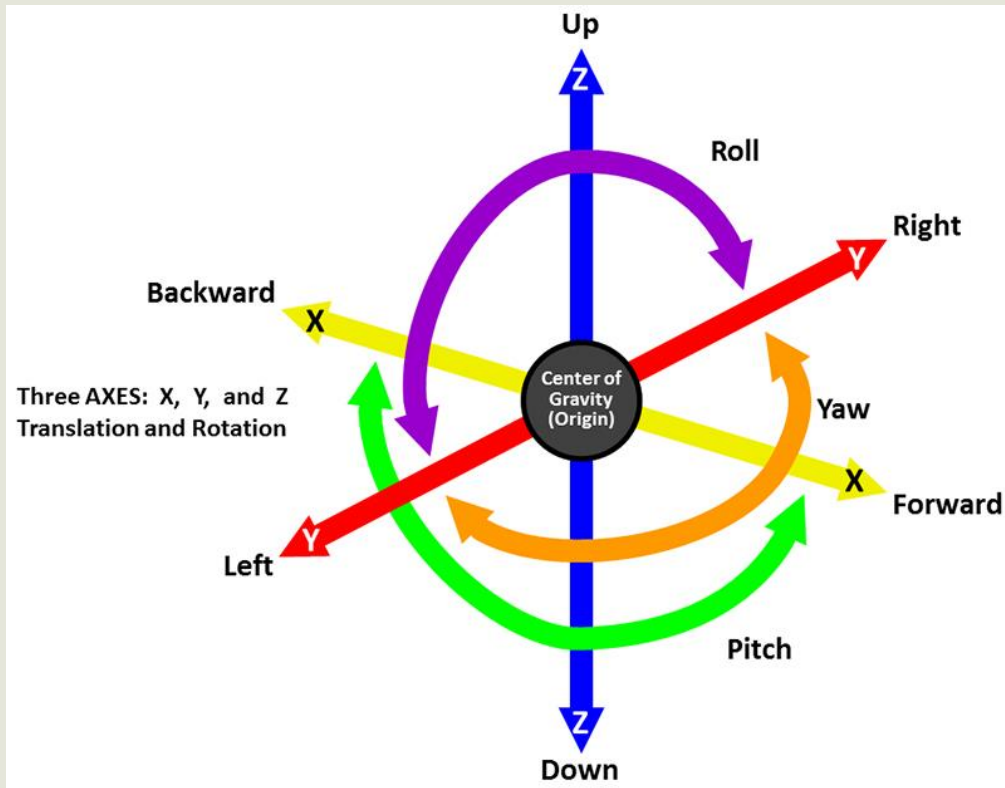




Desarrollo del Proyecto

Avances

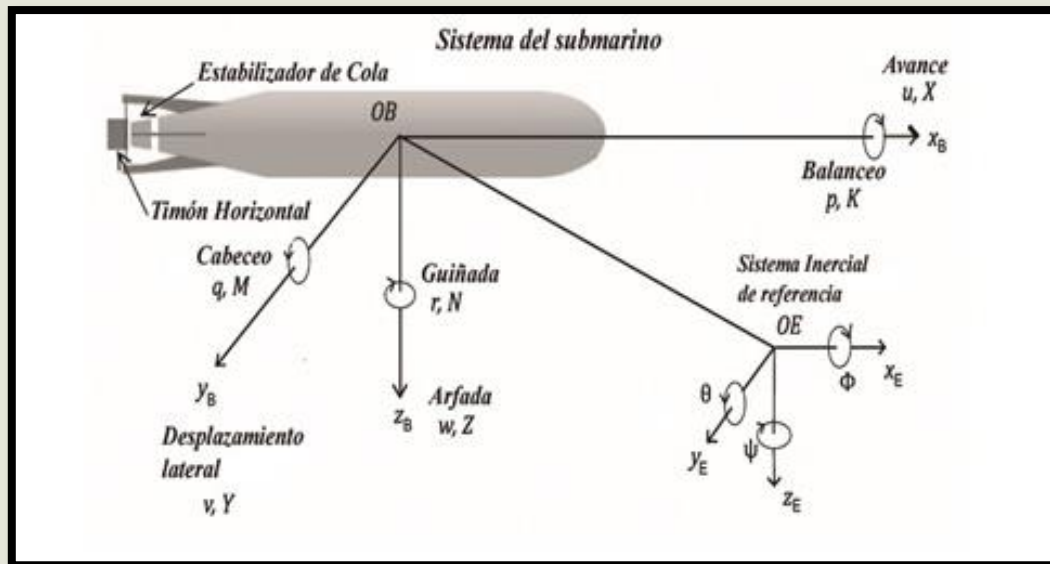
Sistemas de referencias para un vehículo marino



- Sistemas de referencia centrados en tierra
 - ✓ ECI (i-frame)
 - ✓ ECEF(e-frame)
- Sistemas de referencia geográficos
 - ✓ NED (n-frame)
 - ✓ BODY (b-frame)



Sistemas de referencias para un vehículo marino



TRASLACIÓN	FUERZA	VELOCIDAD LINEAL	POSICIÓN
Avance	X	u	x
Desp. lateral	Y	v	y
Arfada	Z	w	z

ROTACIÓN	MOMENTO	VELOCIDAD ANGULAR	ÁNGULO
Balanceo (roll)	K	p	ϕ
Cabeceo (pitch)	M	q	θ
Guiñada (yaw)	N	r	ψ

Definiciones vectoriales

El movimiento de un vehículo marino en 6DOF se describe de la siguiente forma:

- $\eta = [x, y, z, \phi, \theta, \psi]$ (Vector posición y orientación)
- $v = [u, v, w, p, q, r]$ (Vector velocidad lineal y angular)
- $\tau = [X, Y, Z, K, M, N]$ (Vector Fuerzas y momentos)

El movimiento de un vehículo marino en 3DOF se describe de la siguiente forma:

- $\eta = [x, y, \psi]$ (Vector posición y orientación)
- $v = [u, v, r]$ (Vector velocidad lineal y angular)
- $\tau = [X, Y, N]$ (Vector Fuerzas y momentos)

Dinámica

La ecuación dinámica (directa) no lineal que rige el comportamiento de un robot viene dado por la siguiente expresión:



$$Mv + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau$$

Donde:

- M , es la matriz de inercia del robot (incluyendo el efecto de masa añadida en el caso de Robots Submarinos)
- $C(v)$, es la matriz de coriolis y términos centrípetos (incluyendo el efecto de masa añadida en el caso de Robots Submarinos)
- $D(v)$, es la matriz de amortiguamiento (Damping)
- $g(\eta)$, es el vector de fuerzas y momentos restaurativos: gravitacional (y rotación, en el caso de Robots Submarinos)

Definición de las matrices

- Matriz de Inercia

$$M_{RB} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_x & -I_{xy} & -I_{xz} \\ 0 & 0 & 0 & -I_{yx} & I_y & -I_{yz} \\ 0 & 0 & 0 & -I_{zx} & -I_{zy} & I_z \end{bmatrix}$$

Donde:

- m = masa del cuerpo
- I_x , I_y e I_z = momentos (másicos) de inercia
- índices mezclados (o mixtos) se denominan productos másicos de inercia.

Definición de las matrices

■ Matriz de Coriolis

$$C_{RB}(\nu) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & -mw & \\ 0 & 0 & 0 & mv & \\ 0 & mw & -mv & 0 & \\ -mw & 0 & mu & I_{yz}q + I_{xz}p - I_zr & \\ mv & -mu & 0 & -I_{yz}r - I_{xy}p + I_yq & \\ & mw & & -mv & \\ & 0 & & mu & \\ & -mu & & 0 & \\ \dots & -I_{yz}q - I_{xz}p + I_zr & & I_{yz}r + I_{xy}p - I_yq & \\ & 0 & & -I_{xz}r - I_{xy}q + I_xp & \\ & I_{xz}r + I_{xy}q - I_xp & & 0 & \end{bmatrix}$$

■ Matriz de Inercia de Masa Añadida

$$M_A = - \begin{bmatrix} X_{\dot{u}} & X_{\dot{v}} & X_{\dot{w}} & X_{\dot{p}} & X_{\dot{q}} & X_{\dot{r}} \\ Y_{\dot{u}} & Y_{\dot{v}} & Y_{\dot{w}} & Y_{\dot{p}} & Y_{\dot{q}} & Y_{\dot{r}} \\ Z_{\dot{u}} & Z_{\dot{v}} & Z_{\dot{w}} & Z_{\dot{p}} & Z_{\dot{q}} & Z_{\dot{r}} \\ K_{\dot{u}} & K_{\dot{v}} & K_{\dot{w}} & K_{\dot{p}} & K_{\dot{q}} & K_{\dot{r}} \\ M_{\dot{u}} & M_{\dot{v}} & M_{\dot{w}} & M_{\dot{p}} & M_{\dot{q}} & M_{\dot{r}} \\ N_{\dot{u}} & N_{\dot{v}} & N_{\dot{w}} & N_{\dot{p}} & N_{\dot{q}} & N_{\dot{r}} \end{bmatrix}$$

Si el robot es simétrico y se mueve a baja velocidad implica que la contribución de los elementos fuera de la diagonal pueden ser despreciados

$$M_A = -diag(X_{\dot{u}} \quad Y_{\dot{v}} \quad Z_{\dot{w}} \quad K_{\dot{p}} \quad M_{\dot{q}} \quad N_{\dot{r}})$$

Definición de las matrices

- Matriz de Coriolis de masa añadida

$$C_A(\nu) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -Z_{\dot{w}}w & Y_{\dot{v}}v \\ 0 & 0 & 0 & Z_{\dot{w}}w & 0 & X_{\dot{u}}u \\ 0 & 0 & 0 & -Y_{\dot{v}}v & -X_{\dot{u}}u & 0 \\ 0 & -Z_{\dot{w}}w & Y_{\dot{v}}v & 0 & -N_{\dot{r}}r & M_{\dot{q}}q \\ Z_{\dot{w}}w & 0 & -X_{\dot{u}}u & N_{\dot{r}}r & 0 & -K_{\dot{p}}p \\ -Y_{\dot{v}}v & X_{\dot{u}}u & 0 & -M_{\dot{q}}q & K_{\dot{p}}p & 0 \end{bmatrix}$$

donde $(X_u, Y_v, Z_w, K_p, M_q, N_r)$ son los coeficientes de amortiguamiento lineales y $X_u|u|, Y_v|v|, Z_w|w|, K_p|p|, M_q|q|, N_r|r|$ son los coeficientes de amortiguamiento cuadrático

- Matriz de amortiguamiento hidrodinámico

Para vehículos que se muevan a 6 DOF a alta velocidad puede ser altamente no lineal y acoplado. Sin embargo si se asume que el vehículo tiene un movimiento no acoplado, tiene 3 planos de simetría se puede decir que:

$$D(\nu) = -diag(X_u + X_u|u||u|, Y_v + Y_v|v||v|, Z_w + Z_w|w||w|, \dots \\ \dots K_p + K_p|p||p|, M_q + M_q|q||q|, N_r + N_r|r||r|)$$

Definición de las matrices

- Vector de fuerzas y momentos restaurativos

$$\mathbf{g}(\boldsymbol{\eta}) = \begin{bmatrix} (\mathbf{W} - \mathbf{B}) s_{\theta} \\ -(\mathbf{W} - \mathbf{B}) c_{\theta} s_{\phi} \\ -(\mathbf{W} - \mathbf{B}) c_{\theta} c_{\phi} \\ -z_B \mathbf{B} c_{\theta} s_{\phi} \\ -z_B \mathbf{B} s_{\theta} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Considerando

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_G &= [x_G, y_G, z_G], \\ \mathbf{r}_B &= [x_B, y_B, z_B]. \end{aligned}$$

- Fuerzas y momentos

$$\boldsymbol{\tau}_{RB} = \boldsymbol{\tau}_A + \boldsymbol{\tau}_D + \boldsymbol{\tau}_f + \boldsymbol{\tau}_p + \mathbf{w}$$

$\boldsymbol{\tau}_A$: Fuerzas por masas inerciales adicionales.

$\boldsymbol{\tau}_D$: Fuerzas y momentos hidrodinámicos de amortiguamiento (*Damping*).

$\boldsymbol{\tau}_f$: Fuerza y momentos por las superficies de control de ascensión.

$\boldsymbol{\tau}_p$: Fuerzas y momentos de propulsión

\mathbf{w} : Perturbaciones medio ambientales.

Parámetros recopilados para los diferentes Submarinos

	Datos de los Submarinos		
Descripcion	Girona 500	PoseiBot	OpenROV
num_actuators	5	4	3
dynamics/period	0.001	0.001	0.001
dynamics/uwsim_period	0.001	0.001	0.001
dynamics/mass	98	85	
dynamics/gravity_center	[0.0, 0.0, 0.05]	[0.0, 0.0, 0.0]	
dynamics/g	9.81	9.81	9.81
dynamics/radius	0.286	0.1963	
dynamics/ctf	0.00006835	0.00006835	0.00006835
dynamics/ctb	0.00006835	0.00006835	0.00006835
actuators_tau	[0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2]	[0.2, 0.2, 0.2, 0.2]	[0.2, 0.2, 0.2]
actuators_maxsat	[1, 1, 1, 1, 1]	[1, 1, 1, 1,]	parametro de los motores (Ricardo)
actuators_minsat	[-1, -1, -1, -1, -1]	[-1, -1, -1, -1]	
actuators_gain	[1500, 1500, 1500, 1500, 1500]	en que valor siguiente entra	trifasico
dynamics/dzv	0.05	0	
dynamics/dv:	0.35	0	
dynamics/dh	0.4	0	
dynamics/density	1000	1000	1000

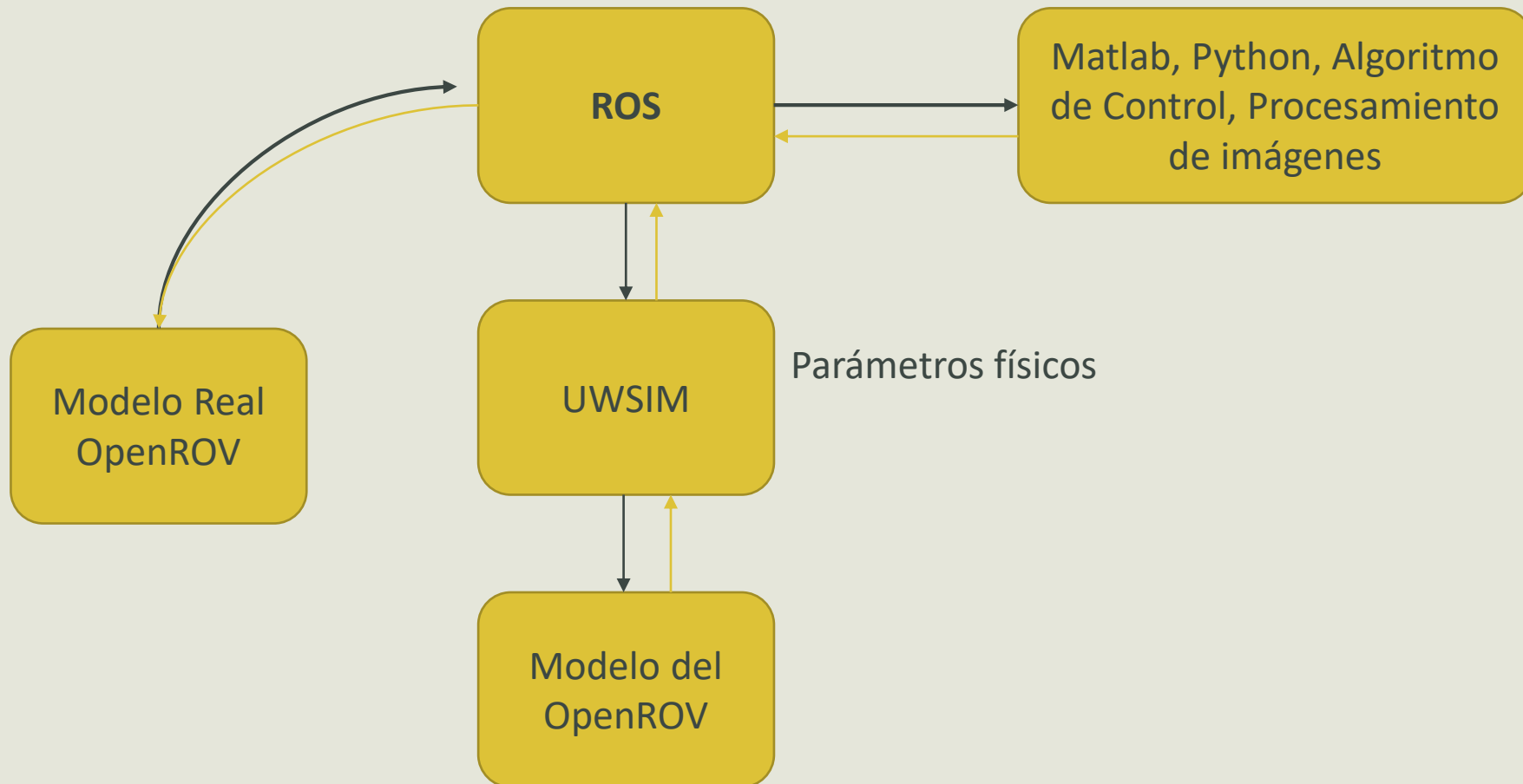
Parámetros recopilados para los diferentes Submarinos

dynamics/tensor	[8.0, 0.0, 0.0, 0.0, 8.0, 0.0, 0.0, 0.0, 8.0]		
dynamics/damping	[.0, .0, .0, -130.0, -130.0, -130.0]	no fueron calculados porque eran valores muy bajos	
quadratic_damping	[-148.0, -148.0, -148.0, -180.0, -180.0, -180.0]	no fueron calculados porque eran valores muy bajos	
dynamics/Mrb	[98.0, 0.0, 0.0, 0.0, 4.9, -0.0, 0.0, 98.0, 0.0, -4.9, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 98.0, 0.0, -0.0, 0.0,	[85.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 85.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 85.0, 0.0, 0.0, 0.0,	
	0.0, -4.9, 0.0, 8.0, 0.0, 0.0,	0.0, 0.0, 0.0, 2.835, $-1,81 \times 10^{-3}$, $-2,47 \times 10^{-1}$,	gabriel
	4.9, 0.0, -0.0, 0.0, 8.0, 0.0,	0.0, 0.0, 0.0, $-1,81 \times 10^{-3}$, 8.122, $-3,16 \times 10^{-3}$,	
	-0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 8.0]	0.0, 0.0, 0.0, $-2,47 \times 10^{-1}$, $-3,16 \times 10^{-3}$ 6.177]	
	[49.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 49.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 49.0, 0.0, 0.0, 0.0,	[-28.0572, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, -51.5692, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, -51.5692, 0.0, 0.0, 0.0,	
dynamics/Ma	0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,	0.0, 0.0, -51.5692, 0.0, 0.0, 0.0,	
	0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,	0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,	
	0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,	0.0, 0.0, 0.0, 0.0, -0.1396, 0.0,	
	0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0]	0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, -0.1396]	

Trabajo a nivel General

- Generar un modelo dinámico con UWSIM que sea compatible con el OpenROV
- Probar distintos algoritmos para diferentes ambientes del modelo dinámico del OpenROV
- Realizar pruebas y simulaciones utilizando datos y características del OpenROV, en distintos ambientes por medio de algoritmos de visión de computadora
- Probar los algoritmos que se necesiten
- Validar el modelo q se está corriendo en el simulador
- Probarlos en la plataforma real

Trabajo a nivel General



Plan de Actividades

Corto Plazo

- Estudiar detalladamente el modelo Dinámico del Profesor Novel: Como está estructurado, analizar las funciones que aplican para el buen funcionamiento del modelo, descartar los parámetros que no aplican para la implementación del Modelo OpenRov
- Trabajar en base al modelo previamente elaborado
- Realizar las pruebas pertinentes del modelo elaborado, para observar y analizar su funcionamiento

The background is a dark, textured surface with faint, light-colored sketches of various scientific and mathematical concepts. These include a globe in the upper left, a large letter 'V' in the top left, a microscope on the left side, a stack of books at the bottom left, a cross symbol, an open book with text in the bottom center, a percentage sign, and a less-than sign on the bottom right.

Gracias por su Atención