



CENTRO DE INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL

CIDESI

PROYECTO INDUSTRIAL TERMINAL

Diseño y Análisis de la Estructura de un Vehículo Autónomo Submarino

PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD DE

“TECNOLOGO EN MECATRONICA”

PRESENTA.

CERVANTES MARQUEZ JOSE LUIS

TUTOR ACADEMICO Y DE PLANTA

DR. JOSE ALFREDO MANZO PRECIADO

QUERETARO, QRO. 2014.

Contenido

RESUMEN.....	5
1 JUSTIFICACIÓN.....	6
2 OBJETIVO.....	6
3 ANTECEDENTES.....	7
4 PRESIÓN EN EL INTERIOR DEL OCÉANO.....	8
5 INSPECCION A TUBERÍAS SUBMARINAS.....	9
6 INSPECCIÓN VISUAL.....	10
7 ESTUDIOS GEOLÓGICOS MARINOS.....	11
8 ANODIZADO.....	13
9 DISEÑO Y ANÁLISIS EN SOLIDWORKS Y ANSYS.....	14
10 DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO.....	14
11 PROPIEDADES MECÁNICAS Y RESISTENCIA A LA CORROSIÓN.....	15
12 DISEÑO HIDRODINÁMICO.....	17
13 SIMULACIÓN EN SOLIDWORKS.....	22
14 SIMULACIÓN EN ANSYS.....	25

15 CONCLUSIÓN.....	28
16 REFERENCIAS.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Válvula en el fondo del mar.....	9
Fig. 2 Inspección visual.....	10
Fig. 3 Inspección visual 2.....	10
Fig. 4 Representación de curvas de nivel sobre una Superficie tridimensional generada por una malla TIN.....	11
Fig. 5 El lecho marino.....	12
Fig. 6 Aluminio anodizado.....	13
Fig. 7 Ensamble general del auv.....	19
Fig. 8 Corte transversal - vista superior del ensamble propuesto.....	19
Fig. 9 Punta.....	20
Fig. 10 Cuerpo.....	20
Fig.11 Parte trasera.....	21
Fig.12 Aleta estabilizador (3 piezas).....	21
Fig. 13 Corte transversal del cuerpo.....	21
Fig. 14 Modelo de estudio.....	22

Fig. 15 Restricción del cuerpo del AUV.....	23
Fig. 16 Cuerpo sometido a 10000000 N/m^2	24
Fig. 17 Resultado del desplazamiento del cuerpo del AUV.....	24
Fig. 18 Modelo mallado.....	26
Fig. 19 Resultado Von Mises Stress.....	26
Fig. 20 Resultado Nodal Solution.....	27

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Propiedades físicas y mecánicas del aluminio 6061 T6.....	16
Tabla 2 Composición química del aluminio 6061 T6.....	17
Tabla 3 Dimensiones del AUV.....	18
Tabla 4 Datos para simulación.....	23

RESUMEN

Los Vehículos submarinos autónomos AUV por sus siglas en inglés (Autónomos Underwater Vehicle) representan una de las fronteras más difíciles para la investigación robótica. Trabajan en un ambiente estructurado y se enfrentan a la percepción única, decisión, control y dificultades de comunicación. Su concepción es para hacer reconocimientos en pocas horas, suelen estar equipados con altímetro, sónar de contorno, sensor de temperatura, sensor de salinidad, cámara submarina, GPS, localizador de emergencia, girómetro y demás sistemas acústicos, navegación y posicionamiento de gran precisión. Suelen utilizarse para aplicaciones de cartografía submarina y detección de objetos en el fondo del mar. Para realizar exploración submarina y hacer mapas detallados, la medición de la temperatura, la salinidad, Inspección de tuberías submarinas y plataformas marinas, apoyo durante la perforación de pozos, muestreo geográfico, estudios geológicos y operaciones de búsqueda.

El AUV es un pequeño submarino autónomo reutilizable en forma tubular-torpedo, debido a que esta forma reduce significativamente el arrastre hidrodinámico. Que basa su sistema de propulsión en hélices.

Es un vehículo diseñado para deslizarse en el fondo del océano a una profundidad programada en el rango de 0 a 1000 metros

Siendo interés de CIDESI la investigación y desarrollo de robots, lleva a cabo el desarrollo conceptual de este AUV.

1 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a las necesidades de la actualidad, para investigación en aguas profundas es fundamental el desarrollo de un vehículo autónomo sumergible (AUV) que cumpla con la finalidad de dicha investigación y obtener datos precisos para la construcción y mantenimiento de tuberías, plataformas marinas y estudios geológicos marinos.

2 OBJETIVO

El desarrollo de un AUV es complejo por lo cual es necesario una investigación extensa y minuciosa sobre el tipo de material propuesto para el desarrollo de un robot submarino de este tipo.

En este proyecto

- Se presenta el diseño de un contenedor cilíndrico-torpedo el diseño estructurado en solidworks de un vehículo autónomo sumergible como medio de observación hidrográfica y su cálculo de elementos finitos.
- El AUV será reutilizable (no contaminante), por su tamaño se puede desplegar desde pequeñas embarcaciones.
- El proyecto quedara conceptualizado de manera teórica.

3 ANTECEDENTES

La tecnología submarina para AUV's, presenta una amplia lista de investigaciones por diferentes institutos académicos y de robótica. Será para CIDESI sin duda una alternativa para incorporar equipos de inspección y supervisión de zonas marinas profundas a un coste menor que en su etapa actual se busca resolver con equipos de sonar en unidades de superficie.

Esta plataforma de instrumentación pequeña ofrece la promesa de describir el interior del océano con mucha mayor resolución en el espacio y el tiempo a un costo relativamente modesto, este vehículo planeador a control remoto es alimentado por baterías recargables.

Entender la importancia de incursionar en este campo de la tecnología en México es imperativo para la industria petrolera y marítima. Es de vital importancia el mencionar las aplicaciones de un AUV, los cuales tienen como objetivo la inspección de zonas marinas profundas de difícil alcance para buzos.

4 PRESIÓN EN EL INTERIOR DEL OCÉANO

Calcular la presión absoluta a 1000 m de profundidad en el océano. Considerando que la densidad del agua es 1024 kg/m^3 y que el aire que hay encima ejerce una presión de 101.3 kPa. Podemos admitir que la densidad del agua prácticamente no varía con la profundidad (aunque existe un ligero incremento debido al descenso de la temperatura y aumento de la salinidad).

En este caso, considerando el peso de una columna vertical sobre un punto situado a una profundidad h tenemos.

$$P = P_0 + \rho gh$$

Sustituyendo.

$$P = 101.3 \text{ kPa} + \left(1024 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right) (1000 \text{ m}) = 101.47 \text{ MPa}$$

Lo que equivale a unas 100 atmósferas.

5 INSPECCION A TUBERÍAS SUBMARINAS

La industria del petróleo y gas utiliza los AUV's para hacer mapas detallados del lecho marino antes de comenzar la construcción de la infraestructura submarina. Fig. 4

Tuberías y terminaciones submarinas se pueden instalar de la manera más rentable con una interrupción mínima en el medio ambiente. Fig. 1

El AUV permite a las empresas realizar el mapeo preciso de áreas donde los levantamientos batimétricos tradicionales serían menos eficaces o demasiado costosos.



Fig. 1 Válvula en el fondo del mar

6 INSPECCIÓN VISUAL

Se recomienda la aplicación de este método para detectar y dimensionar defectos en la superficie exterior de la pared del ducto, siempre que ésta se encuentre al descubierto y a poca profundidad dicha inspección submarina previa remoción del recubrimiento si este es de un espesor tal que impida la observación de la superficie.

Figuras 2 y 3



Fig. 2 Inspección visual



fig. 3 Inspección visual 2

7 ESTUDIOS GEOLÓGICOS MARINOS

Los científicos utilizan los AUV's para estudiar los lagos, el mar, y el fondo del océano en busca de Información geográfica y con una variedad de sensores remotos y mapeo tienen un papel que jugar en todos los aspectos geográficos del desarrollo y gestión de la acuicultura marina. Con los sensores satelitales y submarinos adquieren muchos de los datos relacionados, especialmente sobre temperatura, velocidad de corrientes, altura de olas, concentración de clorofila, salinidad.

En el Sistema de Información Geográfica (SIG) se utilizan para manipular y analizar datos especiales y propiedades de los datos procedentes de las distintas fuentes. También se utilizan para producir reportes en formato de mapas, bases de datos y textos que faciliten los procesos de los sistemas y la toma de decisiones. Fig. 4

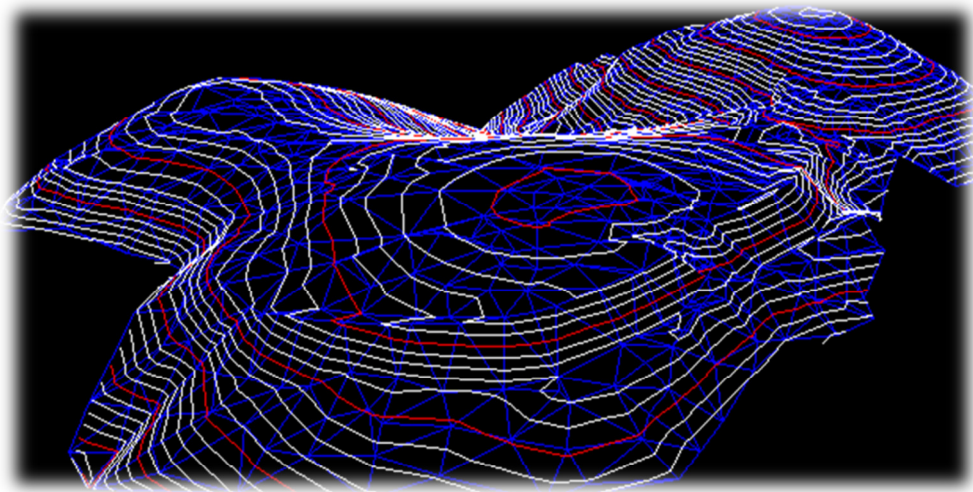


Fig.4 Representación de curvas de nivel sobre una superficie tridimensional generada por una malla tin*

* La representación de una superficie a partir de un conjunto de puntos como una red de triángulos irregulares que en la medida de la precisión (densidad de puntos) con que se hace la topografía en esa medida se tiene una representación fiel de dicha superficie. Fig. 5

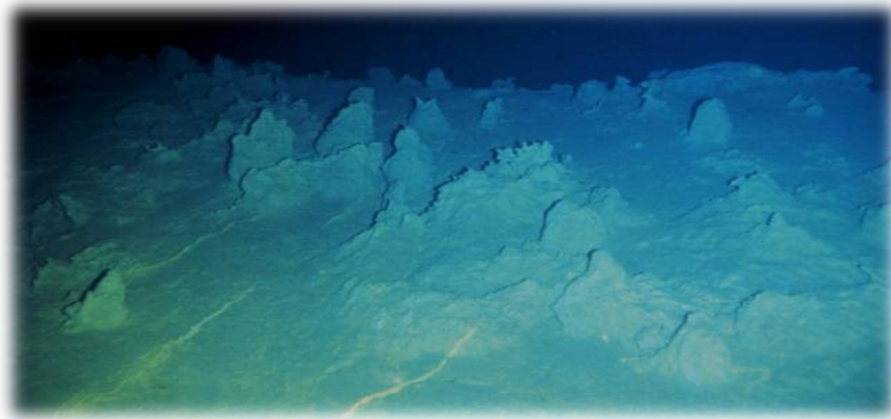


Fig. 5 El lecho marino

8 ANODIZADO

El aluminio posee una combinación de propiedades, tales como su baja densidad de 2.7 kg/m³, su alta resistencia a la corrosión, es buen conductor de la electricidad, se maquina con facilidad y es relativamente barato. Mediante la aleación y el trabajado en frío adecuado se puede aumentar marcadamente su resistencia mecánica hasta 690 MPa. Por todo esto, es el metal más utilizado después del acero.

El anodizado es una técnica utilizada para modificar la superficie del aluminio. Se conoce como anodizado a la formación de la capa protectora de óxido de aluminio, conocida como alúmina, la cual se puede producir artificialmente mediante procedimiento electrolítico. La protección o el incremento en resistencia y durabilidad del aluminio, dependerá en gran medida del espesor de esta capa anódica Fig. 6



Fig. 6 Aluminio anodizado

9 DISEÑO Y ANÁLISIS EN SOLIDWORKS Y ANSYS

De acuerdo a la experiencia con otros desarrollos se determinó que SolidWorks es una herramienta eficaz para realizar diseños estructurales y desarrollo de sistemas mecánicos de forma confiable. Entre la amplia gama de funciones que ofrece el paquete solidworks se encuentran herramientas de análisis de elementos finitos.

Estos complementos se presentan en forma de guías estructuradas que llevan de la mano al usuario indicándole los pasos a realizar y obtener los resultados deseados de acuerdo al estudio a realizar.

10 DESCRIPCIÓN DEL VEHÍCULO

El AUV consiste en un casco de presión, delimitada por aleación de aluminio 6061 en temple T6 es una de las aleaciones más sólidas de la ingeniería en general. En particular cabe destacar las características metalográficas que le confieren sus excelentes propiedades mecánicas. Los elevados valores de resistencia y baja densidad son los factores claves que determinan su uso en componentes estructurales que estén sometidos a elevadas tensiones y sea necesaria una buena respuesta frente a la corrosión. Estas aleaciones son sustitutas de los aceros en estructuras que soportan sobrecarga, donde se pueden explotar las ventajas del peso menor, la rigidez específica y las correlaciones altas de la resistencia al peso. Los principales usos se encuentran en la industria aeroespacial, militar y nuclear.

11 Propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión

El estudio de las propiedades mecánicas se utiliza como base para dictaminar sobre un material metálico, con vistas a un fin de aplicación concreto. Las principales características mecánicas de la aleación de aluminio 6061-T6 que se muestran en la tabla 1, que determinan su uso en aplicaciones de componentes estructurales son su módulo de elasticidad, límite elástico, resistencia a tracción y tenacidad de fractura a temperatura ambiente. Las aleaciones basadas en el sistema cuaternario Aluminio - Zinc - Magnesio - Cobre (Al-Zn-Mg-Cu) presentan valores de resistencia y límite elástico muy elevados. Las adiciones de Zn y del Mg son las que determinan el aumento de la resistencia y la combinación de estos elementos con las impurezas de Cu permite obtener las aleaciones de aluminio con las mayores resistencias mecánicas. Aunque el Zn, el Mg y el Cu en general tienden a reducir la resistencia a la corrosión, el Cu en particular mejora la respuesta frente a los esfuerzos de corrosión bajo tensión. Como se muestra por la composición química Tabla 2

El grado de endurecimiento para la aleación de aluminio T6 es tratado por solución y envejecido artificialmente, el cual se realiza a temperaturas de entre 520 y 530 °C, el tratamiento T6 ayuda a la reducción de porosidad y mejora la homogeneidad de la microestructura.

La aleación de aluminio 6061-T6 tiene como principales propiedades las siguientes:

- Resistencia a la tracción: 45,000 psi
- Resistencia de fluencia: 40,000 psi
- Elongación en 2 pulg: 10%
- Dureza Brinell: 95
- Excelente maquinabilidad
- Buena estabilidad, con excelente acabado superficial
- Alta resistencia a la corrosión y al desgaste
- Soldable.

Tabla 1. Propiedades físicas y mecánicas de aluminio 6061 t6

Propiedad	Magnitud
Densidad	2.7 g/cc
Módulo de Young	$7.2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Dureza Vickers	107
Resistencia máxima	570 MPa
Coeficiente de expansión térmica (20 °C)	23.6 $\mu\text{m/m}$
Conductividad térmica	0.96 J/g °C
Punto de fusión	477 °C – 635 °C
Límite de fluencia	165,5 MPa

Tabla 2. Composición química del aluminio 6061 T6

Zn.	30	Zinc	0.25
Mg.	12	Magnesio	0.8-1.2
Cu.	29	Cobre	0.15-0.4
Si.	14	Silicio	0.40-0.8
Fe.	26	Hierro	0.7
Cr.	24	Cromo	0.04-0.35
Ti.	22	Titano	0.015
Al.	13	Aluminio	El resto

12 DISEÑO HIDRODINÁMICO

El diseño hidrodinámico es esencial para el rendimiento del vehículo en el mar, Incluso a las velocidades relativamente bajas previstas para AUV de CIDESI, el enfoque consiste en adoptar una baja resistencia y alto desempeño con el tipo de desplazamiento de Toberas Kort o hélices conductos, suelen ser significativamente más eficientes que las hélices sin conductos a bajas velocidades, produciendo un mayor empuje en un paquete más pequeño, añadir al diseño alas adoptando la forma de baja resistencia para mantener el flujo. Esta forma de revolución emplea una larga sección de popa suavemente cónica, mientras que la sección de proa donde el flujo es

turbulento, representando una pequeña fracción de la superficie. Cuando el casco es perfectamente redondo en su sección transversal, la presión se distribuye uniformemente, lo que sólo provoca la compresión del casco.

Lo anterior muestra que el uso de energía, costo, confiabilidad y facilidad de operación, convierte esta propuesta en un diseño energéticamente eficiente.

Elegimos una forma del vehículo de baja resistencia con un casco de presión. Con las dimensiones mostradas en la tabla 3.

La propulsión es Proporcionada por medio de propela propulsor.

Tabla 3. Dimensiones del AUV.

El cuerpo principal mide	1.5 m de largo.
Sus alas se extienden	0.767 m.
Con una altura de	0.526 m.
Su Peso Vacío es de aprox.	25,46 kg
Con un diámetro de	0.30 m.

Con las medidas y dimensiones se puede mostrar el diseño del AUV hecho en solidworks, Fig. 7, teniendo en cuenta que el material utilizado es una aleación de aluminio 6061-T6.

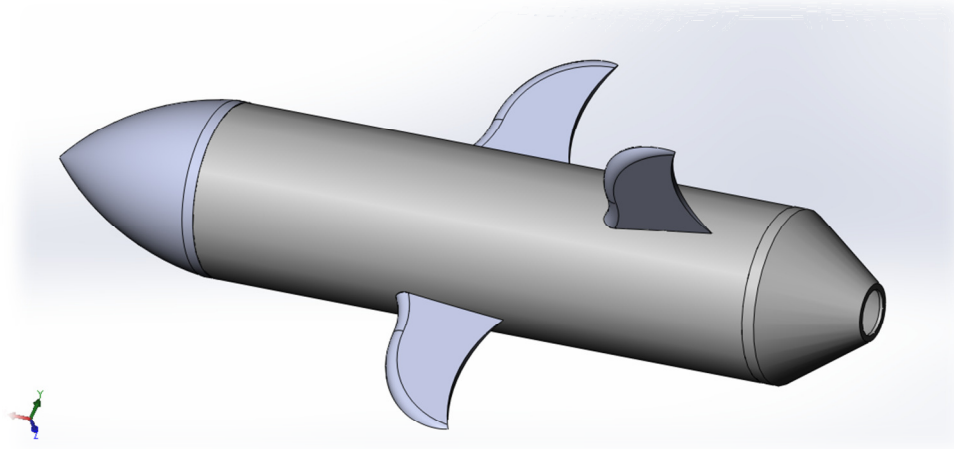


Fig. 7 Ensamble general del AUV

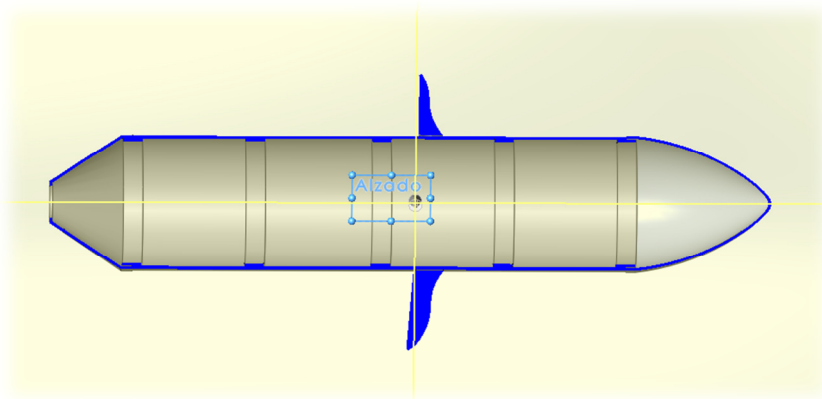


Fig. 8 Corte transversal - Vista superior del ensamble propuesto

Cada una de las piezas se diseñó de forma que pudieran ser ensambladas acoplando cada uno de los segmentos entre sí. El prototipo se implementó de forma rápida y eficiente con las herramientas de SolidWorks.

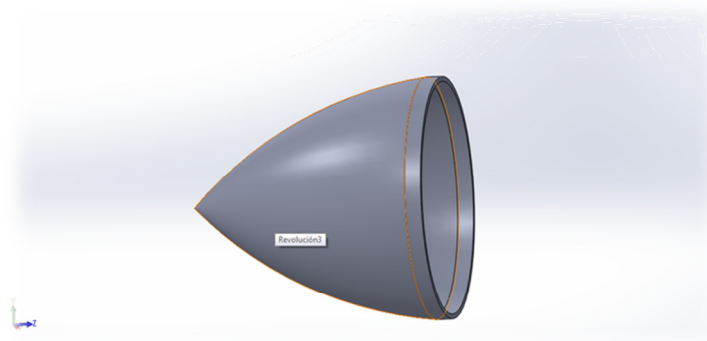


Fig. 9 Punta

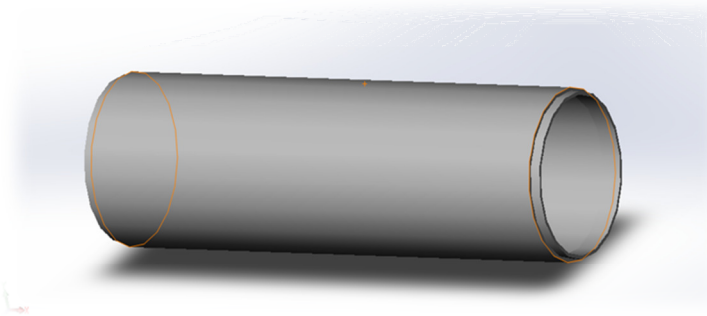


Fig. 10 Cuerpo

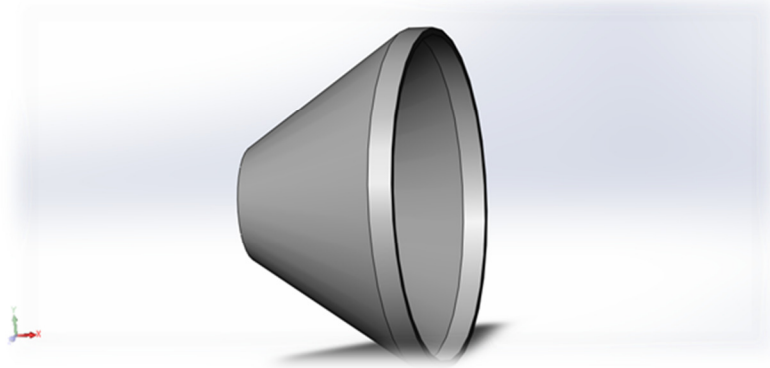


Fig.11 Parte trasera

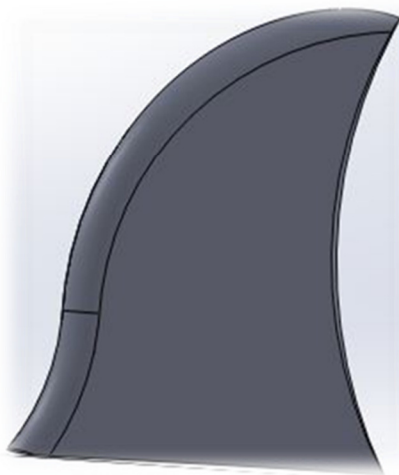


Fig. 12 Aleta estabilizador (3 piezas)

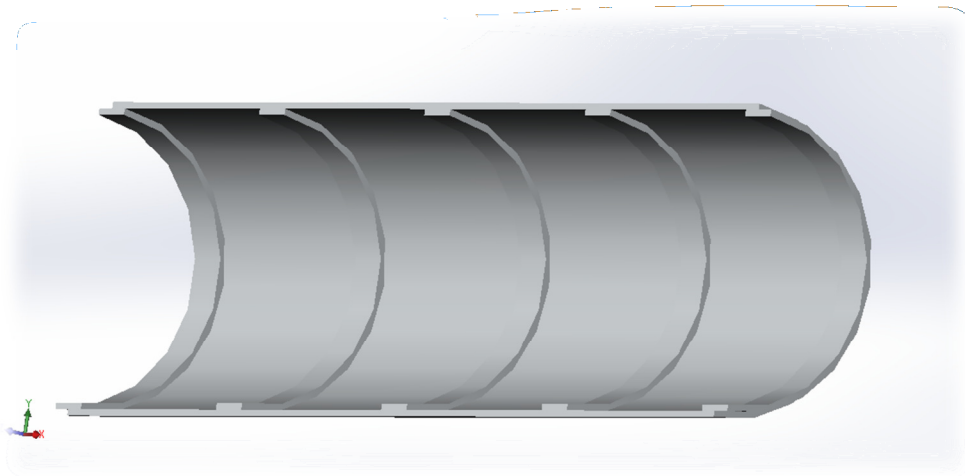


Fig.13 Corte transversal del cuerpo

En las figuras anteriores (9, 10, 11, 12, 13) se muestran las partes del AUV, en las cuales se puede ver que en el interior se encuentra vacío para instalar los instrumentos electrónicos.

Este diseño esta creado para ofrecer menor resistencia al moverse bajo el agua y obtener mayor autonomía.

13 SIMULACIÓN EN SOLIDWORKS

Una de las herramientas con las que cuenta el software de solidworks, es la simulación de elementos finitos para comprobar si el material con el cual se fabricara la estructura tolera la presión a la cual será sometida en el ambiente de trabajo. Fig.14



Fig. 14 Modelo de estudio

Después de elaborar el modelo de estudio se ingresaron los siguientes datos requeridos para la simulación mostrados en la tabla 4,

Tabla 4. Datos para simulación.

Módulo de Young:	$6.9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Módulo de Poisson:	0.33 g/cm^3
Límite de fluencia:	$165,5 \text{ MPa}$
Presión a 1000m:	$10\,000\,000 \text{ N/m}^2$

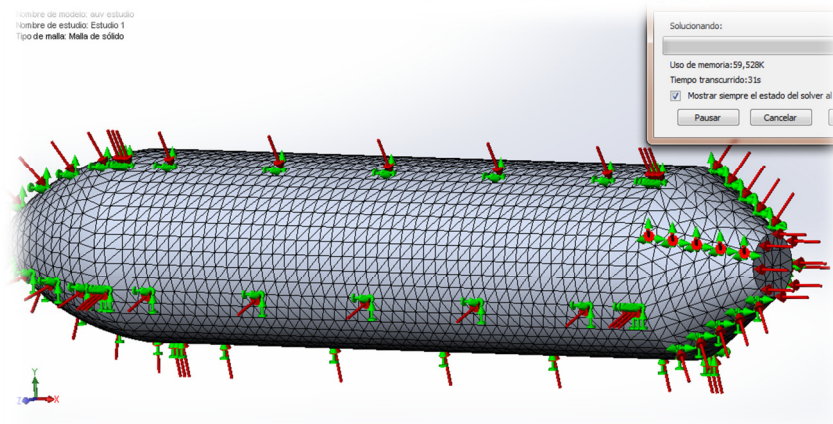


Fig. 15 Restricción del cuerpo del AUV

En la fig. 15 se muestra las flechas verdes las cuales indican la parte del cuerpo donde se restringió, las flechas rojas muestran el sentido hacia donde se dirige la presión suministrada.

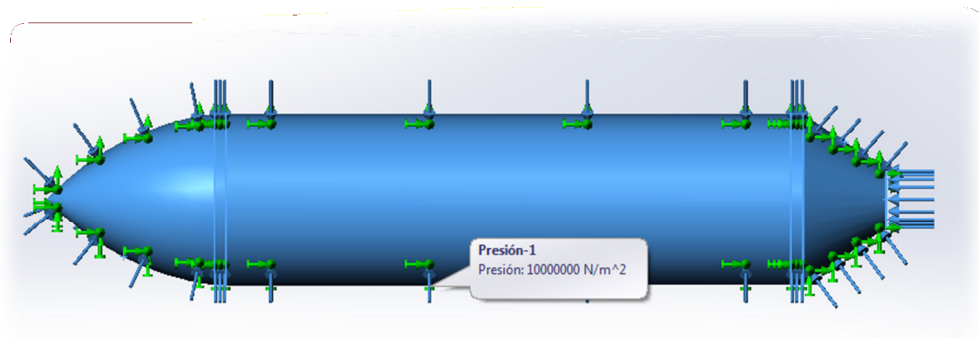


fig. 16 Cuerpo sometido a 10000000 N/m^2

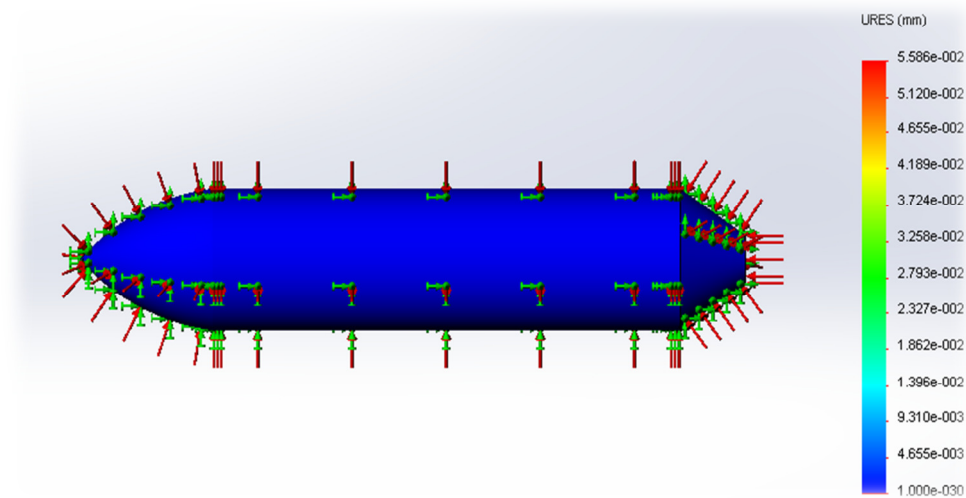


Fig. 17 Resultado del desplazamiento del cuerpo del AUV

La simulación en solidworks nos muestra la escala de deformación con la cual nos demuestra que el material utilizado cumple con las expectativas requeridas al

Suministrarle una presión de 10 000 000 N/m², la estructura no sobrepasa su límite de fluencia.

En la figura 17 Se muestra como la deformación del cuerpo es menos de un milímetro el cual es de 0.05586mm.

14 SIMULACIÓN EN ANSYS

Este procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras estáticas (ambas para problemas lineales y no lineales), análisis de transferencia de calor y fluido-dinámica, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo.

Normalmente el uso de estas herramientas se utiliza simultáneamente logrando mezclar problemas de estructuras junto a problemas de transferencia de calor como un todo. Este software es usado también en ingeniería civil y eléctrica, física y química.

En este proyecto utilizamos el software para el análisis de estructuras, para poder simular el cuerpo del AUV se tienen que introducir las propiedades del material manualmente en pasos correlativos para obtener un resultado más confiable. Esta estructura será sometida al cálculo de presión de Pre-Proceso en ANSYS. El software requiere de ciertos valores preliminares para poder obtener las soluciones que se le solicitan.

Los siguientes valores son:

Estudio estructural

Elemento definido tipo 3 solid 183

Módulo de Young: $6.9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

Módulo de Poisson: 0.33 g/cm^3

Presión a 1000m: $10\,000\,000 \text{ N/m}^2$

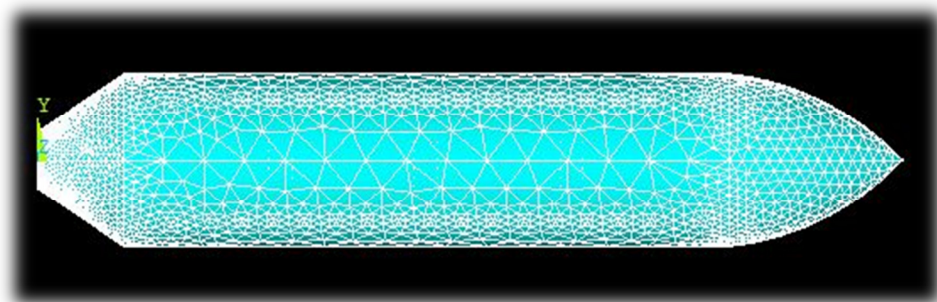


Fig. 18 Modelo mallado

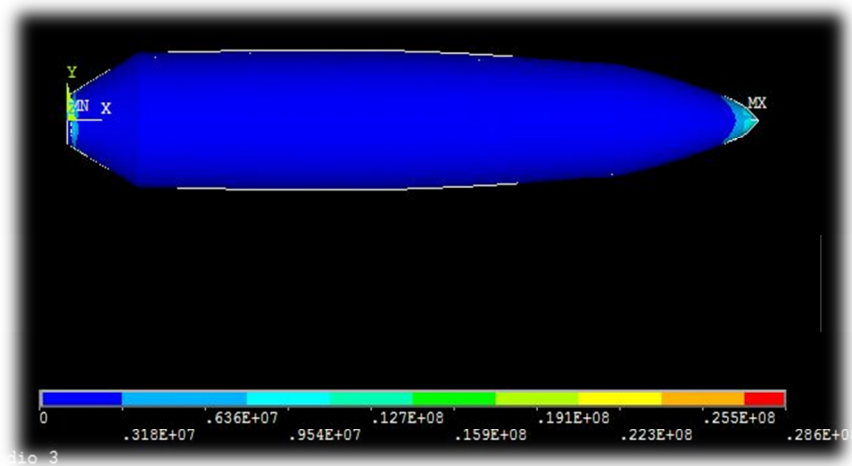


Fig. 19 Resultado Von Mises Stress

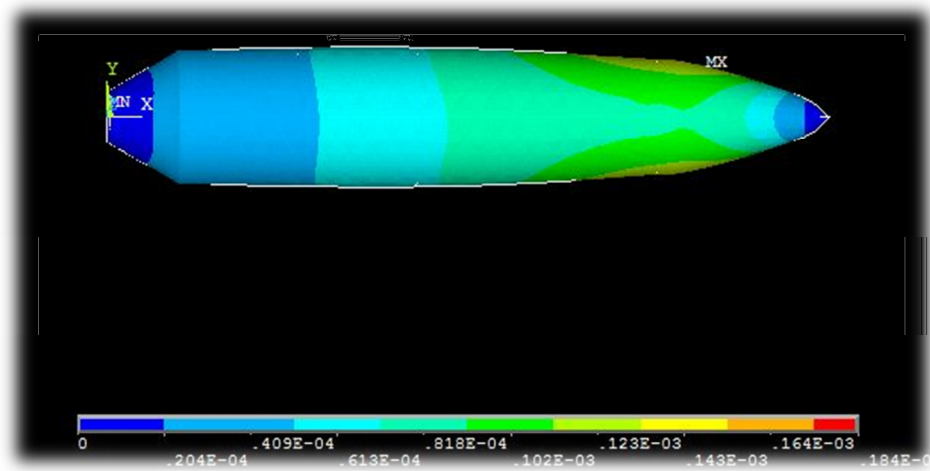


Fig. 20 Resultado Nodal Solution

En la Fig. 18 se muestra el modelo a estudio mallado en Ansys.

En las figuras 19 y 20 se puede observar los esfuerzos que sufre el cilindro al aplicarle una presión de 10000000 N/m^2

La deformación mostrada por el programa es de 0.18 mm.

Con un esfuerzo máximo de 28.6MPa.

Con lo cual podemos verificar que la estructura es resistente a las presiones a las cuales será sometido.

15 CONCLUSIÓN

El desarrollo de un AUV es complejo por lo cual se requiere una investigación extensa y minuciosa sobre los componentes necesarios para su perfecto funcionamiento y la del trabajo que se requiera realizar.

Como se observó en el proyecto, el diseño en general del AUV es aceptable para ser manufacturado, ya que la estructura hecha del material seleccionado cumple con las expectativas planteadas de resistir la presión de 10000000 N/m^2 a 1000 m de profundidad.

Dados los resultados y comportamiento del diseño del AUV en SOLIDWORKS y ANSYS se muestra que es posible realizarlo, sería una gran aportación al país hablando en términos de tecnología submarina, la inversión económica necesaria para realizar un desarrollo de este tipo es elevada, pero los beneficios de realizar esta inversión son aún mayores, ya que el contar con un AUV propio, se proporcionaría al país una herramienta más para realizar nuevas investigaciones y descubrimientos.

16 REFERENCIAS

- Historia AUV's disponible en:

<http://es.scribd.com/doc/102809317/Autonomous-Underwater-Vehicles-AUV>

- SOLIDWORKS 2012 Tutorial Advanced Part Modeling.
- ANSYS INC. Tutorial de ANSYS Multiphysics versión 14.0.
- Manual del aluminio. W. Hufnagel.
- Images auv's

<http://subseaworldnews.com/2012/12/18/kongsberg-fugro-survey-orders-hugin-auv's/>

- Efecto del anodizado sobre la razón de desgaste de una aleación de aluminio 6061 pdf.
- Vargas Hernández, Crecimiento de películas de óxido de aluminio por métodos electrolíticos.