

Desarrollo de un vehículo submarino remotamente controlado para la inspección en tuberías en el Canal de Panamá



Dr. Adan VEGA

Universidad Tecnológica de Panamá

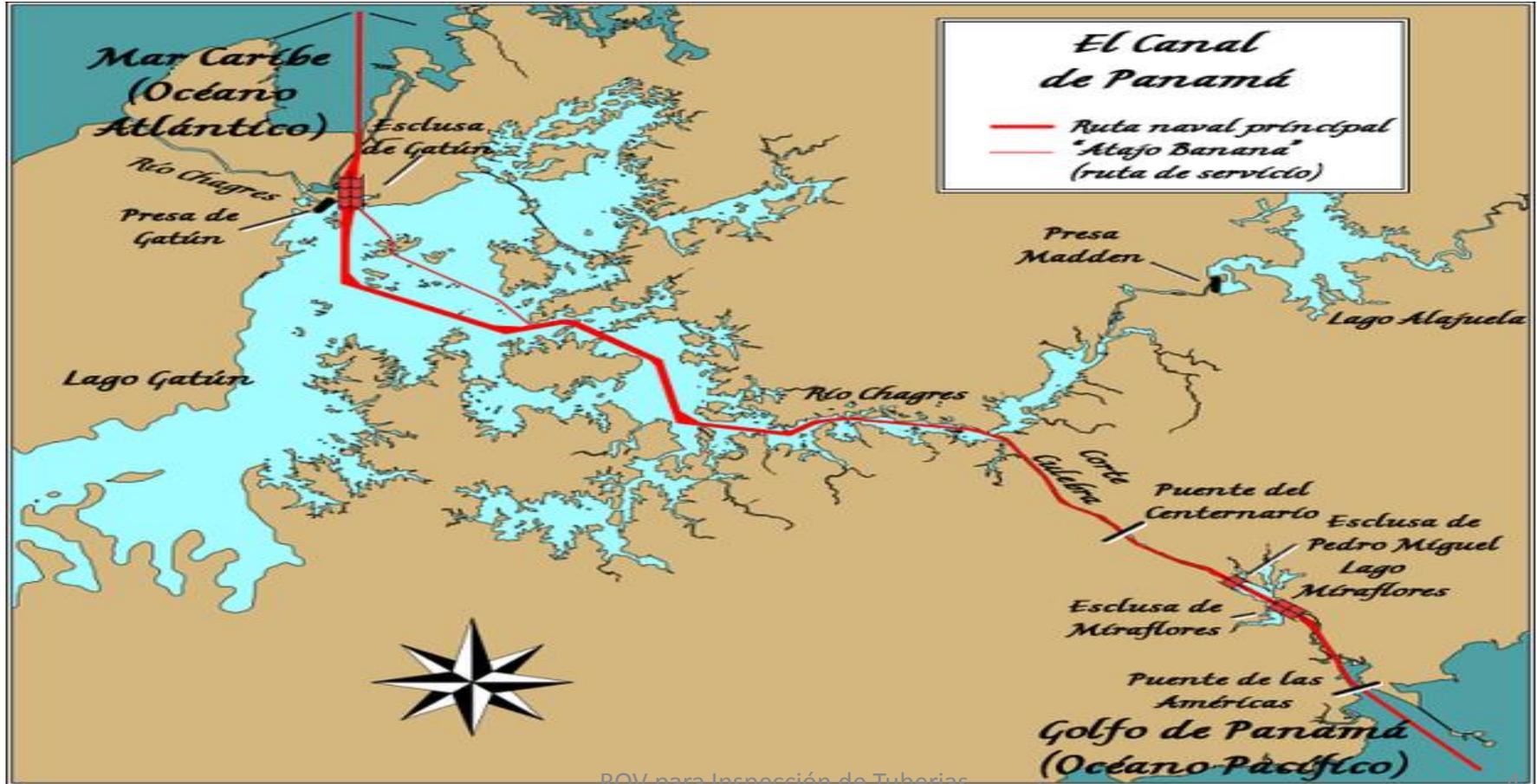


Contenido

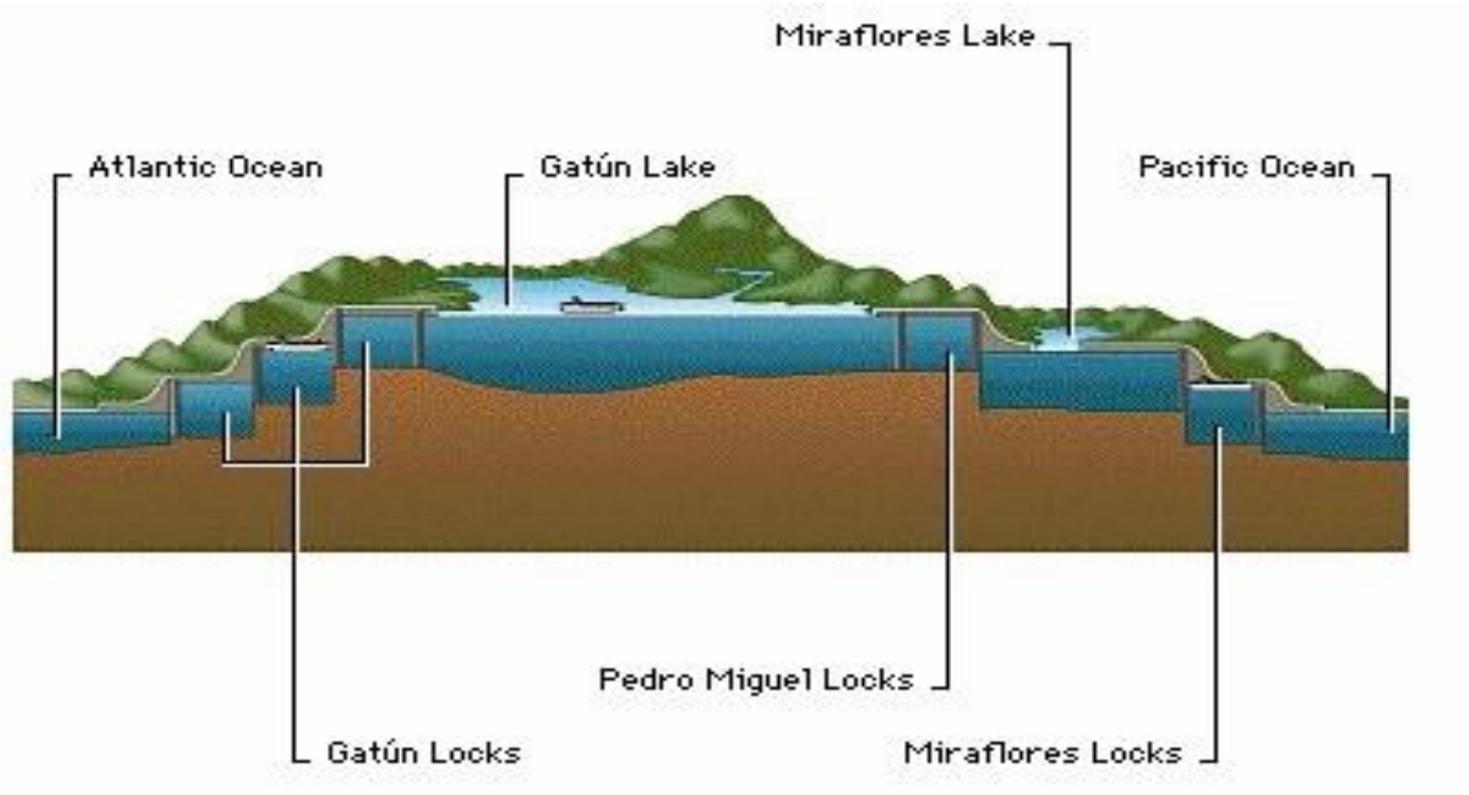
1. Introducción
2. La solución al problema
3. Diseño conceptual
4. Simulación hidrodinámica
5. Análisis de los Resultados
6. Comentarios finales

Introducción

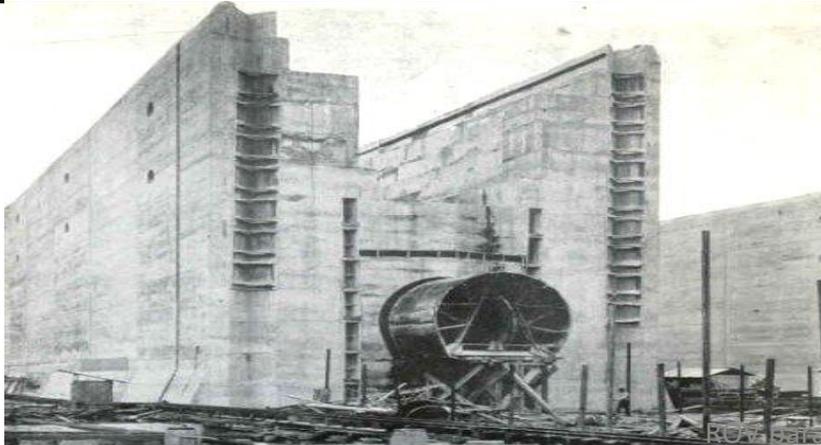
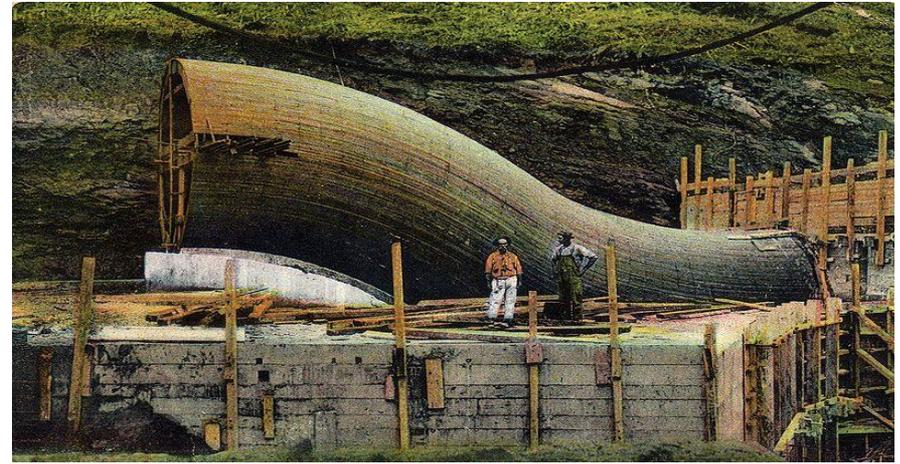
Canal de Panamá



Tuberías que alimentan las esclusas en canal de Panamá



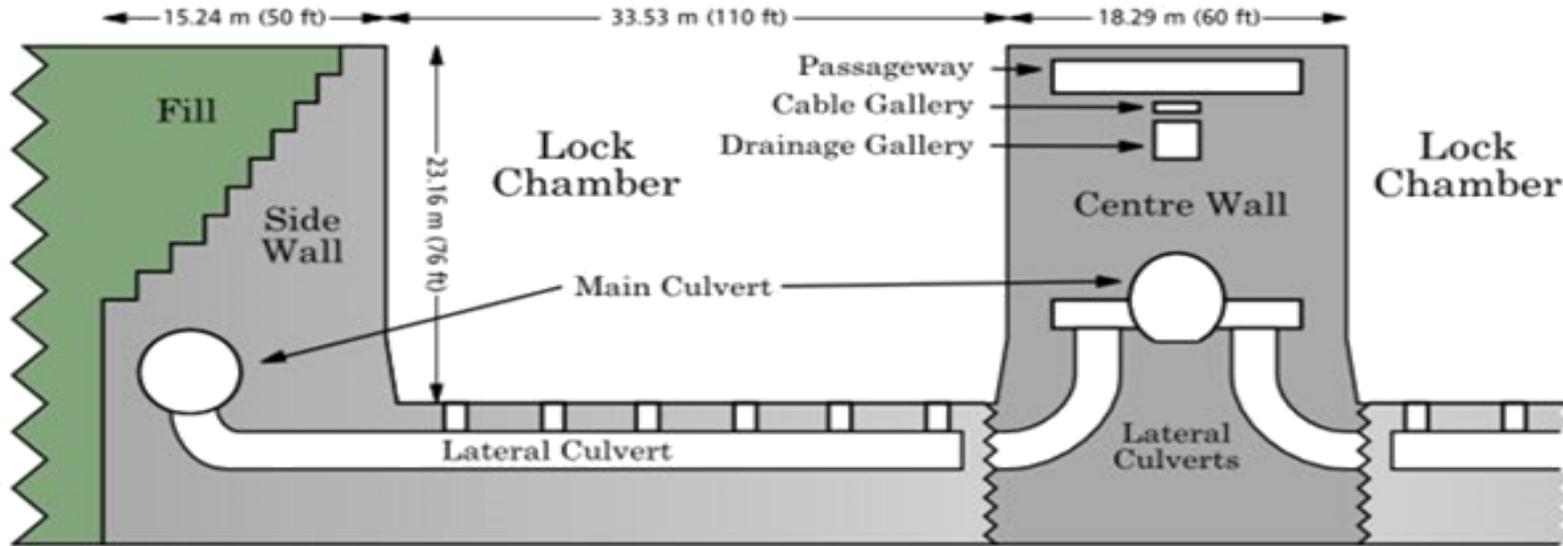
Tuberías que alimentan las esclusas en canal de Panamá



Tuberías que alimentan las esclusas en canal de Panamá

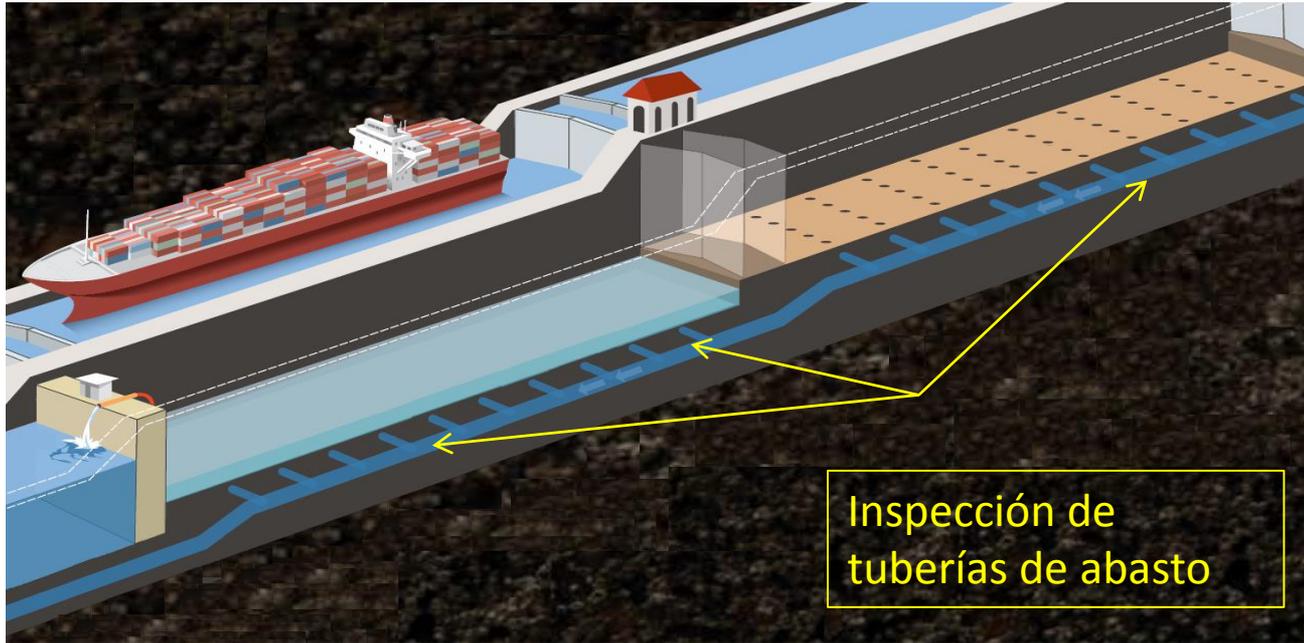
Cross-section of Lock Chamber and Walls, Panama Canal

A section across the width of the locks, showing the culverts for filling and draining the chambers. One side is shown; the other is the same.



Programa de mantenimiento

- Se demanda la inspección de válvulas, sellos y las paredes de las tuberías para evaluar posibles reparaciones.



Programa de Mantenimiento



La labor de inspección se complica si durante la temporada de lluvias aumenta el material orgánico en el agua.

Tipos de inspecciones

- Inspeccionar con la esclusa en seco
- Inspeccionar con la esclusa en operación



Peligro con los lagartos

La solución al problema

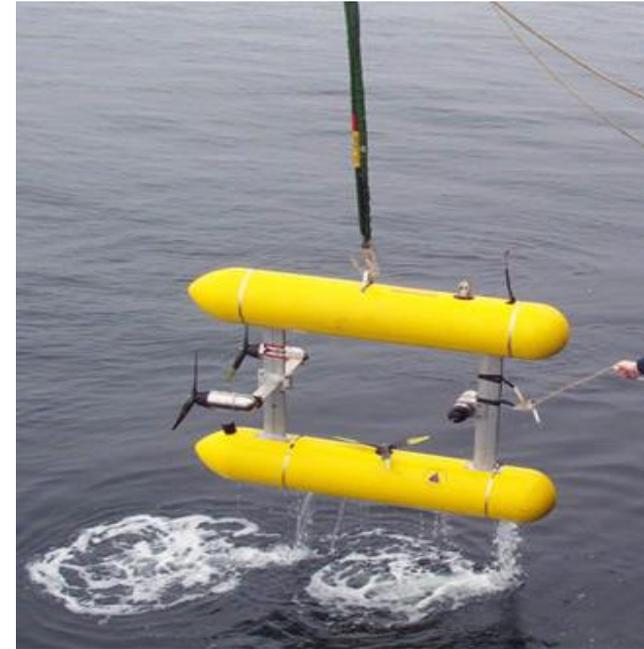
- Utilizar un submarino comercial de inspección del tipo ROV (Remote Operated Vehicle)



Limitaciones de ROV comerciales

- Son muy costosos
- Están diseñados principalmente para operar en mar abierto, no en espacios confinados y mucho menos en tuberías.
- Es una arquitectura cerrada no se pueden hacer cambios sobre el sistema de visión submarina

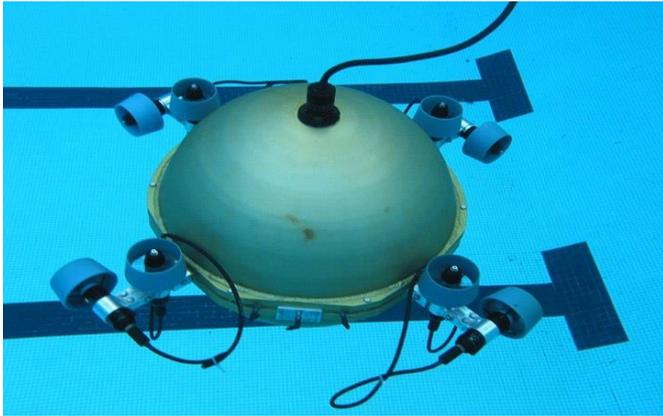
- La mayoría de los submarinos tienen formas cilíndricas con uno o varios propulsores.



- También los hay de cascos rectangulares



- Y por su puesto de casco esférico



Ventajas de los cascos esféricos

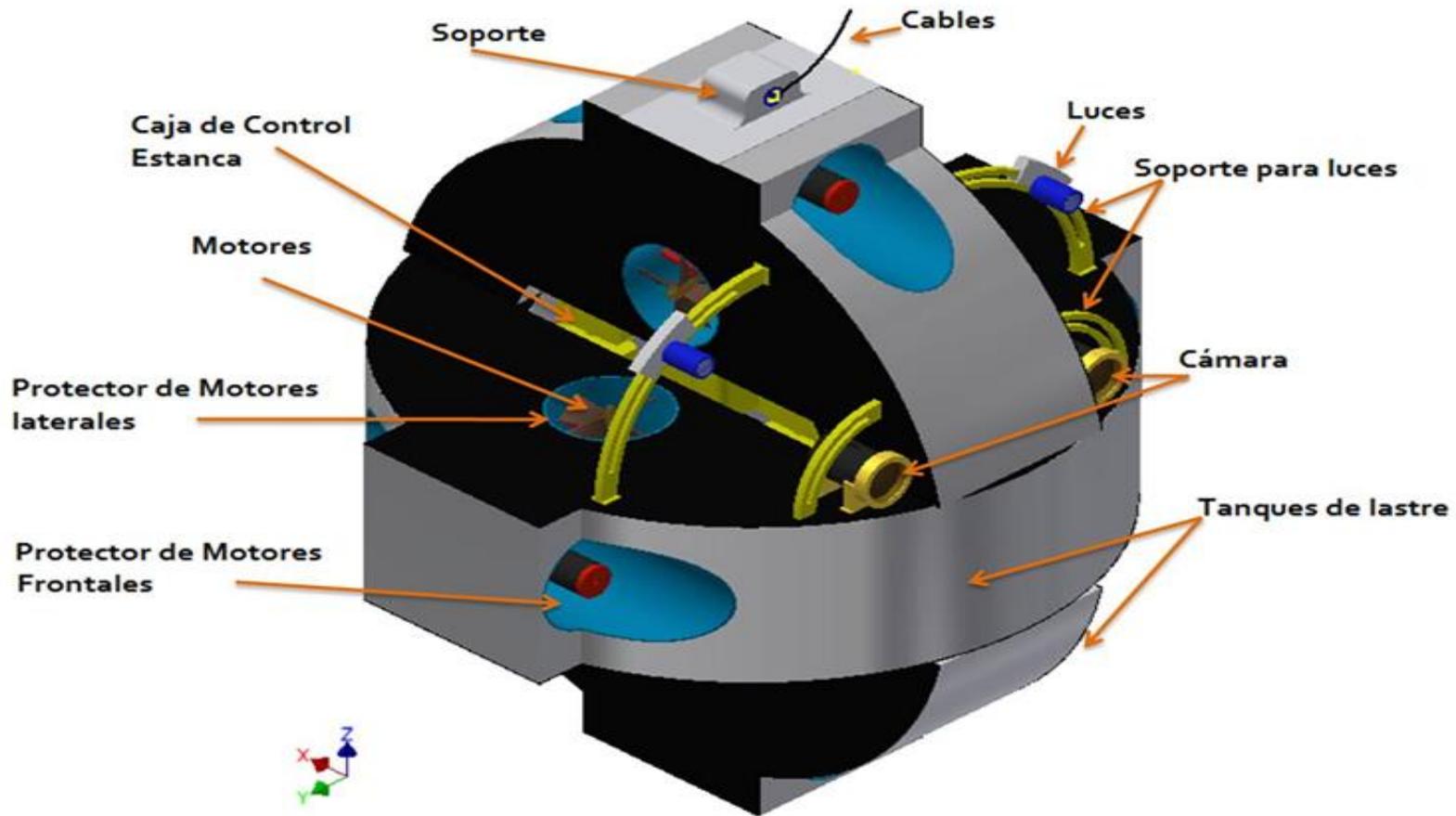
- Permiten la propulsión omnidireccional.
- Una esfera genera menos flujos separados al pasar a través de un fluido. En consecuencia son más maniobrables. Por lo tanto son más prometedores para navegar en tuberías.



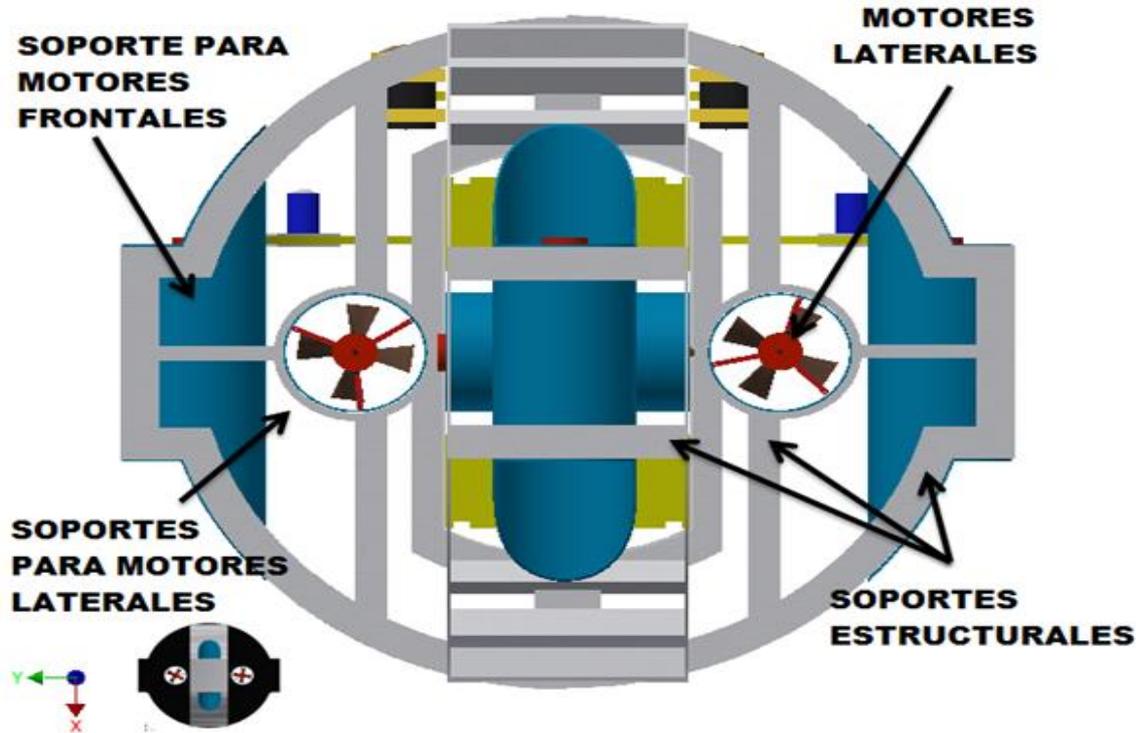
Limitaciones de los cascos esféricos

- Son más difíciles de construir
- Necesitan mas propulsores parar estabilizarse.

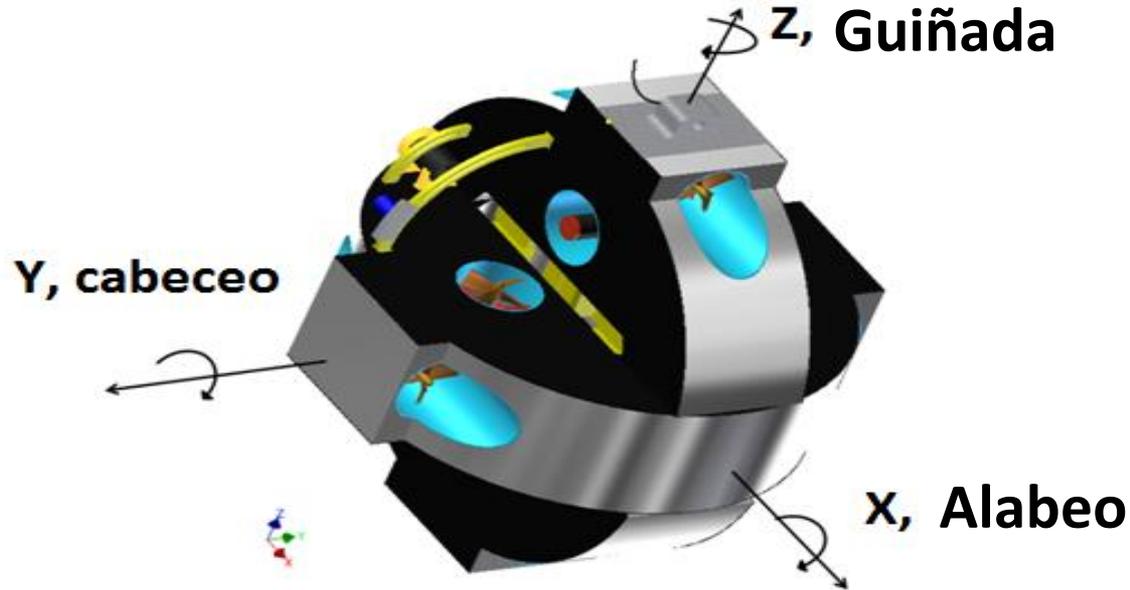
Diseño Conceptual



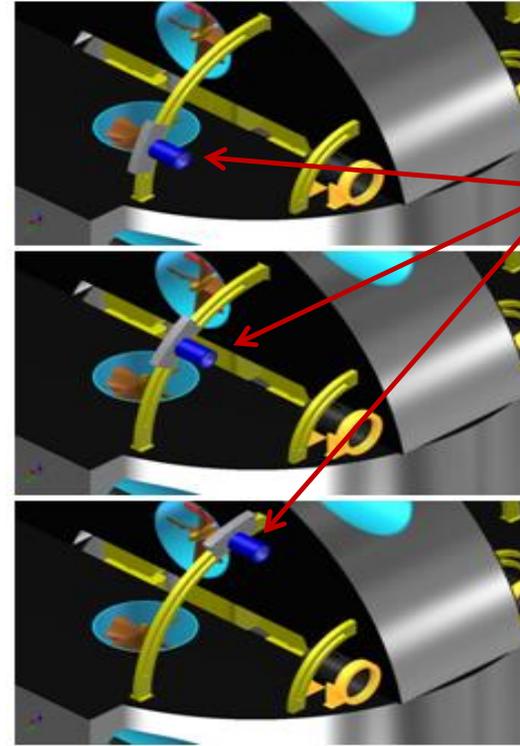
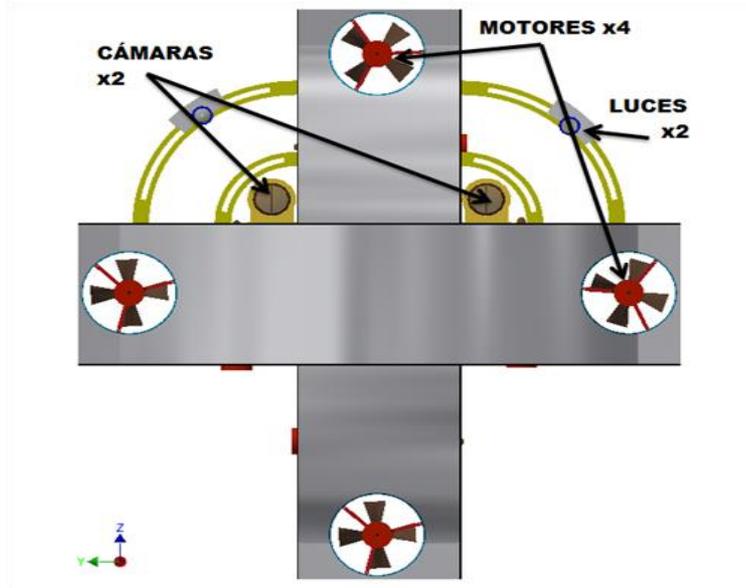
Soporte estructural (vista inferior)



Capacidad de maniobra



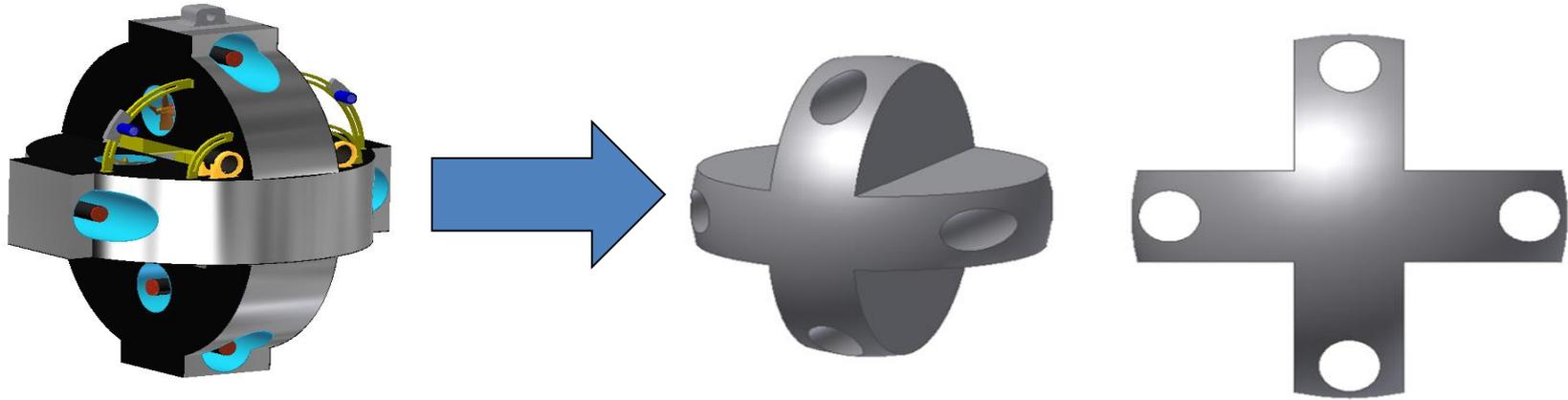
Soporte para lámparas y cámaras



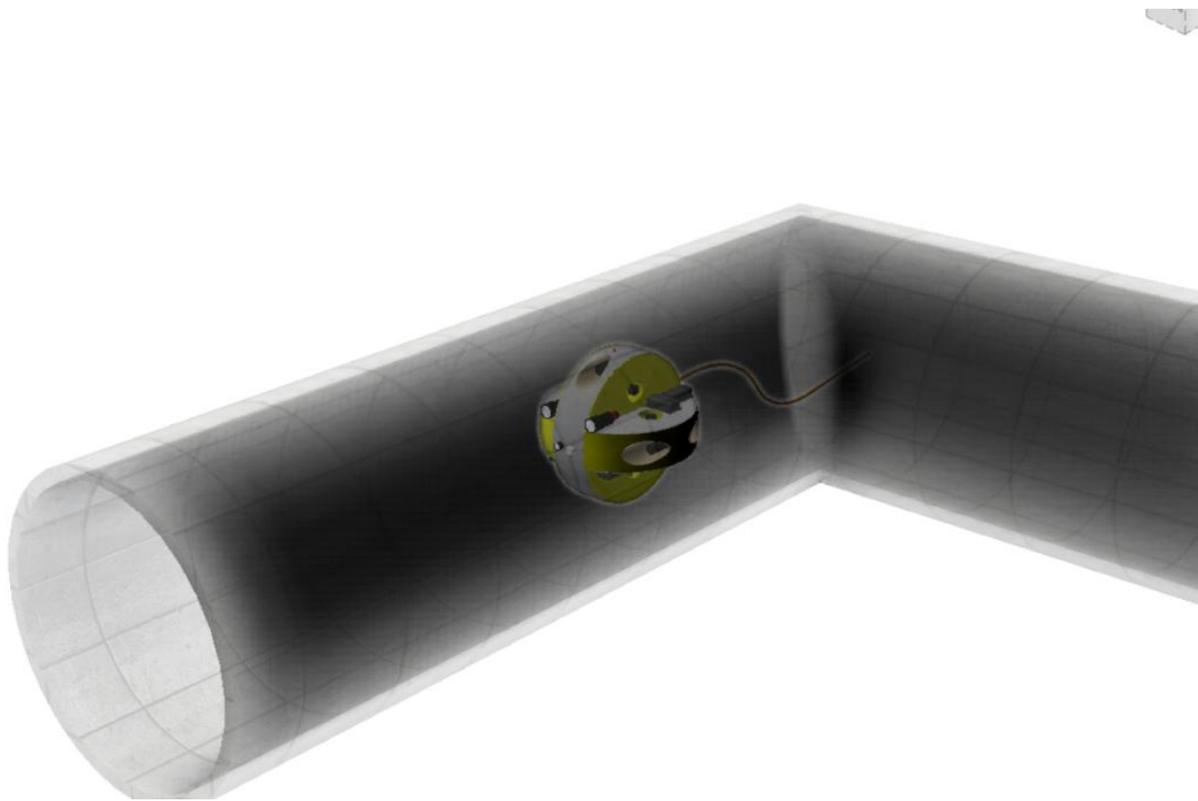
Posibilidad de ajuste

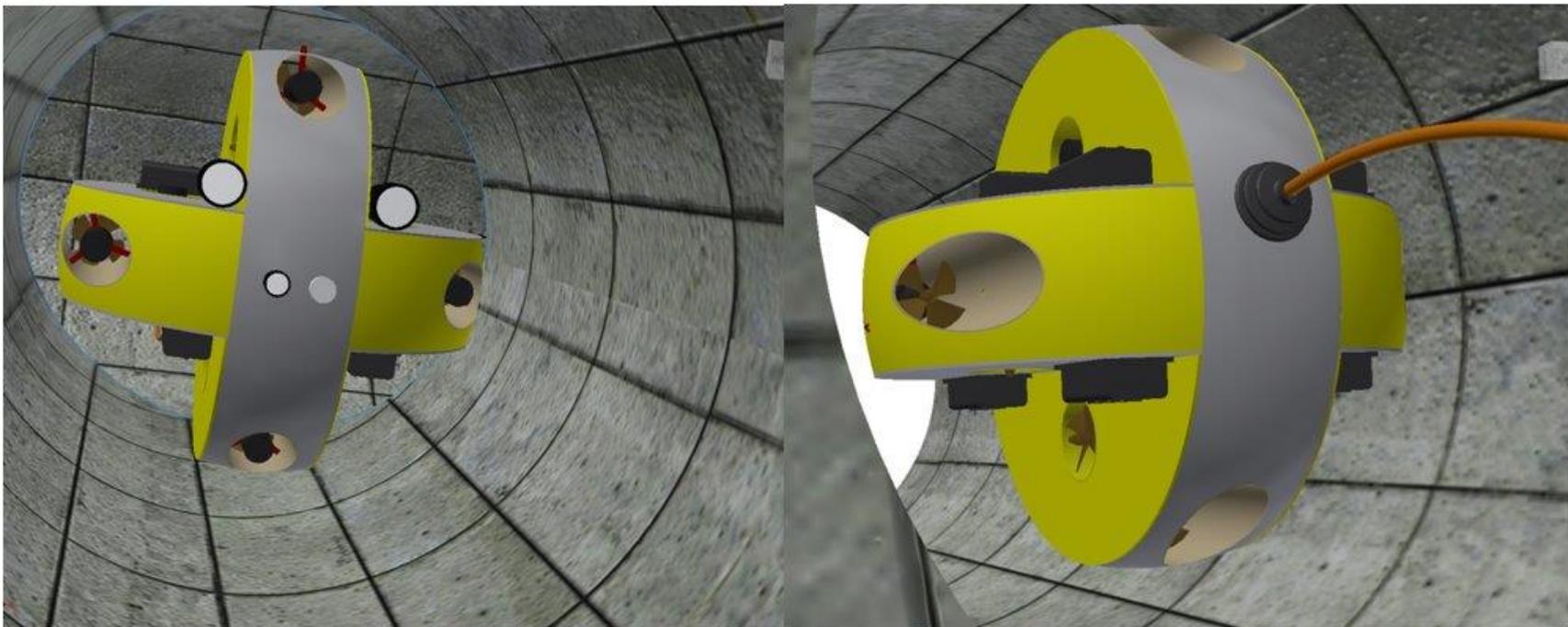
Simulación Hidrodinámica

Modelo



El modelo debe ser lo más simple posible evitando geometrias complicadas que puedan ocoacionar problemas al momento del mallo en el Análisis por Elementos Finitos.

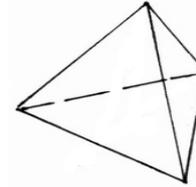




Mallado

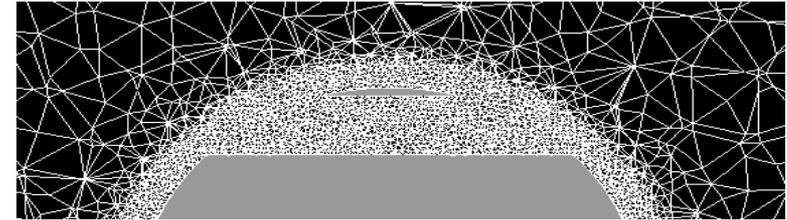
Elementos del Mallado: Tetrahedra

Cantidad: 1 869 605

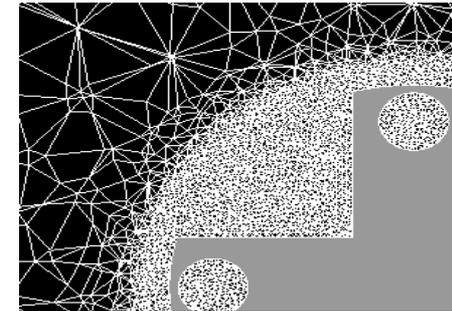
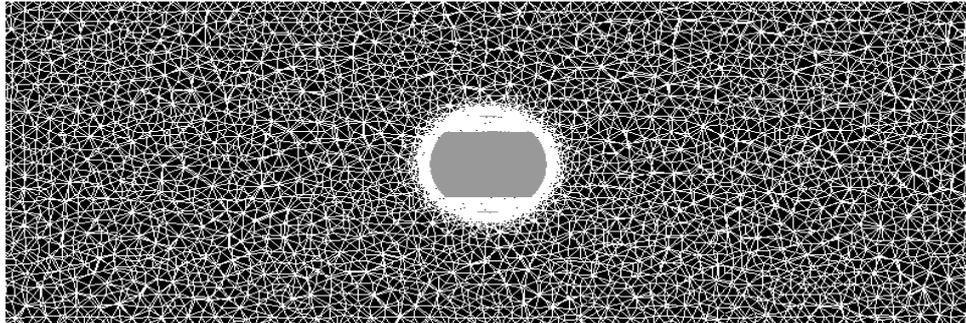


Tetrahedron

Quality control	Cell skewness	Aspect ratio	Cell squish
Mesh	0,799	20,6	0,764
Maximum	1	100	0,95
Status	✓	✓	✓



Figures showing the mesh in different planes.

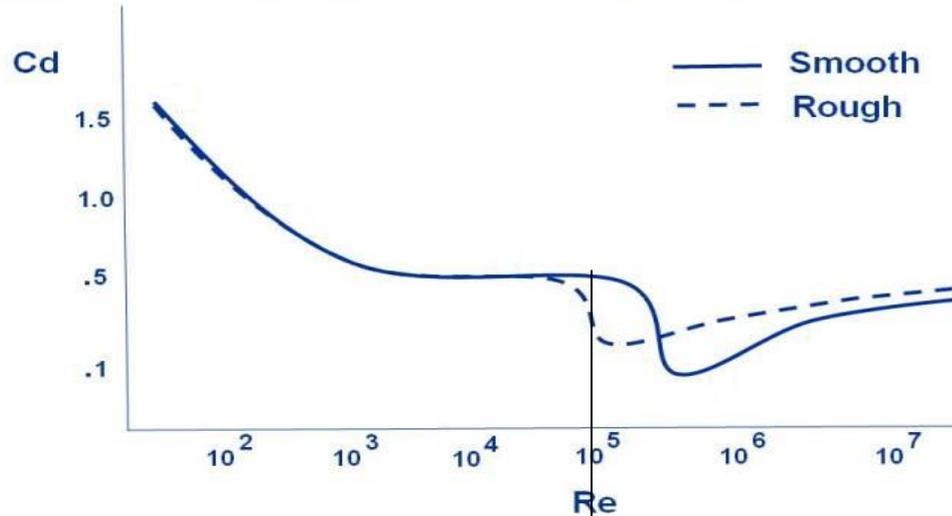


Condiciones Iniciales

- Nuestro ROV es muy similar a una esfera.

National Aeronautics and Space Administration

Drag of a Sphere

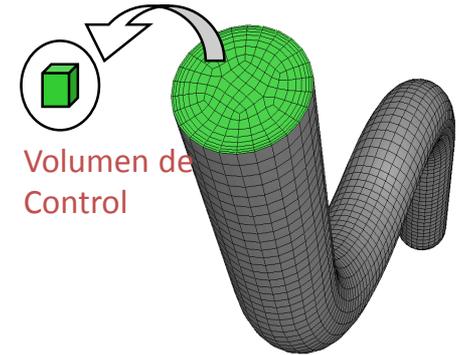


0,2 m/s

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} = 1,5 * 10^5$$

Modelo físico

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV}_{\text{inestable}} + \underbrace{\oint_A \rho \phi \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A}}_{\text{Conveccion}} = \underbrace{\oint_A \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot d\mathbf{A}}_{\text{Difusion}} + \underbrace{\int_V S_\phi dV}_{\text{Generacion}}$$

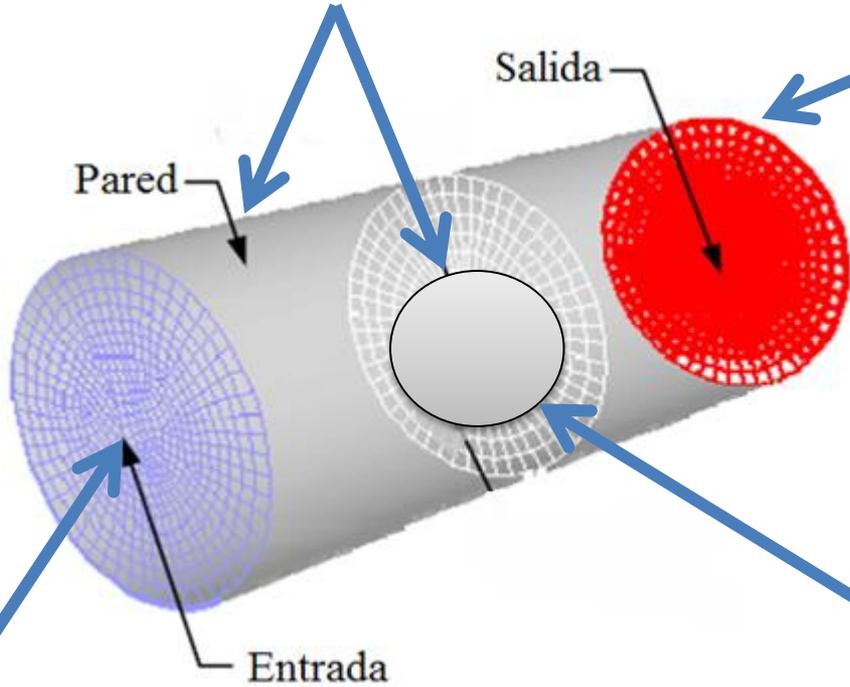


Condiciones de Frontera.

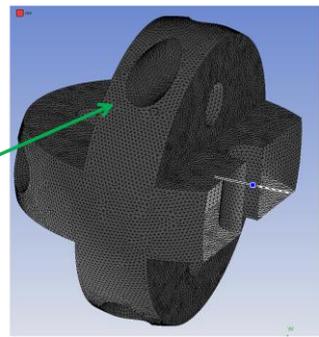
$V \cdot n = 0$ en la superficie

$\frac{\partial p}{\partial x} = 0$

$P_{Total} = P_{estática} + \frac{\rho V^2}{2}$



$u_n = constant$



Fuerzas Hidrodinámicas

Fuerza de arrastre

$$F_D = \int_S p \cos \theta d\vec{S} + \int_S p \vec{\tau} \sin \theta d\vec{S}$$

$\hat{\tau}_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$

Coeficiente de arrastre

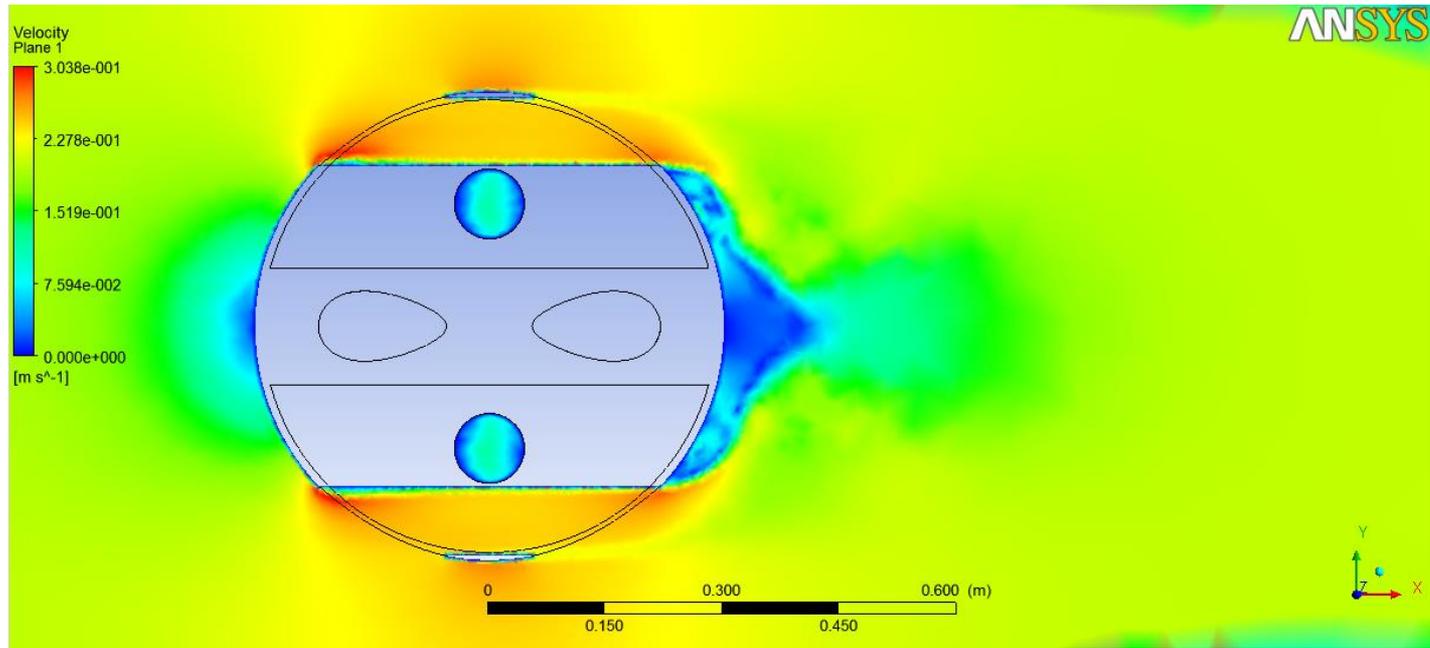
$$C_D = 2F_D / \rho A v^2$$

Análisis de los Resultados

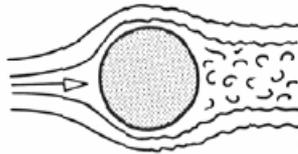
Simulaciones realizadas para cada caso estudiado

Velocidades	Caso 1: flujo frontal		Caso 2: Flujo Lateral		Caso 3: Flujo diagonal	
	Presión	Velocidad	Presión	Velocidad	Presión	Velocidad
0.2	●	●	●	●	●	●
0.4	●	●	●	●	●	●
0.6	●	●	●	●		
0.8			●	●		

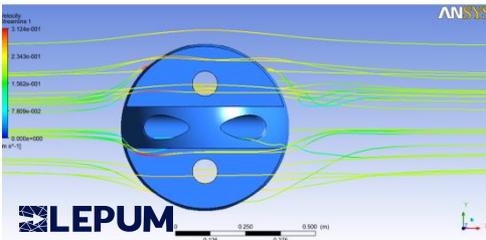
Simulaciones Frontales



$$3 \times 10^5 < Re < 3.5 \times 10^6$$



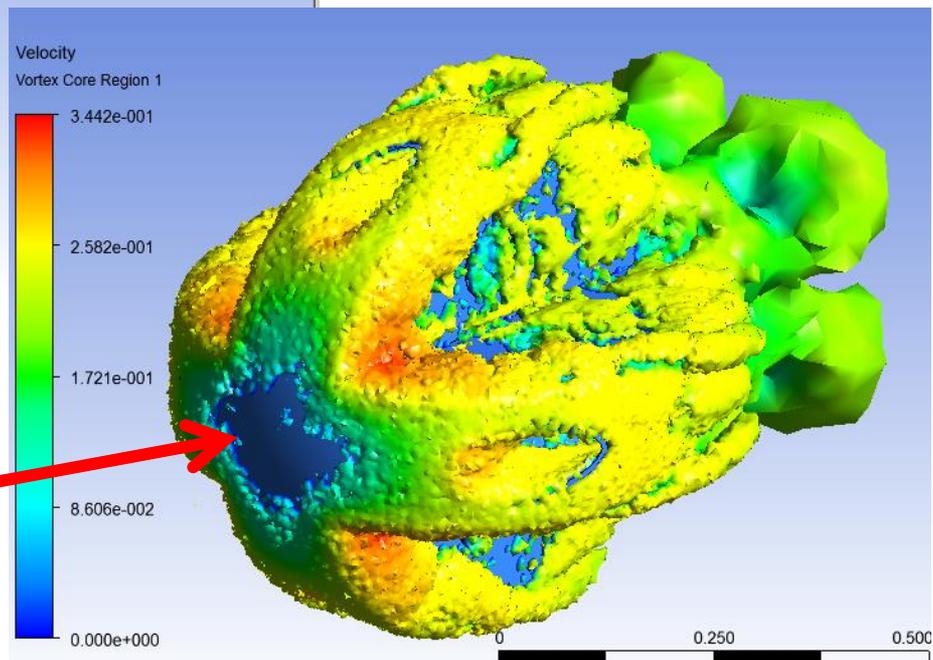
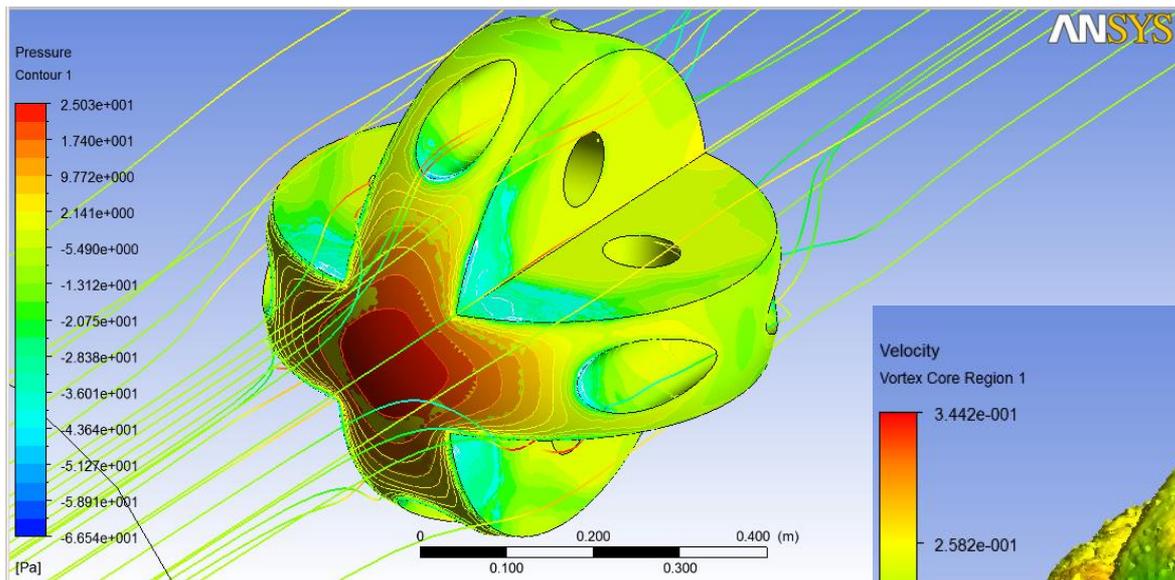
Zona de transición desde laminar a turbulento



	Presión	Viscosos	Total
ROV	1.69 N	0.18 N	1.87 N

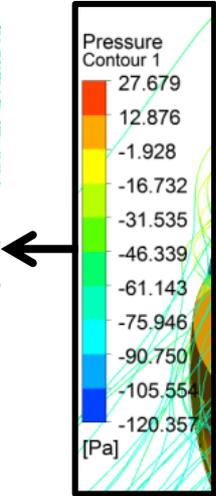
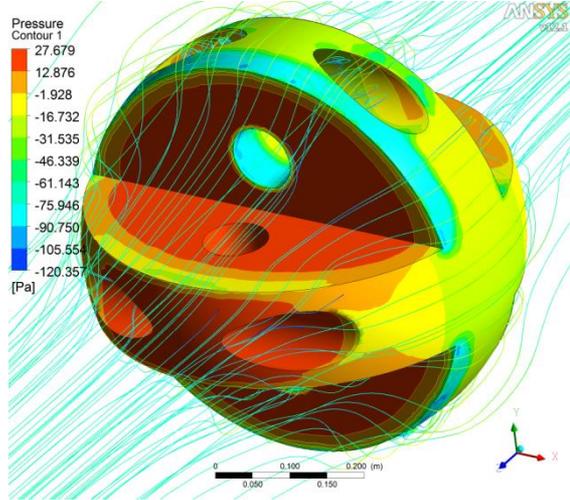
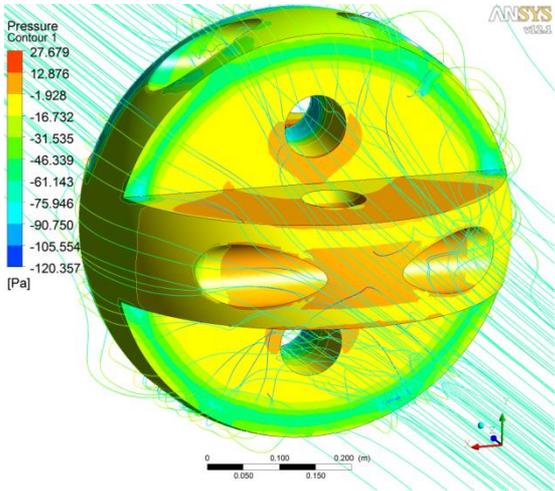
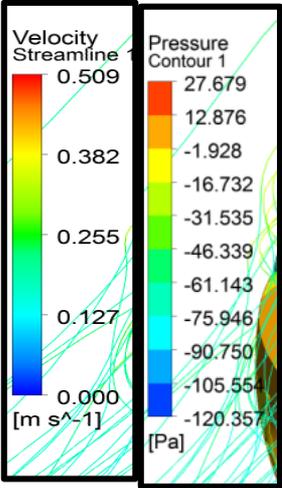
ROV para Inspección de Tuberías

Simulaciones Frontales

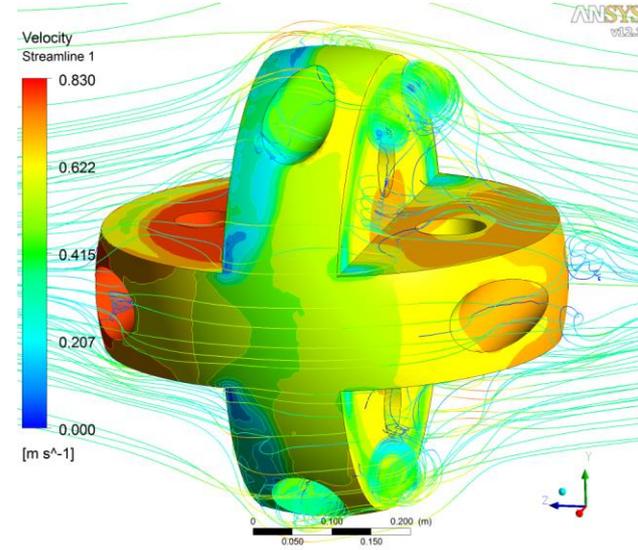
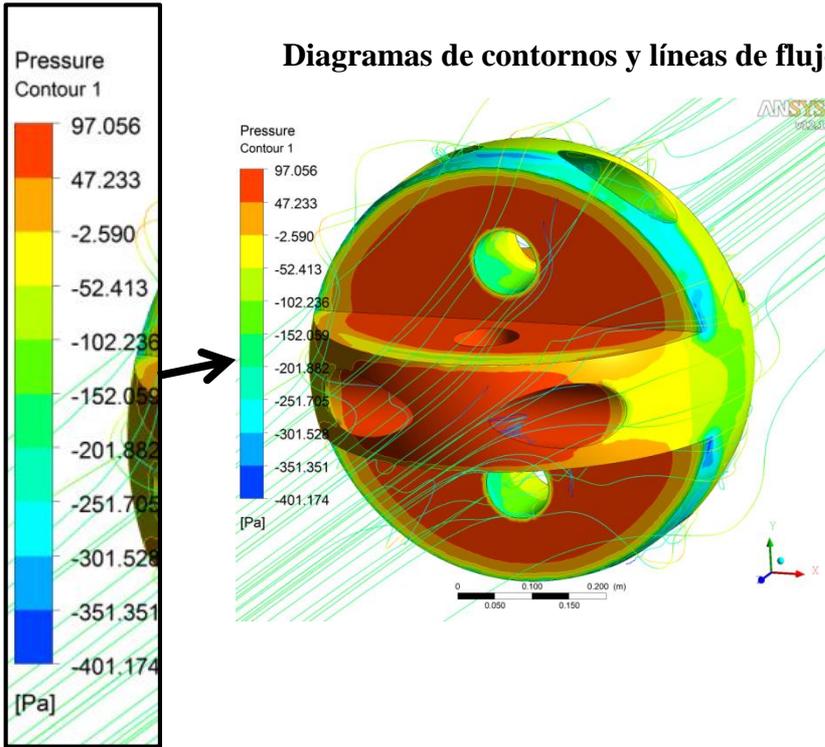


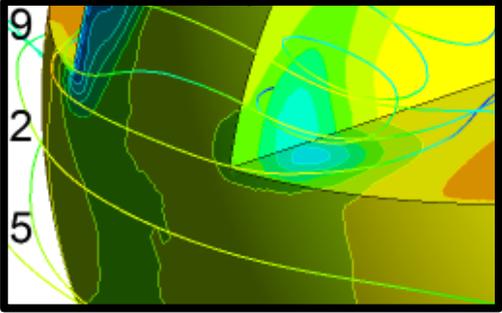
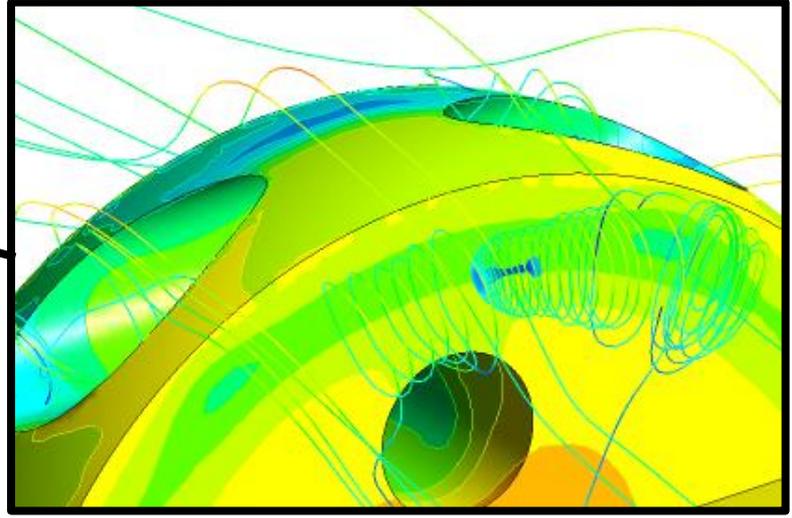
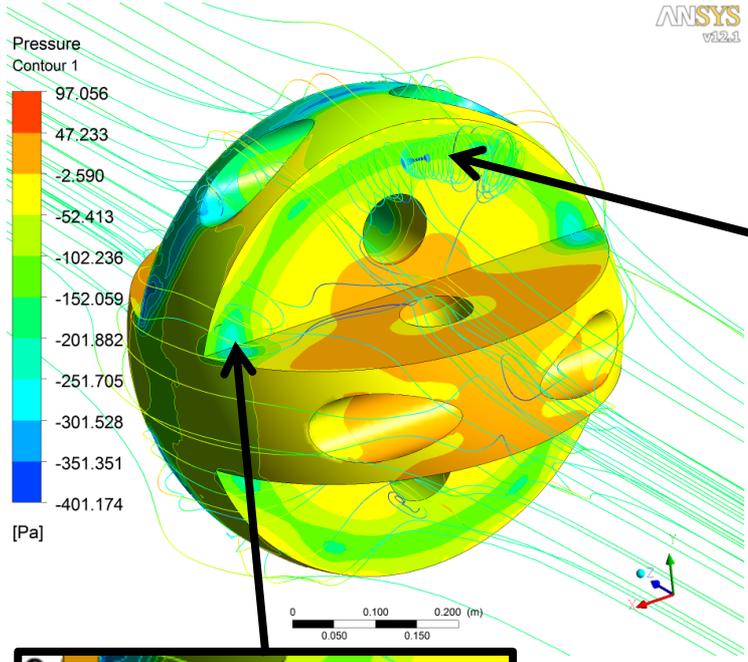
Cámaras

Contornos de presión para el flujo lateral respecto al ROV a una velocidad de 0.2 m/s.



Diagramas de contornos y líneas de flujo para el caso donde la velocidad de entrada es de 0.4 m/s





Resultados obtenidos para el coeficiente de arrastre para los casos estudiados.

Dirección del desplazamiento	Frontal	Lateral	45 Grados
CD	0.473	0.795	1.05

Comentarios finales

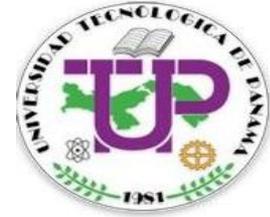
Se diseñó un vehículo sumergible para inspección interna de tuberías bajo el concepto de anillos el cual tenía el objetivo de disminuir los efectos de las caídas de presión en la tubería al poseer una menor sección de área transversal en su parte frontal.

Este supuesto ha sido corroborado con las simulaciones y resultados experimentales de otros proyectos similares.

Se determinaron los coeficientes de arrastre en tres direcciones de ataque de flujo con el vehículo la cual nos permite determinar la fuerza en cada una de las tres direcciones.

Se determinaron la fuerza ejercida por el fluido hacia el vehículo en una maniobra la cual consiste en girar alrededor del eje z al vehículo

Muchas Gracias por su Amable Atención



Doctor Adan Vega Saenz

Director del Laboratorio Especializado en Procesos de Unión y Manufactura
(LEPUM)

Universidad Tecnológica de Panamá, Ciudad de Panamá

www.lepum.utp.ac.pa

Email: adan.vega@utp.ac.pa

Phone: (507) 60198076 / 560-3095