



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas,
Oceánicas y Recursos Naturales.**

**INSPECCIÓN, ANÁLISIS, TRABAJOS DE COMPLETAMIENTO
Y REFLOTAMIENTO DEL PRIMER NARCOSUMERGIBLE
ENCONTRADO EN EL ECUADOR.**

INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL

Previa la obtención del Título de

INGENIERO NAVAL

Presentado por

Iván Patricio Arias Vergara

Guayaquil – Ecuador

2013

AGRADECIMIENTO

Existen vastos y muy gratos recuerdos forjados durante estos años de carrera politécnica, razón por la cual deseo agradecer a todos y a cada uno de los profesores que durante el transcurrir de los niveles, enriquecían el conocimiento adquirido. Un especial agradecimiento al señor Ingeniero Cristóbal Mariscal, por su apoyo y colaboración, e insistencia para alcanzar este importante logro, al señor Ing. Alejandro Chanabá y al Ing. Patrick Townsend, por haber participado en este proceso de ejecución del presente Informe Profesional, y a todos aquellos servidores administrativos y amigos que colaboraron para llegar a buen término este proceso.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mi querida esposa Rebeca, la compañera del camino, con quien he disfrutado de las alegrías más bellas de la vida.

A mis hijos, para que perciban este trabajo como un ejemplo de amor y sacrificio, y que quede plasmado en estas páginas para la eternidad el inmenso amor y pasión que me profesan.

A mi madre, por la dicha de permitirme ver su rostro de ilusión y felicidad al alcanzar esta anhelada meta que con amor esperaba.

A mi padre, por ser para mí el norte verdadero de mis acciones y pensamientos, por su ayuda e impulso para alcanzar este logro, además que por todos sus años de colaboración y entrega al medio de la Ingeniería Naval de alguna forma este título también le pertenece.

A mis familiares y amigos que forman parte de la vida y desarrollo de uno como persona.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este trabajo profesional, corresponden exclusivamente a su autor, y el patrimonio intelectual del Informe de Trabajo Profesional corresponderá a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)

Iván Patricio Arias Vergara

TRIBUNAL DE GRADO



Marco Velarde Toscano, M.Sc.

Presidente del Tribunal



Cristóbal Mariscal Díaz, M.Sc.

Director de Trabajo Profesional



Patrick Townsend Valencia, M.Sc.

Miembro Principal



RESUMEN

Es conocido que el narcotráfico, ha modificado en el tiempo sus medios y procedimientos para el transporte de sustancias ilícitas, sin embargo, en el año 2010, fue la primera ocasión que en nuestro país se descubriera un narcosumergible, embarcación con capacidades de propulsión diésel-eléctrica y de navegación en inmersión utilizando la principal característica del submarino, “el sigilo”.

En el presente trabajo se describen las principales características, materiales, componentes y capacidades del narcosumergible, con la finalidad en primer lugar de demostrar como con la aplicación de los conocimientos obtenidos, fue posible realizar el acabado, reflotamiento y traslado del narcosumergible desde el norte del país hasta la ciudad de Guayaquil y luego presentar información de utilidad para la Autoridad de Policía Marítima del Ecuador, con el afán de colaborar en su rol de control de las actividades ilícitas.

Inicialmente se realizará una breve descripción histórica y legal de las embarcaciones dedicadas al narcotráfico, se propondrá un método genérico de subdivisión de embarcaciones, para luego realizar el análisis del narcosumergible, indicando como se realizó el acabado, reflotamiento y luego la maniobra de traslado. Al final realizaremos una comparación entre los cálculos obtenidos en campo con los cálculos hidrostáticos realizados asistidos por computadora.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|-------------------------|-------------|
| RESUMEN | VI |
| ÍNDICE GENERAL | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | IX |
| INTRODUCCIÓN | 1 |

CAPÍTULO 1

RESEÑA HISTÓRICA DE LOS NARCOSUMERGIBLES

| | |
|---|----|
| 1.1. Evolución y desarrollo del transporte de sustancias ilícitas. | 3 |
| 1.2. Situación Social que envuelve el narcotráfico | 8 |
| 1.3. Situación legal de las Interdicciones de Narcosumergibles. | 10 |
| 1.4. Características del primer Semisumergible construido en el Ecuador | 13 |

CAPÍTULO 2

NORMA PARA DIVIDIR UN BUQUE POR SISTEMAS

| | |
|---|----|
| 2.1. Organización del buque por sistemas | 17 |
| 2.2. Estructura de Desglose del Trabajo para un Buque. | 18 |

CAPÍTULO 3

INSPECCIÓN, ANÁLISIS, TRABAJOS DE COMPLETAMIENTO Y REFLOTAMIENTO DEL NARCOSUMERGIBLE.

| | |
|--|----|
| 3.1. Inspección y Análisis del Narcosumergible..... | 26 |
| 3.2. Trabajos de Completamiento del Sumergible. | 64 |

| | |
|--|----|
| 3.3. Reflotamiento y Traslado del Sumergible..... | 67 |
| 3.4. Análisis de Cálculos Hidrostáticos y Predicción de Potencia Asistido por Computadora..... | 71 |
| CONCLUSIONES | 76 |
| RECOMENDACIONES | 78 |
| BIBLIOGRAFÍA | 79 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|----------------|---|
| ANEXO A | Predicción de Potencia del Narcosumergible para Condición de Navegación en Inmersión y en Superficie. |
| ANEXO B | Diagrama Eléctrico del Sistema Propulsor del Narcosumergible. |
| ANEXO C | Cálculo de Desplazamiento y Superficie Mojada del Narcosubmarino realizada en Campo. |
| ANEXO D | Resultados de Cálculos Hidrostáticos Y Predicción de Potencia del Narcosumergible Realizados con Diseño Asistido por Computadora. |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1. Descarga de gases y ventilaciones | 15 |
| Figura 1.2. Máquina Principal | 15 |
| Figura 1.3. Timón y morse | 15 |
| Figura 1.4. Generador | 15 |
| Figura 1.5. Bodega de Carga..... | 16 |
| Figura 1.6. Panel de distribución eléctrica..... | 16 |
| Figura 3.1. Compartimentaje del Narcosumergible. | 30 |
| Figura 3.2. Compartimiento A, Tanque de libre inundación de proa..... | 31 |
| Figura 3.3. Compartimiento G, Tanque de libre inundación popa | 31 |
| Figura 3.4. Compartimiento B, Bodega de almacenamiento. | 32 |
| Figura 3.5. Compartimiento C, Área de habitabilidad..... | 33 |
| Figura 3.6. Compartimiento F, Sala de máquinas. | 35 |
| Figura 3.7. Acumuladores de energía. | 40 |
| Figura 3.8. Maquinaria de propulsión diésel..... | 41 |
| Figura 3.9. Sello del eje de cola..... | 46 |
| Figura 3.10. Hélices y toberas. | 46 |
| Figura 3.11. Variador de frecuencia. | 47 |
| Figura 3.12. Válvula kingston..... | 47 |
| Figura 3.13. Separador de combustible. | 48 |
| Figura 3.14. Tableros eléctricos..... | 49 |
| Figura 3.15. Compás magnético..... | 52 |
| Figura 3.16. Sistema de Periscopio. | 53 |
| Figura 3.17. Cámara infrarroja | 53 |
| Figura 3.18. Ayudas a la navegación electrónicas. | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.19. Sistema de extracción de aire y gases..... | 55 |
| Figura 3.20. Sistema de ventilación..... | 56 |
| Figura 3.21. Acondicionador de aire..... | 56 |
| Figura 3.22. Sistema de evacuación y soplado de lastre..... | 58 |
| Figura 3.23. Sistema de aire comprimido..... | 60 |
| Figura 3.24. Sistema de gobierno e inmersión..... | 61 |
| Figura 3.25. Área de habitabilidad y espacios sanitarios..... | 62 |
| Figura 3.26. Sistema de gobierno e inmersión..... | 63 |
| Figura 3.27. Escotilla de ingreso estanca..... | 65 |
| Figura 3.28. Arreglos de remolque y astillero..... | 66 |
| Figura 3.29. Condición de asentamiento por bajamar..... | 69 |
| Figura 3.30. Modelo Generado del Narcosumergible..... | 71 |

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es un Informe Profesional sobre la “Inspección, Análisis, Trabajos de Completamiento y Reflotamiento del Primer Narcosumergible encontrado en el Ecuador”, en el cuál se presentan los métodos y técnicas usadas en campo con la finalidad de reflotar y trasladar a la embarcación capturada. Posteriormente se presentan los cálculos hidrostáticos y predicción de potencia realizados con un software de diseño asistido por computadora, para poder compararlos con los realizados durante la maniobra descrita y obtener un criterio sobre la precisión de los mismos.

Para llegar a la consecución del trabajo, se realizó previamente el análisis de todos los componentes del narcosumergible, con la finalidad de conocer sus capacidades y aprovechar sus equipos para realizar el traslado de la embarcación. Este trabajo ha utilizado el método científico, propuesto por René Descartes en el siglo XVII, basados en la **evidencia**, aceptando como cierto únicamente lo que se imponga como cierto a la inteligencia, el **análisis**, para dividir el todo en tantas partes como sea posible y analizarlas independientemente, la **síntesis**, conduciendo el pensamiento de manera ordenada, para ir de las ideas más simples a las más complejas y utilizando el **relacionamiento** para realizar revisiones periódicas generales que permitan no omitir situaciones importantes.

El objetivo a alcanzar será realizar la descripción de las principales características, materiales, componentes y capacidades del narcosumergible, con la finalidad de

demostrar que con la aplicación de los conocimientos obtenidos durante la carrera, fue posible realizar los trabajos de completamiento, reflotamiento y traslado del primer narcosumergible capturado en el Ecuador.

CAPITULO I

RESEÑA HISTÓRICA DE LOS NARCOSUMERGIBLES

1.1. Evolución y desarrollo del transporte de sustancias ilícitas.

Los carteles del narcotráfico se han dedicado a lo largo de los años a innovar las formas en que transportan drogas ilícitas, manteniendo al narcotráfico en un alto nivel de tecnología, astucia y sobre todo de audacia, lo que ha hecho que sus métodos hayan evolucionado en nuevos transportes de droga, estableciendo rutas desde los países productores, pasando por países de almacenamiento y distribución, para luego realizar la entrega en los mercados de consumo mundiales (ONU, 2012).

En la década de los años ochenta el principal ícono del narcotráfico en Sudamérica era el colombiano Pablo Escobar, el cual utilizaba pequeñas avionetas para realizar el envío de la droga desde Colombia hacia México.

Los vuelos aterrizaban en pistas secundarias no controladas (La Red 21, 2013). Una vez que ese método empezó a ser detectado por las autoridades de control aéreo, utilizaron el sistema del lanzamiento de la carga desde aeronaves, carga que era recogida y transportada por pequeñas embarcaciones hacia la costa de Norteamérica, sin embargo, existía un alto porcentaje de pérdidas de carga.

En los años subsecuentes el método utilizado principalmente para transportar droga fue mediante el envío de contenedores en cuyo interior existían productos o bienes, dentro de los cuales se escondía el estupefaciente; esto obligó a mejorar los métodos en la inspección de carga de contenedores utilizando en el presente sistemas de detección por medio de radiaciones ionizantes.

También empezaron a utilizar lanchas de fibra de vidrio conocidas como Go Fast¹, las cuales son embarcaciones de fibra de vidrio de aproximadamente 15 a 20 metros de eslora con motores fuera de borda de gran potencia que les permitía alcanzar velocidades de más de 50 nudos, realizando el trayecto desde Sudamérica hasta México e inclusive hacia Estados Unidos de América (El Telégrafo, 2012). Este procedimiento requiere que participen embarcaciones de abastecimiento en alta mar para la entrega de combustible y suministros propios de las altas potencias que utilizan sus motores para navegar. Con el pasar del tiempo el control de los mares por parte de países

¹ Los Botes Go-Fast también conocidos como rum-runners durante la época de prohibición de Alcohol en Estados Unidos o llamados cigarette boats durante la época de contrabando hacia Canadá.

como Ecuador, Colombia, los de Centroamérica, además de la barrera de control marítimo que impuso los Estados Unidos de América tanto en el Pacífico, como en el Atlántico y en el Golfo de México, producían un porcentaje de pérdidas del 50% en los envíos de droga. Esto da inicio a la era subacuática con la creación de dispositivos subacuáticos parásitos, los cuales eran artefactos o compartimientos que se soldaban a la estructura de los cascos de los buques de alto bordo, razón por la cual en la actualidad muchas autoridades marítimas ordenan que aleatoriamente se realicen inspecciones submarinas y registros magnéticos de las mismas a los buques mercantes.

En el año 2000 nace el Proyecto Neptuno, nombre con el cual los carteles de la droga bautizaron el diseño y desarrollo de los sumergibles remolcados (Montoya, 2007), que consistían de un cuerpo cilíndrico con planos o aletas que hidrodinámicamente producen que el vehículo con forma de torpedo descienda de la superficie y dependiendo de la velocidad del barco mantenía una profundidad constante de navegación de aproximadamente 50 metros, contenía sistemas de lastre para no flotar al momento en que se largaba el cable de remolque, sistema de aire para flotar cuando recibía la señal satelital para hacerlo. Estaba equipado con un sistema de boya localizadora, la cual se encontraba en su parte superior y se activaba mediante un temporizador produciendo que la boya flote independiente del torpedo y pueda ser localizado con gran exactitud. La capacidad de carga de estos sumergibles remolcados era de entre 500 y 5.000 kilogramos de alcaloide (VBS.TV, 2011). Cabe mencionar que es semejante a la tecnología utilizada para los sonares

remolcados para detección de submarinos o a los equipos de investigaciones oceanográficos o geofísicos, tales como el side wide scan².

El procedimiento de remolque consistía de un convoy de tres pesqueros, donde el primero participaba como guía y vigía de adelantada reportando cualquier contacto que les fuese peligroso, con esta alarma el segundo pesquero que era el que remolcaba el torpedo, la desenganchaba para evitar cualquier problema en la interdicción³ del control marítimo y luego un tercer pesquero recogía el torpedo mediante los métodos electrónicos descritos y seguía la trayectoria de acuerdo a la ruta planeada.

A inicio de la década de los noventa, los carteles de la droga inician un proceso de búsqueda de un medio silencioso y sigiloso, que les permita entregar la carga en su destino con seguridad, lo que les llevaría al diseño y construcción de las embarcaciones conocidas como semisumergibles⁴. Es así que inicia una nueva era del transporte de sustancias ilícitas dando como resultado el nacimiento de los **Narcosumergibles**.

En Mayo de 1993 se realizó la primera captura de un Narcosubmarino con características de semisumergible en el Océano Pacífico Colombiano, y hasta la actualidad Colombia reporta la detección de 66 narco-semisumergibles.

² Es una categoría de sonares utilizados para generar un perfil del fondo marino.

³ Interdicción marítima es la acción de detener una embarcación para inspección.

⁴ Semisumergible es el nombre que se le da a una embarcación que tiene capacidad de controlar su nivel de francobordo pero no su navegación no es autónoma en inmersión.

En julio de 2008 se realiza la primera interdicción a un narco-semisumergible por parte de la Armada de México y en el año 2010 en la Provincia de El Oro fue descubierto el primer semisumergible construido en el Ecuador.

En Julio de 2010 fue encontrado en el norte del país, en uno de los canales de mar pertenecientes al Cantón San Lorenzo, Provincia de Esmeraldas, limítrofe con el Departamento de Nariño, República de Colombia el Primer Sumergible Autopropulsado en el mundo con fines de transporte de sustancias ilícitas.

El Narcosumergible encontrado presenta características innovadoras, condiciones propias del diseño y complejidad de los submarinos militares o de investigación. Considerando las facilidades encontradas en el “astillero” artesanal improvisado, cabe la necesidad de realizar un análisis más profundo de las características de sus sistemas, equipos así como los materiales con los cuales fue construido.

Las rutas elegidas en lo que concierne al Océano Pacífico para el transporte de la droga comienza normalmente en el litoral colombiano, desde donde se hacen a la mar los medios de transporte de narcóticos con dirección en su inicio a las Islas Galápagos (El Mundo.es, 2011), luego siguen rumbo hacia el norte con la finalidad de evitar la detección temprana de los sistemas costeros así como de las patrullas oceánicas de los estados que se encuentran comprometidos en controlar este ilícito. Todo hace pensar que el desarrollo de los medios de transporte de sustancias ilícitas tienden a convertirse en

tecnología no tripulada con controles satelitales, así como más silenciosos e indetectables.

La evolución de los medios de transporte de droga ha sido constante así como los métodos de detección y captura. Cada vez que se modifica un medio de transporte, deben reconfigurarse los equipos para detección de los mismos, así como el constante entrenamiento del personal que los opera. Por cada innovación en materia ilícita los estados que controlan sus mares se encuentran en la obligación de mantener al día la tecnología en materia de inteligencia, detección e interdicción.

1.2. Situación Social que envuelve el narcotráfico

Los Semisumergibles interdictos, han sido encontrados con cuatro tripulantes, dentro de los cuales se ha identificado un capitán que es el encargado de llevar la navegación y rumbo, un timonel que es quien lleva la caña y mantiene el rumbo indicado, un tripulante de ingeniería que es quien mantiene operativos los sistemas vitales de la embarcación, como máquina, generador, trimado, combustible, lastre, etc., y por último un encargado de la carga quien es el único que sabe dónde y a quien se debe entregar las sustancias ilícitas, quién mantiene comunicaciones vía teléfono satelital con la intención de solicitar autorización para hundir la embarcación en caso de ser detectados.

Los tripulantes que han sido capturados indican que han sido obligados a realizar la travesía, bajo intimidación de perder a su familia en manos de sicarios, mientras que por otras fuentes de información se conoce que un capitán de un semisumergible puede ganar \$16.000 USD por viaje, pero los demás tripulantes reciben cantidades irrisorias por su trabajo.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas en los semisumergibles, se puede inferir que las condiciones de habitabilidad son casi nulas, circunstancias infrahumanas deben soportar por alrededor de 12 días que dura una travesía. Este tipo de embarcaciones cuenta con espacios sumamente reducidos considerando que el único espacio utilizable para habitabilidad, tiene tanques de combustible, no tiene servicios higiénicos, el aire es sumamente viciado en función de que solo existen pocos ductos de ventilación, sin ventilación forzada que inunda la atmosfera con gases de escape y monóxido de carbono. Adicionalmente los niveles de ruido constantes generan un efecto psicológico de stress sumado a la tensión de la alta posibilidad de ser apresados por las autoridades.

En los países en vías de desarrollo existen muchas zonas en las cuales se carece de infraestructura pública, como es el caso de los servicios básicos, atención médica, sistemas de educación, limitadas fuentes de empleo, apoyo para la expansión de las inversiones comunitarias en agricultura y ganadería. Todas estas deficiencias se convierten en problemas sociales que actúan como caldos de cultivo para la aparición de este tipo de “labores de

transporte”. Entonces parecería ser rentable arriesgar la vida de este modo, realizando viajes suicidas, a cuenta de ganar una cantidad que comparada con la ganancia de los carteles es completamente irrisoria.

De acuerdo a los datos que se han recaudado (El Nuevo Herald, 2001), en el mercado norteamericano un kilo de droga cuesta entre \$20.000,00 y \$25.000,00 USD y en Europa un kilo puede llegar a costar entre \$30.000,00 y \$35.000,00 USD. Considerando que cada semisumergible podría costar aproximadamente \$1'000.000,00 USD y que en estas embarcaciones se transporta alrededor de 5 toneladas de estupefacientes dando un valor por carga de \$175'000.000,00 de dólares, lo que convierte al narcotráfico con semisumergibles en un negocio altamente rentable incluyendo las altas pérdidas por hundimientos o captura.

1.3. Situación legal de las Interdicciones de Narcosumergibles.

La Búsqueda, Identificación e Interdicción Marítima de una embarcación que transporta sustancias ilícitas es complicada, sin embargo, cuando se logra detectar, identificar e interdicar una de estas embarcaciones, el procedimiento que realizan los narcotraficantes es el de comunicar al dueño de la carga que han sido descubiertos. Normalmente en este momento el narcotraficante ordena desaparecer la evidencia, es la razón por la cual se encuentran videos en que, desde buques mercantes, barcos pesqueros o lanchas go fast, los

tripulantes proceden a botar y hundir la evidencia. En el caso de los semisumergibles el proceso es abrir las válvulas de fondo y hundir la embarcación.

En este momento a falta de evidencia los narcotraficantes que transportan la droga se convierten en náufragos y se acogen a los derechos del código internacional humanitario, debido a que no podrían ser procesados en función de no haberse encontrado ninguna evidencia del delito cometido.

El 09 de julio de 2009, el Congreso de la República de Colombia adiciona al Código Penal dos artículos (en el capítulo de tráfico de estupefacientes y otras infracciones) relacionados a esta materia.

“Artículo 377A. Uso, construcción, comercialización y/o tenencia de semisumergibles o sumergibles. El que sin permiso de la autoridad competente financie, construya, almacene, comercialice, transporte, adquiera o utilice semisumergible o sumergible, incurrirá en prisión de seis (6) a doce (12) años y multa de mil (1.000) a cincuenta mil (50.000) salarios mínimos legales mensuales vigentes.

PARÁGRAFO. Para la aplicación de la presente ley, se entenderá por semisumergible o sumergible, la nave susceptible de moverse en el agua con o sin propulsión propia, inclusive las plataformas, cuyas características

permiten la inmersión total o parcial. Se exceptúan los elementos y herramientas destinados a la pesca artesanal.

Artículo 377B. Circunstancias de agravación punitiva. Si la nave semisumergible o sumergible es utilizada para almacenar, transportar o vender, sustancia estupefaciente, insumos necesarios para su fabricación o es usado como medio para la comisión de actos delictivos la pena será de ocho (8) a catorce (14) años y multa de setenta mil (70.000) salarios mínimos legales mensuales vigentes.

La pena se aumentará de una tercera parte a la mitad cuando la conducta sea realizada por un Servidor Público o quien haya sido miembro de la Fuerza Pública”.

Los Estados Unidos de América también generó una enmienda en el año de 2009, en la cual se criminaliza el solo hecho de navegar en una de estas embarcaciones, requiriendo únicamente fotos comprobatorias.

México es uno de los países en los cuales aún no se criminaliza el uso de los narcosumergibles, considerando que este país es fronterizo con el más grande mercado de consumo del mundo, por lo que se debe esperar que los viajes en semisumergibles continúen.

1.4. Características del primer Semisumergible construido en el Ecuador

En mayo del 2010 fue encontrado en la Provincia de El Oro, Cantón El Guabo, un Narco-semisumergible con características de semisumergible. De acuerdo a la nomenclatura del Gobierno de los Estados Unidos se le conoce como SPSS (Semisumergible autopropulsado), (Global Security, 2013).

Se estima que el tiempo de construcción de este tipo de embarcaciones oscila entre 30 y 40 días, los mismos son construidos con estructura de fibra de vidrio y la cubierta principal está recubierta con el mismo material, la que tiene una estructura superior de madera construida con la finalidad de soportar la cubierta principal corrida de proa a popa.

El objeto al que se le realizó la inspección es una embarcación construida de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), con un espesor de planchaje en el casco que oscila entre los 3 cm en su parte inferior hasta 2 cm en el trancañil. La embarcación tiene 18 metros de eslora total y cuenta con líneas de forma muy finas.

Estructuralmente se pudo determinar que es una embarcación reforzada únicamente longitudinalmente, con dos refuerzos simétricos de 20x30cm que corren a lo largo en la embarcación, separados por 80 cm en el fondo de la misma. Adicionalmente cuentan con dos refuerzos longitudinales a cada banda de PRFV de 8x8 cm separados entre sí por 50 cm.

La cubierta principal de la embarcación corresponde a una cubierta de madera la cual tiene un recubrimiento de PRFV de 1,00 cm de espesor, la misma se encuentra reforzada transversalmente con baos de madera dando la forma de curva a la cubierta con una flecha máxima de 20 cm. no contando con refuerzos longitudinales.

Se pudo determinar que la unidad está dividida en 6 compartimientos estancos. Proa y popa para tanques de combustibles compensados, el segundo compartimiento para la carga de 16,80 m³, el tercer compartimiento es el área del puente de gobierno con un timón y un morse para control de potencia de la maquina principal, adicionalmente en este compartimiento se encuentran dos tanques de combustible sobre los cuales descansa la tripulación, en el último compartimiento se encuentra la sala de máquinas y sistemas vitales.

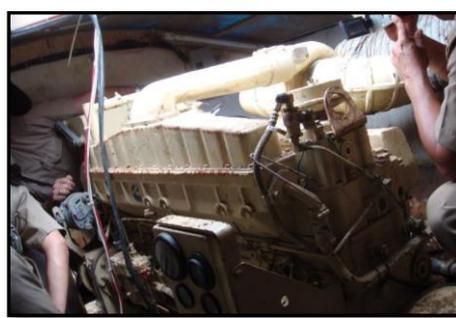
La embarcación tiene distribuidos sobre su cubierta varias aberturas las cuales podemos dividir de la siguiente forma:

- Tomas desde el exterior: Existen 4 tubos con tapas de acero galvanizado, las cuales podrían ser utilizadas para llenar de combustible a los tanques de diésel de la embarcación o inundarlos de agua salada
- Escotillas: Existen 2 escotillas estancas en la cubierta de la embarcación: A proa para el ingreso a la bodega de carga, y a popa para el ingreso a la sala de máquinas. Adicional cuenta con una tapa de ingreso al puente de gobierno.

- Admisión y Descarga de gases: Existen 2 ductos de admisión de aire a la sala de máquinas a través de dos cuellos de ganso de 12" de diámetro; y 01 descarga de gases de escape del motor principal y generador, con su respectiva protección de asbesto. A continuación se observará las fotografías más representativas de la embarcación inspeccionada.



Fuente: Arias, I.
Figura 1.1. Descarga de gases y ventilaciones



Fuente: Arias, I.
Figura 1.2. Máquina Principal



Fuente: Arias, I.
Figura 1.3. Timón y morse



Fuente: Arias, I.
Figura 1.4. Generador



Fuente: Arias, I.
Figura 1.5. Bodega de Carga



Fuente: Arias, I.
Figura 1.6. Panel de distribución eléctrica.

CAPITULO II

NORMA PARA DIVIDIR UN BUQUE POR SISTEMAS

2.1. Organización del buque por sistemas

Con la finalidad de presentar los resultados de la inspección y evaluación del Narcosubmarino en el presente informe, se ha buscado un método para subdividir la estructura de los sistemas del sumergible, razón por la cual, se ha generado el presente capítulo como explicación, el método utilizado por la Fuerza Naval de los Estados Unidos de América, conocido como Expanded Ship Work Breakdown Structure, ESWBS, el cual ha sido utilizado también por el Instituto de Dirección de Proyectos, PMI⁵.

Cabe en este punto destacar que la Administración Marítima de los Estados Unidos, MARAD, también propone un sistema de división de buques en

⁵ Project Management Institute(PMI), Instituto de Gerenciamiento de Proyectos.

relación a sus componentes, sin embargo, utilizaremos el ESWBS, en función que el mismo es utilizado para la construcción y mantenimiento.

Dentro de la organización de los buques, la Armada del Ecuador, mantiene la división de sus unidades por departamentos, esto hace que se cuente con una estructura vertical, que ha permitido mantener una correcta organización de las unidades navales, sin embargo, una vez que se quiere integrar todos los estados de la administración naval, resulta en una réplica de esfuerzos que dificultan la homologación de procesos, por ende recursos. Es así que desde hace varios años se ha iniciado el proceso de catalogación de todos los materiales utilizados en la Fuerza Naval, aplicando el método indicado anteriormente.

Puede considerarse que es un método para la subdivisión de una embarcación que permite tener en cuenta todos los equipos o sistemas y ayuda a desglosar un proyecto naval hasta la más mínima parte, en función de presupuestar, predecir tiempos y costos, además de ser una herramienta ideal para administrar un proyecto. Esta es la razón por la que se le dará mucha importancia a este método en el presente informe.

2.2. Estructura de Desglose del Trabajo para un Buque.

El 2 de enero de 1998, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, emite el Military Handbook 881 (MIL-HBK-881), en el cual se

presentan las directrices para preparar, entender y presentar un Work Breakdown Structure, WBS, con la finalidad primordial de alcanzar la uniformidad en los procesos de negociación con los contratistas. Definiendo a los programas WBS, convirtiendo las descomposiciones de los sistemas y subsistemas del buque en una estructura jerárquica permitiendo:

- Separar un material de defensa en sus componentes haciendo la relación entre sus partes claras, evidenciando sus tareas.
- Facilita la asignación de tareas y responsabilidades en la administración.
- Ayuda al control del estatus de los esfuerzos de ingeniería, ubicación de los recursos, estimación de costos, avance de presupuesto y rendimiento técnico.
- Ayuda a que el contratista tenga claridad en el alcance de su trabajo.
- De acuerdo al Departamento de Defensa norteamericano, el buque se debe disgregar de la siguiente manera.

Estructura del casco.

El ensamblado del cuerpo principal de casco con todas las subdivisiones estructurales, incluyendo, por ejemplo:

- Planchaje del casco, refuerzos transversales y longitudinales, plataformas y cubiertas, superestructura, bases de maquinaria o equipos, mamparos, etc.
- Uniones y soldadura, lastre fijo, escotillas y compuertas, plumas de carga, mástiles, plataformas de servicio y domos de sonares.
- Pruebas de compartimientos.

Planta Propulsora

Entiéndase por la mayoría de los componentes instalados principalmente para la propulsión y los sistemas instalados para hacer a estos componentes operables, por ejemplo:

- Calderas y convertidores de energía, unidades de propulsión, condensadores principales y eyectores de aire, ejes, descansos, hélices, sistemas de forzados de aire para combustión, sistema de control de propulsión, agua de alimentación, agua de circulación y enfriamiento, sistemas de combustible y aceite de servicio.
- Generadores nucleares de vapor, reactores, enfriador de reactor y sistemas auxiliares, control de la planta de poder nuclear y celdas de control de radiación.

Planta Eléctrica

Los Sistemas de generación y distribución de poder eléctrico, considerando aquellos que formen parte del poder principal, secundario y de emergencia, por ejemplo:

- Generación de poder eléctrico, tableros de distribución de poder, sistemas de distribución de poder, y sistemas de iluminación.

Comando y Vigilancia

- El equipo sea Hardware o Software y sistemas asociados para recibir información de fuentes externas al buque, transmisiones externas al

buque propio, y distribución de información a través del buque, por ejemplo:

- Sensores y sistemas de datos requeridos para la navegación y el sistema de control de tiro.
- Equipos de navegación, equipos y sistemas de comunicaciones internas, sistema de control de armas, sistema de contramedidas no electrónicas, sistema de contramedidas electrónicas, sistemas de control de disparo de misiles, sistemas de control de armas y torpedos antisubmarinos, sistemas de radar, sistemas de comunicaciones de radio, sistemas electrónicos de navegación, sistemas de sonar, sistemas de tácticos de datos y software asociados.

Sistemas Auxiliares

Los sistemas requeridos para control del buque, seguridad, reaprovisionamiento y habitabilidad, por ejemplo:

- La maquinaria auxiliar y circuitos de abordaje, válvulas de fondo, sistema de gobierno.
- Calefacción, ventilaciones, aire acondicionado, espacios refrigerados.
- Plantas y equipamiento.
- Combustible, JP-1, circuitos de líquidos.
- Plomería, sistemas de agua salada de servicio, sistema de contraincendios, drenaje, lastre, trimado.
- Tanques de combustible, venteos, sistemas de almacenamiento y transferencia.

- Sistemas de agua dulce, sistema de aire comprimido, vapor auxiliar, sistemas de control de boyantes, planta de desalinización.
- Sistemas de amarre, remolque, fondeo y aseguramiento de aeronaves, maquinillas de cubierta, elevadores, escaleras móviles, bodegas y sistemas de elevación.

Acomodación y mobiliario

Los equipos de acomodación y mobiliario requeridos para alcanzar una debida habitabilidad y operatividad que no estén incluidos en otros sistemas, por ejemplo:

- Arreglos del casco.
- Botes, almacenamiento y manejo de botes.
- Mástiles y velas, escalas y escaleras, mamparos no estructurales y escotillas, pintura, lonas de cubierta, aislamiento de casco, bodegas, almacenes y casilleros.
- Equipos para espacios comunales, talleres, laboratorios, áreas de prueba, pasillos, cantina, lavandería, etc.
- Mobiliario para espacios de habitabilidad, oficinas, centros de control, áreas de máquinas, atención médica, dental y farmacéuticos,

Armamento

El armamento y manejo de munición, almacenamiento e infraestructura de soporte, carga de munición, por ejemplo:

- Cañones y montaje de cañones, sistemas de manejo y almacenamiento de munición.
- Lanzadores de misiles y cohetes, sistemas de manejo y almacenamiento.

Integración e Ingeniería

Los esfuerzos de ingeniería y material relacionado con el diseño, desarrollo y los trabajos necesarios para proveer al buque un complejo y completo conjunto de sistemas de ingeniería y programas de dirección, por ejemplo:

- Planos constructivos, cálculos de ingeniería, cálculo de pesos, fotografías, modelos, planos del astillero.

Ensamblaje del buque y Servicios Logísticos

Los esfuerzos y materiales asociados con la construcción que no puedan ser lógicamente identificados dentro de los grupos anteriores, por ejemplo:

- Acabado, andamios y apuntalamiento, servicios temporales, moldes, plantillas, accesorios y herramientas especiales de producción, dique seco, inspección, seguro, botadura y entrega.

El 10 de abril del 2007, el Departamento de Marina de los Estado Unidos de América, NAVSEA⁶ emite basado en el Military Handbook 881, el Expanded Ship Work Breakdown Structure (ESWBS) Hierarchica Structure Codes (HSC) for Ships, Ship Systems, and Surface Combat Systems, con la finalidad de revisar la política existente y procedimientos para:

⁶ NAVSEA, Comando de Naval Sea Comando System

- Proveer un método para integrar el diseño, configuración y logística a través de un código estándar del Desglose de Producto para portaviones, submarinos, buques de superficie y sistemas asociados.
- Requiere que se utilice el Código Jerárquico Estandarizado (HSC) para todos los nuevos diseños/nuevas construcciones.

Ship Work Breakdown Structure (SWBS).-

En el documento presentado anteriormente por la Armada de los Estados Unidos de América (SAWE, 2011) se ordena el uso de códigos numéricos para la designación de los elementos de un buque, de acuerdo al WBS, de esta manera se incorpora como organización vertical, organizando los sistemas y subsistemas por grupos definidos por su función básica, los segmentos funcionales de un buque, representados por la estructura del buque, sistemas, maquinaria, armamento, circuitos, etc, clasificándolos por un sistema de tres dígitos en grupos numéricos, los grupos funcionales son los siguientes:

| | |
|-----|--|
| 000 | Guía General y Administración |
| 100 | Estructura del Casco |
| 200 | Planta Propulsora |
| 300 | Planta Eléctrica |
| 400 | Comando y Vigilancia |
| 500 | Sistemas Auxiliares |
| 600 | Arreglos y Mobiliario de Habitabilidad |

| | |
|-----|--|
| 700 | Armamento |
| 800 | Integración e Ingeniería |
| 900 | Construcción y Sistemas de Soporte del Buque |

Subgrupos y elementos.-

Cada grupo mayor de SWBS (100, 200, 300, etc.) está dividido en subgrupos (110, 320, 450, etc.) que a su vez esta subdivididos en elementos (101, 112, 215, etc.), un ejemplo de esta estructura se ilustra a continuación:

| | | |
|------------|-----|--|
| (Grupo) | 100 | Estructura del Casco |
| (Elemento) | 101 | Distribución General |
| (Subgrupo) | 110 | Forro del Casco y Refuerzos Estructurales |
| (Elemento) | 111 | Forro del Casco, Casco de Presión, Submarino |
| (Elemento) | 112 | Forro del Casco, Casco inundable, Submarino |
| (Subgrupo) | 120 | Mamparos Estructurales del Casco |
| (Elemento) | 121 | Mamparos Estructurales Longitudinales |
| (Elemento) | 122 | Mamparos Estructurales Transversales |

CAPITULO III

INSPECCIÓN, ANÁLISIS, TRABAJOS DE COMPLETAMIENTO Y REFLOTAMIENTO DEL NARCOSUMERGIBLE.

3.1. Inspección y Análisis del Narcosumergible.

El día viernes 2 de julio de 2010 en un operativo coordinado entre el Cuerpo de Infantería de Marina y miembros de la Policía Nacional, en un ramal del Río Molina, sector La Loma, Cantón San Lorenzo, se encontró un vehículo con características de sumergible, construido de forma artesanal en el sector indicado.

Al realizar la inspección a la mencionada embarcación, se notó el alto grado de aplicación de Ingeniería Naval utilizado para su construcción, así como los acabados del casco de la embarcación y los materiales utilizados en su ensamblaje.

Por esta razón se considera de gran valor, que esta información sea discutida y compartida con la comunidad educativa de esta área de la ingeniería. Los resultados de la inspección serán presentados de acuerdo al Expanded Ship Work Breakdown Structure.

GRUPO 000 GUIA GENERAL

Subgrupo 010 Generalidades

Se ha determinado que este es el primer Narcosumergible autopropulsado con la capacidad completa de inmersión; se debe considerar que esta embarcación es construida en forma artesanal, debido al sitio de su construcción y por no estar autorizada por autoridad alguna, se podría indicar que fue diseñada y realizada con el fin de realizar transporte de sustancias ilícitas. El estado de construcción observado, indica que estaba próximo a terminarse, en vista que las máquinas y sistemas de propulsión, así como las plantas de generación eléctrica estaban emplazadas, sin embargo, no se encontró que los circuitos auxiliares de la maquinaria hayan sido conectadas, pese a que las maquinas pudieron haber sido probadas, debido a que se encontraron tanques de combustible en el interior del mismo, alimentando directamente la maquinaria.

Las formas del casco, la propulsión diesel-eléctrica encontrada, tanques de libre inundación, planos de control vertical, diseño del sistema de tanques de

combustible compensados con agua salada y la aplicación de la maquinaria de abordó indican un alto nivel en experticia en el manejo del trimado, diseño y operación de submarinos.

La embarcación fue encontrada en un ramal del Río Molina, Sector La Loma en coordenadas Latitud: 01°20'36''N, Longitud: 078°48'09''W, Cantón San Lorenzo, Provincia de Esmeraldas. La zona se caracteriza por ser un área de manglar de gran altura, de difícil acceso, con estrechos esteros y declives de nivel que secan en bajamar, lo que dificulta que pueda ser visible desde el aire. El manglar es muy tupido lo que impide que la embarcación sea avistada desde el canal principal.

La locación donde se encuentra varada la embarcación es aproximadamente sesenta metros dentro de un brazo de estero paralelo al canal principal, área que se inunda con la pleamar. Al final de este estero hay una zona de tierra firme, seca, que permitió emplazar en el lugar un astillero con los requerimientos mínimos para la construcción de la embarcación en sitio.

Desde la posición de la embarcación hasta el muelle del Batallón de Infantería de Marina San Lorenzo, existen aproximadamente 10 Millas Náuticas.

La profundidad del canal principal del Río Molina, Cantón San Lorenzo, en bajamar su promedio es 4 metros, siendo la mínima en ciertos puntos de 2 metros; en pleamar su promedio es de 7 metros. El ramal donde se encuentra

varada la embarcación tiene una profundidad máxima de 3 metros en pleamar, en bajamar la embarcación está asentada.

El playón en el área circundante a la Base Naval de San Lorenzo se caracteriza por tener una profundidad constante en pleamar de aproximadamente 1,7 metros, desde la línea de costa hasta unos 250 metros, la misma que en bajamar queda totalmente descubierta.

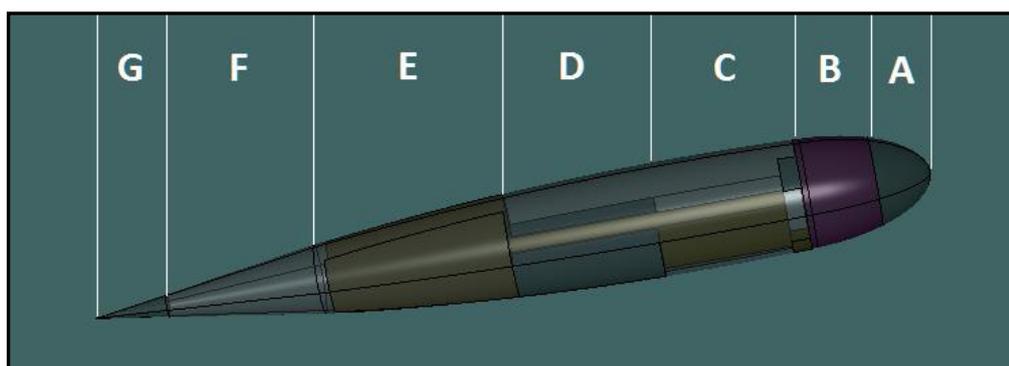
Subgrupo 020 Características Principales

| Narcosumergible | |
|--|--|
| Eslora | 23,0 m. |
| Manga | 3,5 m. |
| Puntal | 3,5 m. |
| Puntal sobre la vela | 5,5 m. |
| Altura desde quilla hasta periscopios | 7,7 m |
| Propulsión Principal | Eléctrica (02 bancos de baterías + 02 moto-propulsores eléctricos) |
| Propulsión Secundaria | Motores combustión interna (02 máquinas – 40 a 80 HP) |
| Planta Eléctrica | 02 Generadores |
| Hélices | 02 hélices de 04 aspas con toberas |
| Timones | 02 palas de control horizontal en popa |
| Planos | 02 planos de control vertical en popa 02 planos de control vertical en proa |
| Dotación Estimada | Entre 6 a 8 hombres |
| Capacidad de Bodega de Carga | 14,00 m ³ . |
| Capacidad de almacenamiento de combustible | 3.860 Galones. |

| | |
|-----------------------|------------------------------------|
| Velocidad máxima | 6 - 7 nudos. Ver pág. 40 |
| Velocidad operacional | 3 – 5 nudos. Ver pág. 40 |
| Autonomía | 3.840 Millas náuticas. Ver pág. 40 |
| Desplazamiento | 110 Toneladas. Ver Anexo “C” |

Subgrupo 030 Compartimentaje y Distribución General

El sumergible cuenta con siete compartimentos. Para un rápido entendimiento se los designará alfabéticamente de proa a popa. Desde el compartimiento B hasta el F corresponden al casco de presión y no existen compartimentos estancos en su interior.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.1. Compartimentaje del Narcosumergible.

Compartimiento A y G.- corresponden a dos tanques de libre inundación, utilizados para incrementar el desplazamiento de la embarcación y poder realizar la inmersión de la embarcación, así como controlar el trimado de la misma.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.2. Compartimiento A, Tanque de libre inundación de proa



Fuente: Arias, I.

Figura 3.3. Compartimiento G, Tanque de libre inundación popa

Compartimiento B.- este espacio es utilizado para almacenaje de sustancias ilícitas, considerando un volumen de 28 m³ y manteniendo el trimado del sumergible se podría almacenar hasta 20 m³ de estupefaciente, que si analizamos el Clorohidrato de cocaína, corresponde a:

$$\delta_{\text{clorohidrato de cocaína}} = 1 \text{ ton} / \text{m}^3$$

$$\text{Peso de } 12 \text{ m}^3_{\text{clorohidrato de cocaína}} = 12 \text{ ton}$$

Este compartimiento no es estanco, pero cuenta con una pequeña tapa registro de plywood marino que puede ser asegurada con tornillos, con la finalidad de lograr estanqueidad.

Como parte de los sistemas del sumergible en este compartimiento se encuentra el sistema hidráulico de los planos de proa y por la cubierta superior cruzan, la línea de evacuación de aire del tanque de libre inundación de proa y la línea de aire de presión para soplar lastre del mismo tanque.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.4. Compartimiento B, Bodega de almacenamiento.

Compartimiento C.- en esta ubicación se encuentra el área de habitabilidad de la dotación del sumergible, probablemente entre 5 o 6 hombres, cuenta con espacio físico para la instalación de dos o tres coys, existe una ducha, un lavamanos y una batería sanitaria, con un pequeño tanque de agua dulce. Las aguas grises de la ducha y lavamanos caen directamente a la sentina donde pueden ser achicadas por una bomba. Mientras que las aguas negras se depositan en un tanque séptico que puede ser evacuado con una bomba de achique instalada para el efecto.

Adicionalmente, todo el espacio disponible bajo la cubierta del pasillo principal está ocupada por celdas de energía (baterías), utilizadas para la propulsión eléctrica del sumergible, así como el resto de los espacios bajo la cubierta del pasillo en los compartimientos D y E.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.5. Compartimiento C, Área de habitabilidad.

Compartimiento D. el cuarto compartimiento corresponde al puente de gobierno. En el podemos encontrar, los timones de gobierno de la pala, los planos de proa y los planos de popa. Como equipos de navegación tiene un compás magnético, un equipo de GPS y sonar, el cual posiblemente era utilizado para detectar embarcaciones aproximándose por proa y/o popa. En el puente de gobierno existe una ventanilla para navegación visual con el sumergible en superficie.

Encontramos además, los equipos inversores de voltaje utilizados para transformar el voltaje de corriente continua a corriente alterna utilizado en algunos equipos de abordo, tableros eléctricos principales, variadores de frecuencia para los motopropulsores, aire acondicionado navalizado, uno de

los banco de aire comprimido, en la parte inferior a cada banda se encuentran tanques de lastre, convirtiéndose este compartimiento en el corazón del sumergible.

Sobre el compartimiento D, se encuentra ubicada la vela del sumergible, la cual no constituye parte del casco de presión, utilizada, en su parte alta para la instalación de una cámara de video, así como la base para los periscopios que sirven para ingreso de aire y descarga de gases de la maquinaria. Por medio de estos ductos se ventila la atmósfera del sumergible.

Compartimiento E.- este compartimiento está compuesto por un pasillo de tránsito desde el puente de gobierno hacia la sala de máquinas, hacia las bandas se encuentran los tanques compensados de combustible diesel. Bajo la cubierta del pasillo se encuentran instaladas baterías para el sistema de propulsión de la embarcación.

Compartimiento F.- esta es la sala de máquinas, la que se encuentra aislada acústicamente con una escotilla que no se puede considerar estanca, podría disminuir el ruido de la maquinaria en funcionamiento. Se encuentran instalados dos máquinas principales, dos moto-propulsores eléctricos, dos generadores para cargar las baterías, electro-compresor de aire de baja presión para llenar bancos de botellas de aire comprimido, separadores de combustible-agua, bomba de achique, bombas auxiliares, etc. El aire que utiliza la maquinaria de combustión interna ingresa por un circuito que recorre

desde la parte superior del snorkel⁷ sobre el puente del sumergible hasta la popa. Mientras que la descarga de gases pasa primero por sendos silenciadores, luego de lo cual circula por tuberías hasta la vela del sumergible descargando por un tubo de descarga de gases.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.6. Compartimiento F, Sala de máquinas.

GRUPO 100 CASCO Y ESTRUCTURAS

La condición general de construcción en lo que respecta a casco y compartimentaje se encuentra terminada en un 95 %.

La embarcación cuenta con un casco único en forma semicilíndrica, el cual tiene una división a proa para una bodega de carga, con una escotilla o tapa registro. En el interior del casco existen tanques de combustible, compensación y agua de bebida.

⁷ Ducto de ingreso de aire para maquinaria y habitabilidad en un sumergible.

Se puede observar que el casco de la embarcación está compuesta por una construcción de materiales compuestos, en que se distinguen varias capas de Fibra de vidrio (Woven Roben), mallas de fibra de carbono y mallas de Kevlar/carbono (Mejía, 2010). Mientras que en otros puntos del casco podemos encontrar otro tipo de fibra de vidrio (Mat). El espesor mayoritario del casco es de fibra de vidrio, mientras que la fibra de carbono podría proveer mayor resistencia y la fibra de kevlar mayor durabilidad o resistencia al impacto o cargas puntuales (Plastiquímica, 2012).

Subgrupo 111 Casco de Presión

El casco y la estructura de la embarcación están contruidos de Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), con un espesor de 1" (25,4 mm). La embarcación tiene 23,00 metros de eslora total y cuenta con líneas de forma propias de un submarino de alto rendimiento.

El casco de presión está compuesto por el cuerpo del sumergible que corresponde a los compartimientos B, C, D, E y F, quiere decir el interior del mismo, como se anotó anteriormente, este no cuenta con compartimentaje estanco, sin embargo, se intenta aislar el ruido y calor de las maquinas con una compuerta y con una tapa de madera aglomerada se cierra la bodega de carga.

Cuenta con una escotilla de aluminio que le provee la estanqueidad para proceder a la inmersión, escotilla que no estaba instalada en el momento de la inspección inicial.

Subgrupo 112 Casco Exterior

El casco exterior está compuesto por todo el casco visible del sumergible y cabe en este punto indicar que los compartimentos de libre inundación que no soportan cargas hidrostáticas son los tanques de proa y popa y el interior del compartimento de la vela.

Subgrupo 114 Apéndices

La embarcación tiene distribuidos sobre su cubierta varios apéndices los cuales podemos describir de la siguiente forma:

Evacuaciones de Tanques de Lastre: 2 ductos de 2" de PVC, uno a proa y uno a popa, que sirven para evacuar el aire de los tanques de lastre durante su inundación, controlados por una válvula (Evacuación) en el interior.

Escotillas: 1 abertura en la cubierta principal, cuya base es de aluminio y sirve para el ingreso al interior del mismo.

Tomas de Combustible: 2 tubos de 2", por las que se presume se carga el combustible a los tanques de almacenamiento.

Cámara de Televisión: 1 cámara de televisión adicional sobre la línea de crujía de la cubierta en proa.

Tomas de succión y descarga de agua de mar: A lo largo del casco existen varias tomas de succión y descarga de agua de mar, para diferentes componentes y equipos.

Adicionalmente como apéndices podemos citar a todos los elementos utilizados para la navegación e inmersión, como, palas verticales, planos horizontales de proa y popa y dos hélices con toberas.

Subgrupo 117 Refuerzos Transversales

Estructuralmente se pudo determinar que es una embarcación reforzada transversalmente (cuadernas), con separación entre refuerzos de 50 cm, con 5 cm de ancho y 10 cm de alma.

Subgrupo 123 Accesos

El sumergible cuenta con un solo acceso el cual se vuelve estanco con una escotilla fundida en aluminio, con un excelente sistema de cierre mecánico y estanqueidad por frisos o empaques.

Subgrupo 171 Vela del Sumergible

La vela del sumergible es una estructura construida en PRFV la que recubre al molde de la misma que se lo ha realizado en madera aglomerada. El espacio formado por la vela no tiene acceso, no es estanco.

Por su interior pasan los cables de los equipos electrónicos, y en su exterior se encuentran emplazados una antena de radio VHF, un periscopio electro-óptico, una cámara de video, un tubo de descarga de gases de máquinas y un

tubo (snorkel) de ingreso de aire para la combustión y habitabilidad de la dotación.

GRUPO 200 SISTEMA PROPULSOR

Durante la inspección se determinó que el sumergible cuenta con un sistema que puede propulsar la embarcación en dos configuraciones: la primera sería la diésel eléctrica por medio de 249 baterías y la segunda o secundaria por medio de dos máquinas diésel, siendo utilizadas la primera en inmersión y la otra en superficie.

En el presente grupo de subdivisión del sumergible se pretende describir los sistemas utilizados para propulsar la embarcación.

Subgrupo 223 Baterías de Propulsión Principal

Se han logrado contar 249 baterías, identificando dos tipos de ellas, las cuales forman dos bancos de energía aparentemente independiente. Las baterías son de construcción de la Cía. EMERSON Network Power: el primer grupo son del modelo T2V2000/A (120 und.) con un peso de 145 Kg. Cada una y el segundo grupo son del modelo T2V1600/A (129) con un peso de 110 Kg. (Emerson Batery, 2010).

Del estudio de las mismas se ha podido identificar que son baterías de alto rendimiento generan 2 VDC, 1600 A.H. y 2000 A.H. Son utilizadas

normalmente para sistemas de emergencia de energía, poseen alta confiabilidad, son heavy duty⁸ y han sido diseñadas para el uso ininterrumpido.



**Acumuladores de energía
(baterías)**



Conexión de las baterías.

Fuente: Arias, I.

Figura 3.7. Acumuladores de energía.

Las baterías se encuentran ubicadas en la línea de crujía del sumergible, en la parte inferior del mismo, recorren las dos terceras partes del mismo desde el compartimento de habitabilidad hasta el pasillo de tanques de combustible, directamente sobre ellas se encuentra el enjaretado que forma el pasillo central. Hacia proa se ha determinado que se encuentran las 129 baterías de 1600 AH. Y hacia popa las baterías de 2000 AH. Proveen un excelente lastre para conservar la estabilidad transversal.

Subgrupo 233 Máquinas de Propulsión de Combustión Interna

Uno de los sistemas de propulsión del buque es la conexión que existe entre las máquinas de combustión interna, pasando por una pequeña caja reductora

⁸ Término utilizado para indicar que fueron diseñadas para condiciones extremas.

la que conecta a un acople elastomérico tipo Omega, luego de lo cual se conecta directamente al eje y hélice.

La energía rotativa es provista por dos motores diésel localizados en el último compartimiento del interior del sumergible, la sala de máquinas, los cuales se encuentran montados en una base sobre los motores eléctricos de propulsión.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.8. Maquinaria de propulsión diésel.

Estas máquinas son de cuatro cilindros en línea, de la búsqueda realizada y asumiendo su procedencia china, las podemos correlacionar por las características físicas encontradas como una máquina diésel marina de la serie 4100ZC (Alibaba, 2013), es una máquina de 4 cilindros en línea, cuatro tiempos, con rangos de potencia entre 35 a 60 HP, es enfriada por agua de mar por medio de bombas eléctricas que funcionan en la sala de máquinas.

De acuerdo al cálculo de predicción de potencia del Anexo "A". Podemos decir que con una potencia de 60 SHP que entregue cada máquina y disminuyendo

un 10% por pérdidas por eficiencia y apéndices, se estima que el sumergible puede dar a velocidad máxima entre 6 y 7 nudos.

De acuerdo a la información obtenida para este tipo de máquinas se encontró que tienen un consumo por hora de 258 gr/HP.h. (3.5 Glns/hora) (Weifang U-Power, 2013), lo que significa que si navega solo la mitad del día con máquinas (6 nudos) y la otra mitad del día con baterías (4 nudos), puede alcanzar una autonomía de 3.840 Mn.

Subgrupo 235 Propulsión Eléctrica

Como se había indicado anteriormente, el sistema de propulsión principal del narcosumergible es de tipo diésel eléctrico, por esta razón cuenta con dos generadores diésel marca Cummins de seis cilindros en línea los cuales se encuentran acoplados a dos alternadores, marca Leroy, de diferentes características: uno de ellos genera a 1500 RPM, 400 VAC y 50 Hz, mientras que el segundo alternado genera a 1800 RPM, 440 VAC y 60 Hz. Se estima que existen maquinarias auxiliares que funcionan a diferente frecuencia o algún requerimiento no identificado.

Los generadores marinos producen la energía requerida para la operación del sumergible, la cual pasa por los rectificadores de voltaje, a continuación se entrega la carga a los tableros de Corriente Directa, para pasar a cargar las baterías, esta energía es controlada por medio de un variador de frecuencia que permite controlar la velocidad de propulsión generada en los motores

eléctricos de propulsión (aproximadamente 40 Hp), en este punto existe la unión entre el sistema de diésel eléctrico con el diésel mecánico, puesto que la energía rotativa es entregada al mismo eje de propulsión de las maquinas diésel por medio de una correa, donde se estima existirá una buena pérdida de energía en vista de que el reductor del motor de combustión interna se moverá sin poder desconectarlo. Así llega la energía hasta los ejes y hélices. El diagrama eléctrico del sistema de propulsión podemos revisarlo en el Anexo "B".

En lo referente a la operación del sumergible con su sistema de propulsión a batería se puede decir que, se deben tener en cuenta dos consideraciones, siendo la primera el hecho de que las baterías tienen un tiempo de descarga de acuerdo al consumo que se les requiera y por ende el tiempo de carga es cuando debe navegar en superficie o por lo menos en profundidad de periscopio o snorkel. Siendo este el momento más vulnerable para la localización del mismo. Y por otra parte se debe considerar que existe un tiempo límite que el sumergible puede permanecer en inmersión porque la atmósfera se carga de hidrógeno volviéndose peligrosa o de gases que dificultan la respiración del personal.

Navegación eléctrica

De acuerdo a W. Peukert, (1897), existe una fórmula para determinar el tiempo de descarga de una batería, es así que siendo:

t = tiempo de descarga de una batería (H).

H= tiempo de descarga de diseño de la batería (H).

I = corriente que entregará la batería (A).

C= corriente que produce la batería (AH).

K= coeficiente Peukert (dependiente del tipo de batería).

Entonces, considerando que se cuenta con baterías de 1.600 AH y de 2.000 AH, así como, los moto-propulsores de aproximadamente 40 Kw, requieren amperajes de entre 180A y 200 A, tenemos que:

$$t = \frac{H}{\left(\frac{I \cdot H}{C}\right)^k} = 7,5 \text{ Horas y } 10 \text{ Horas}$$

Por lo que el tiempo de descarga será de 7,5 y 10 horas a máxima velocidad, por otra parte se estima que durante inmersión también se utilizará las baterías para entregar energía a otros sistemas como los de navegación, auxiliares, etc.

Esto permite determinar que como el sumergible pretendería navegar en inmersión durante todo el día, las velocidades de navegación serán muy bajas. Por otra parte, la carga de baterías y su utilización generan alta cantidad de gas de hidrógeno, que sería mortal para el personal, por lo que se estima, que mientras carga baterías el sumergible solo podría navegar a profundidad de periscopio o en superficie. Quedando la inmersión total limitada a muy breves espacios de tiempo y solo para mantener el sigilo. Puesto que sin ventilación forzada en pocos minutos las atmósfera del interior se vuelve tóxica (Norwatt, 2010), donde en una hora se producirá 180 m³ de hidrógeno (durante la carga de baterías) y si el volumen de aire del sumergible es de 50 m³, y el máximo

porcentaje de hidrógeno posible es del 4%, entonces significa que la embarcación no puede estar en ningún momento sin ventilación forzada.

$$\text{Volumen de hidrógeno (m}^3\text{)} = \# \text{ baterías} * \text{Amperaje} * 0.00042$$

$$\text{Volumen de hidrógeno} = 249 * 1.800 * 0,00042 = 1.880 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \right)$$

Subgrupo 238 Propulsión Secundaria

Por ser considerada un sumergible, esta embarcación siempre tratará al sistema de propulsión diésel eléctrico como principal.

Por otra parte ya se ha explicado el funcionamiento del sistema diésel mecánico, quedando abierta la posibilidad de que exista la forma de propulsarlo por medio de una conexión directa entre el generador y el motor de propulsión, debiendo verificarse únicamente la existencia de un transformador de 440VAC a 220VAC que sería requerido para todos los servicios de la embarcación.

Subgrupo 243 Ejes Propulsores

El sumergible cuenta con dos ejes de aproximadamente 3 metros de largo, los cuales cuentan con un túnel que sale desde la popa de la sala de máquinas hasta la popa del mismo, en sala de máquinas se puede observar el sistema de estanqueidad por medio de un sello mecánico y el eje sería enfriado por agua.



Fuente: Arias, I.
Figura 3.9. Sello del eje de cola.

Subgrupo 245 Hélices

Cuenta con dos hélices de cuatro palas de paso fijo.



Fuente: Arias, I.
Figura 3.10. Hélices y toberas.

Subgrupo 246 Toberas

Las hélices se encuentran insertas dentro de sendas toberas, aplicadas con la intención de incrementar la eficiencia propulsiva del sumergible y también proteger las hélices.

Subgrupo 252 Sistema de Control de Propulsión

El motor eléctrico de propulsión está controlado por medio de un VLT Automation Drive, el cual es un variador de frecuencia, el que recibe la energía directamente de las baterías y alimenta los motores eléctricos de propulsión



Fuente: Arias, I.

Figura 3.11. Variador de frecuencia.

Subgrupo 261 Tanques de Combustible y Purificadores

El compartimiento E, es el compartimiento donde se encuentran los tanques de combustible, en el pasillo central encontramos a cada banda siete válvulas tipo Kingston, las cuales son típicamente usadas en la parte inferior de los submarinos para llenar o purgar los tanques de lastre y/o combustible, de esta forma se determina que los tanques de combustible son compensados con agua de mar.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.12. Válvula kingston.

También en el mismo sector se puede observar las mirillas de control de niveles.

Debido a que el combustible es almacenado en los tanques junto con agua de mar, en la sala de máquinas encontramos dos purificadores o separadores de combustible.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.13. Separador de combustible.

GRUPO 300 PLANTA ELECTRICA

Subgrupo 302 Motores y Equipos Asociados

La condición general de instalación es aproximadamente de 75 %.

Motores

Los motores eléctricos que son utilizados para accionar toda la maquinaria auxiliar, así como, los equipos de climatización, circulación de aire, etc. Se ha podido determinar que son de 115 VAC, razón por la cual este tipo de tableros y los tableros de corriente directa serán utilizados para la distribución de la carga utilizada por las baterías.

Tableros de Distribución AC 125:

Dos tableros para distribución alterna instalados en la sala de control, ubicados uno a cada banda de la unidad, con sus respectivos sensores de corriente y voltaje, compuestos por: barras de distribución trifásica, aisladores eléctricos tipo cerámica, breakers principales sin marca, breakers secundarios para sistemas auxiliares y cableado eléctrico industrial.

Tableros de Distribución DC 220:

Dos tableros para distribución de corriente continua, instalados uno a cada banda de la unidad y a continuación de los tableros de corriente alterna, con sus respectivos sensores de corriente y voltaje, compuesto por: fusibles Interruptores de 800 amperios, barras de distribución monofásica, aisladores eléctricos tipo cerámica, breakers secundarios para sistemas auxiliares y cableado eléctrico industrial.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.14. Tableros eléctricos.

Control de Variación de Frecuencia:

1 Variador de Velocidad Inteligente con la siguiente información:

VLT Automation Drive, marca DANFOSS, 24 Voltios DC y red de corriente alterna, para el control de la velocidad de los Motor Eléctrico de Propulsión.

Subgrupo 304 Cableado

El cableado encontrado es de características de no navalizados⁹, sin embargo, se puede notar que se usa los espesores adecuadas para cada condición de potencia.

Subgrupo 311 Generación de Poder Eléctrico, Tableros y Transformadores

Se requiere dentro de la configuración del sumergible el uso de voltajes de corriente directa de 24 VDC, 110 VAC y 220 VAC, considerando de que las baterías generan 220 VDC y los generadores 440 VAC, es necesario una gama de transformadores para proveer energía a la maquinaria principal y auxiliar.

Subgrupo 314 Equipos de Conversión de Poder

Inversores Electrónicos (Convertidores de Corriente DC- AC): Seis unidades distribuidas tres a cada banda de la embarcación, los cuales sirven para suministrar distintos valores de corriente alterna a los consumidores de la red de abordó.

También cuenta con rectificadores de voltaje (AC – DC)

⁹ Navalizados es un término utilizado para indicar que cumplen estándares para soportar el medio marino.

Subgrupo 331 Distribución de Iluminación

Se encuentran instaladas 06 fluorescentes de 8w, con fuente de voltaje continuo, adicionalmente se encontraron 08 unidades sin instalar. También cuenta con iluminación fluorescente de corriente alterna.

GRUPO 400 COMANDO Y VIGILANCIA

Subgrupo 404 Radio Frecuencia

En la parte superior de la vela se encontró una antena de radio de tipo VHF, sin embargo, en el interior no se encontró emplazado el equipo, debe considerarse adicionalmente que este tipo de embarcaciones utilizan ampliamente dispositivos de comunicación de tipo satelital, los cuales son comercialmente distribuidos y de fácil adquisición.

Subgrupo 405 Antenas

Antena de VHF instalada sobre la vela, no se encontró equipo de comunicaciones en el interior.

Existe una antena tipo domo sobre la vela que corresponde al receptor del equipo de posicionamiento GPS¹⁰.

Subgrupo 421 Ayudas a la Navegación No Eléctricas

En el compartimiento D, al que se le ha denominado sala de control, está constituido por el puente de gobierno, lugar donde se encuentran los sistemas

¹⁰ GPS, Sistema de Posicionamiento Satelital.

de navegación, como ayudas a la navegación no eléctrica, se encontró un compás magnético, emplazado en la crujía del sumergible tras la claraboya de gobierno.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.15. Compás magnético.

Subgrupo 422 Ayudas a la Navegación Eléctricas

Esta embarcación está equipada con equipos de navegación, que le permitirían realizar navegación de ultramar y sobre todo en inmersión, así es como se han encontrado, un periscopio electro-óptico, cámara infrarroja, Un Sistema de navegación que recibe señales tanto del posicionador GPS, así como, del equipo de ecosonda.

Periscopio Electro-óptico

Se encontró un equipo de procedencia china, que era una cámara submarina CR-110-7(B) que está diseñada para realizar tareas de pesca deportiva. En este caso la cámara estaba ubicada en un mástil sobre la vela del sumergible y le permitiría navegar en inmersión a profundidad de periscopio (6.5 m.)



Tubo de base para periscopio.



Cámara electro-óptica de inmersión.

Fuente: Arias, I.

Figura 3.16. Sistema de Periscopio.

Cámara infrarroja

Sobre la vela del sumergible se ha identificado una cámara infrarroja la cual tiene la capacidad de realizar inmersión, y la cuál puede haber sido utilizada para navegar en las noches, en razón de que la embarcación no cuenta con radar.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.17. Cámara infrarroja.

Sistema de Navegación

Interiormente se pudo identificar un sistema combinado de sensores, identificado como HUMMINBIRD modelo 798c SI, el cuál recibe las señales de

la antena de GPS, que se encuentra en la vela, tras la cámara infrarroja y también recibe la señal de los transducer de los ecosondas, los cuales están ubicados en proa y dos en popa. Se estima que estos sensores utilizados en la configuración que se los instaló le podrían indicar la presencia de un obstáculo para la navegación.



Ecosonda de proa

Display combinador

Ecosonda de popa

Fuente: Arias, I.

Figura 3.18. Ayudas a la navegación electrónicas.

GRUPO 500 SISTEMAS AUXILIARES

Subgrupo 506 Sistema de Desahogo de Aire

Existe un solo sistema de extracción de aire el cual tiene dos ramificaciones: la primera es aquella que saca los gases de escape producidos por las máquinas de combustión interna y la segunda funciona como una extracción que retira el aire viciado de todos los compartimientos del sumergible. Este circuito se une en una extracción eléctrica forzada, la cual evacúa por medio de un tubo de extracción que sobresale 2 metros por sobre la vela, el mismo está fabricado en materiales compuestos de fibra de carbono se presume que para disminuir la firma electromagnética del tubo.

El blower cuenta con un sistema de válvulas que pueden ser cerradas para el momento de la inmersión.



Tubos de escape de gases



Extracción y válvulas de cierre.

Fuente: Arias, I.

Figura 3.19. Sistema de extracción de aire y gases.

Subgrupo 512 Sistema de Ventilación

El sistema de ventilación forzada inicia en el snorkel, el cual es un tubo de fibra de vidrio que sobresale 2 metros a la vela de la embarcación, tiene un motor (blower) con juego de válvulas que permite que las mismas sean cerradas cuando se pasa a inmersión.

Está dividido también en dos ramales, siendo el primero el de entregar aire para la combustión de las máquinas y generadores y la segunda función es la de entregar aire fresco al interior del sumergible, puesto que el espacio interior estará siempre inundado de monóxido de carbono (combustión de la maquinaria), dióxido de carbono (proceso de respiración humana), hidrógeno (electrólisis de las baterías), metano (aguas negras), etc.



Ductos de aire de máquinas

Ventilaciones del sumergible

Fuente: Arias, I.

Figura 3.20. Sistema de ventilación.

Subgrupo 514 Sistema de Acondicionador de Aire

La embarcación cuenta con un equipo acondicionador de aire, cuyo condensador funciona con un intercambiador de calor enfriado por agua salada, para lo cual utiliza una bomba de circulación de agua de 115 VAC.

Se estima que el uso del aire acondicionado es necesario, en función de la alta temperatura producida por la transformación de energía de las baterías.

Cabe mencionar que en el manual del fabricante de las baterías indica la importancia de contar con una excelente ventilación.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.21. Acondicionador de aire.

Subgrupo 515 Sistema de Purificación de Aire

No cuenta con un sistema purificador de aire, anteriormente se citó, el contenido de la atmósfera al interior del sumergible, por esta razón, esta condición mermará considerablemente el tiempo de permanencia en inmersión.

Por la cantidad y el tipo de las baterías, las mismas producen grandes cantidades de hidrógeno, por lo que la inmersión total, sin uso de la ventilación forzada, será limitada a pocos minutos.

Subgrupo 528 Sistema de Achique

De la inspección realizada se pudo observar que existe una sola bomba de achique que tiene la capacidad de evacuar líquidos, por medio de un sistema de control, con una especie de manifold de válvulas, tanto del sistema de aguas negras como de dos succiones de aguas de sentinas en el sumergible, una en proa y otra en popa.

Subgrupo 529 Sistema de Lastre

Cuenta con dos tipos de lastre: el lastre sólido y lastre líquido. Siendo el lastre sólido el peso de las 249 baterías, que representan 120*145 Kg. Y 129*110 Kg. Lo que representa 31,6 toneladas métricas de lastre. Mientras que el lastre líquido está compuesto por 18 tanques de lastre. Los dos más grandes se encuentran en popa y proa, a los que les hemos llamado compartimientos A y G, estos por sus características son tanques de libre inundación, los cuales se controlan su nivel de agua con el suministro de las botellas de aire comprimido

con que cuenta la embarcación, metiendo aire a los tanques para evacuar peso y abriendo las válvulas de soplado en el interior del sumergible para que ingrese agua. Con estos se logra que cambie su condición de superficie a inmersión. Sumado el volumen de estos dos tanques aproximadamente llegan a los 7 metros cúbicos, debe considerarse que los submarinos no se sumergen por incremento de pesos, sino por cambio de volumen¹¹ del mismo.



Sistema de soplado lastre.



Válvula de evacuación lastre

Fuente: Arias, I.

Figura 3.22. Sistema de evacuación y soplado de lastre.

Por otra parte existen 16 tanques laterales ubicados a la altura del compartimento de control, ubicados en la parte inferior ocho a cada banda, los mismos son controlados por medio del circuito de aire comprimido.

Es importante mencionar que para poder sumergirse debe tener los tanques de combustible siempre llenos.

Subgrupo 533 Sistema de Agua Potable

No se encontró ningún tipo de sistema de agua de bebida, se estima que se la lleva en pomas de agua.

¹¹ Concepto manejado por los submarinistas alrededor del mundo.

Subgrupo 541 Sistema de Tanques de Combustible

La embarcación cuenta con gran espacio de almacenamiento de combustible, de la inspección se puede indicar que tiene aproximadamente 4.000 galones de capacidad para transporte de diésel, con seis tanques a cada banda.

Ocupan el compartimiento E y cada tanque cuenta con una mirilla de control de nivel y válvulas Kingston de control. La toma de combustible se encuentra en el exterior en la parte superior.

Como indicábamos anteriormente el peso de estos tanques es vital para la inmersión del sumergible, por esta razón, existe la posibilidad de que los mismos deban ser completados una vez que cada uno se vacíe o en su defecto existe la posibilidad de que los mismos sean compensados directamente con agua salada, esta posibilidad nace del hecho de que se encontró en la sala de máquinas separadores de agua salada y combustible.

Subgrupo 551 Sistema de Aire Comprimido

El sistema de aire comprimido está compuesto por un circuito, el cual es recargado por de un compresor de baja presión, el cual carga dos bancos de aire ubicado uno en el área de habitabilidad y el segundo ubicado a bajo el puente de gobierno.

Estos bancos de aire de baja presión, son utilizados con la finalidad de soplar el agua de los tanques de libre inundación, tanque los de popa y proa así

como los laterales, utilizados para salir a superficie, también se estima que le permiten corregir su trimado en función de controlar el nivel de pesos de la embarcación. El circuito de aire comprimido está construido en tubería de $\frac{1}{4}$ " y sus materiales son domésticos.



Compresor de aire



**Circuito de aire
comprimido**



**Botellas acumuladores
de aire**

Fuente: Arias, I.

Figura 3.23. Sistema de aire comprimido.

Subgrupo 561 Sistema de Gobierno e Inmersión

El sumergible cuenta con dos palas que le permiten mantener un rumbo en el sentido horizontal, las cuales se encuentran en la popa de la embarcación, una en la parte superior del espejo y una en la parte inferior (la cual se encontraba desmontada por el asentamiento). El sistema es controlado por medio de un sistema mecánico hidráulico, encontrándose en el puente de gobierno su timón y los actuadores hidráulicos se encontraban en el interior del tanque de libre inundación de popa.



Bomba mecánica hidráulica de gobierno.



Planos y pala de gobierno.

Fuente: Arias, I.

Figura 3.24. Sistema de gobierno e inmersión.

En lo referente al sistema de inmersión podemos indicar que el submarino se sumerge por cambio de desplazamiento de su casco y se produce esto en función de que se permita ingresar agua a los tanques de libre inundación. Una vez en inmersión, cuenta con dos planos horizontales en la proa y dos planos horizontales en la popa, activados por medios de dos sistemas mecánicos hidráulicos, son construidos bajo el mismo principio que el sistema de gobierno, y los cuales le permiten navegar en inmersión. Este tipo de sistemas es operado únicamente por personal altamente entrenado en la operación de submarinos.

GRUPO 600 HABITABILIDAD Y ARREGLOS GENERALES

Subgrupo 640 Habitabilidad

El único espacio que podría ser considerado para uso de habitabilidad es el compartimiento C, en el cual, bajo la estiba en la crujía y en ambas bandas se

encuentran las baterías de navegación, sin embargo, sobre ellas se podría emplazar dos o tres coys¹².

Por el grado de complejidad en la operación del sumergible, sumado a las bajas velocidades que provocarán largas permanencias en la mar, se considera que la dotación del mismo no podrá ser menor de 5 o 6 tripulantes.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.25. Área de habitabilidad y espacios sanitarios.

Subgrupo 644 Espacios Sanitarios

La embarcación cuenta con un área para espacios sanitarios, ubicada en el compartimento de habitabilidad, se pudo notar que en la parte superior cuenta con un tanque de agua salada, del que sale una línea de agua para la ducha, un lavabo y un inodoro, estas aguas negras y grises son recolectadas en un tanque séptico que es achicado por medio de la bomba de achique del agua de sentinas.

¹² Armazón que permite colocar un colchón y es fácilmente transportable.

Subgrupo 673 Bodega de Carga

El segundo compartimento de proa a popa es el compartimiento de carga, Compartimiento B, el cual corresponde a todo el espacio comprendido del cilindro truncado, tiene un volumen aproximado de 14 m³, por el cruzan las líneas de soplado y evacuación del tanque de libre inundación de proa, y el sistema hidráulico de los planos de inmersión de proa.

Se considera que por lo menos el 80% de su volumen puede ser llenado con sustancias ilícitas. Generando solo en un viaje altos réditos económicos, razón por la cual, muchas de estas embarcaciones tienen la calidad de no reutilizable.

Adicionalmente, dentro de él pudimos encontrar 10 chanchas de plomo¹³, presumiblemente utilizados para afinar el punto cero¹⁴.



Fuente: Arias, I.

Figura 3.26. Sistema de gobierno e inmersión.

¹³ Pesos utilizados para corrección de trimado.

¹⁴ Término utilizado para indicar que no existen diferencias entre calado de popa y proa en un sumergible.

3.2. Trabajos de Completamiento del Sumergible.

Una vez analizado los sistemas de los que se encuentra compuesto el narco sumergible, se recibió la orden de trasladar en el menor tiempo posible a la embarcación, desde el lugar en que se encontraba ubicado hasta un puerto en que se le pudiese dar seguridad o escolta por parte de la fuerza pública.

Este traslado imponía al autor de este trabajo varios retos, considerando que el sumergible no flotaba y no se encontraba terminado, esto quiere decir que carecía de flotabilidad y estanqueidad. Por tal razón, los trabajos realizados en sitio, con la finalidad de acabar la construcción, por lo menos que le permita ser remolcado, se dividieron en los siguientes trabajos, Análisis de sistemas, estanqueidad y equipamiento de remolque.

Análisis de los sistemas, es el trabajo presentado durante todo el punto 3.1. Puesto que se debía conocer todos los sistemas auxiliares, válvulas, tanques y demás componentes que permitieran que el sumergible flote y pueda ser remolcado con seguridad.

Estanqueidad, previo al remolque se debía comprobar que el sumergible sea estanco, puesto que contaba con varios ductos de ingreso y descarga de agua, en su mayoría de enfriamiento y achique, adicionalmente existen sellos de los ejes de propulsión y sellos de los barones de los sistemas de maniobrabilidad horizontal y vertical. Situación que se probó apenas la

embarcación empezó a flotar, teniendo que realizar varias correcciones a bridas, acoples y sobre todo al sello de los ejes de los planos de proa.

Previo a la inspección realizada, se habían retirado de la ubicación varios equipos que se encontraban fuera del sumergible, dentro de ellos, estaba la escotilla estanca de acceso. El mencionado dispositivo de cierre consta de dos cuerpos, el primero es una base que se adhiere al casco por medio de una serie de varillas axiales a la base y se recubrieron con fibra de vidrio para alcanzar la unión requerida. Y la segunda parte es la tapa que cuenta con un sistema mecánico de cierre que por medio de frisos o empaques tipo o-ring, proveen un sello estanco a la embarcación. La instalación de esta escotilla representó el trabajo de mayor importancia, puesto que la misma proveería la estanqueidad requerida para el traslado del sumergible.



Ingreso al sumergible sin escotilla



Vista nocturna de la escotilla

Fuente: Arias, I.

Figura 3.27. Escotilla de ingreso estanca.

Equipamiento de remolque, Considerando que se debía trasladar la embarcación, se debía proveer de un sistema de remolque, que permita mover a una embarcación de más de 100 toneladas de desplazamiento.

Sobre la cubierta del sumergible no existían, más que dos arganeos de sujeción sobre los cuales sería imposible aplicar fuerza.

Del análisis de la construcción del sumergible se puede determinar de que la misma fue realizada por estaciones, siendo el primer paso, la estación de construcción del casco, sobre una plataforma del astillero improvisado que contaba hasta con plumas hidráulicas como máquinas de apoyo, la segunda estación ya con el sumergible en el lodo y con limitada flotabilidad se le montaron la mayoría de equipos y una tercera posición, listo para salir era el área de acabado. Todo este movimiento se realizaba utilizando las mejores condiciones de marea (sizigia¹⁵) y dos arganeos de sujeción a cada banda que permitiría remolcar el sumergible.



Arganeo de remolque



**Posición inicial del sumergible y
astillero**

Fuente: Arias, I.

Figura 3.28. Arreglos de remolque y astillero.

¹⁵ Ubicación del sol y la luna, que producen las más altas amplitudes de mareas.

3.3. Reflotamiento y Traslado del Sumergible.

Una vez recuperada la estanqueidad de la embarcación, el siguiente paso era lograr que flote para poder iniciar la extracción desde la ubicación de aquel momento. Una vez que se hiciera la extracción desde el ramal del estero, se debía realizar el remolque, para esto se debía contar con información suficiente para poder efectuar un análisis de la potencia requerida para realizar el remolque, siendo que, el lugar donde se encontraba era de acceso únicamente para embarcaciones de aguas someras.

Cálculos Hidrostáticos, el reto planteado consistía en realizar maniobras con una embarcación de la cual se desconocía totalmente sus características, por ejemplo: cuando el nivel del agua superaba los 2,4 metros contados desde la quilla del sumergible, el mismo no flotaba. Lo que hacía considerar el relativamente alto su desplazamiento en relación a su eslora. También hacía notar que el calado del mismo dificultaría la navegación en los canales del área de la frontera ecuatoriana. De esta manera resultaba imperativo realizar los cálculos hidrostáticos principales que permitieran tener información básica, usando los datos como la eslora, manga, puntal, desplazamiento, calado, diferencia de calados. Puesto que existía la premura de retirar del sitio el sumergible, y se pensaba en la idea de transportarlo por vía terrestre.

Es importante precisar que estos cálculos fueron realizados en sitio, con la presión del tiempo y en condiciones ambientales adversas, con herramientas

básicas como el flexómetro y sin la ayuda de software que permita realizar estos cálculos.

Es así que se realizó el cálculo, utilizando dos métodos para poder comparar, en el primero se tomó la medida de un cuarto de circunferencia del sumergible en ocho estaciones que se escogieron y a partir de estas se estima sus áreas y el volumen total de la embarcación. Para el segundo método de medición de diámetros del casco de acuerdo a la división de compartimientos y se calculó el área de las secciones transversales y el volumen de los compartimientos.

Para el cálculo de la superficie mojada, primordial para la predicción de potencia requerida para el remolque, se asumió que el sumergible era un cono desde la vela hasta la popa y hacia proa es un cilindro, unidos por sus bases. Y así, se calcula el área de sus bases incrementándole un porcentaje razonable por la diferencia de formas en proa del sumergible.

Se considera esto fue el método más práctico y rápido debido a la imposibilidad de determinar una tabla de puntos en sitio. Los cálculos efectuados en hojas de cálculos se encuentran adjuntos al presente trabajo en el Anexo "C".

De esta forma se determinó, que el narco sumergible, cuenta con las siguientes características:

Desplazamiento total en inmersión: 110 Ton.

Desplazamiento ligero, con baterías: 68 Ton.

Superficie Mojada a 2,5 metros (calado): 150 m².

Flotabilidad, esta condición fue alcanzada en función primero de realizar el achique de sentinas que se encontraban inundadas, a continuación apoyados con el análisis de los sistemas encontrados, se determinó que los tanques de lastre con que cuenta la embarcación son de libre inundación, eso significaba que la forma de evitar que el agua ingrese a los mismos es soplando aire a presión a los mismos, sin embargo, no se contaba con corriente eléctrica en el lugar de varada, que permitiera activar los compresores de aire existentes. Lugar en el cual existe una amplitud de marea de por lo menos 3 metros.



Sumergible asentado en bajamar.



Distancia recorrida desde plataforma.

Fuente: Arias, I.

Figura 3.29. Condición de asentamiento por bajamar.

Pese al nivel de marea que se alcanzaba el sumergible no flotaba, entonces, aprovechando el bajo nivel de marea se activaron las válvulas Kingston, con lo que se achicó los tanques de combustible que tenían agua y como los tanques de libre inundación se secaban por gravedad, se procedió a cerrar todos los

ductos de ingreso de agua con tapones de madera y se los recubrieron con una fina capa de resina de fibra de vidrio y tela matt, para protegerlo.

La flotabilidad principal la daba los tanques de libre inundación de proa y popa, en los que se realizó el mismo procedimiento de sellado. Debe considerarse que por la forma del sumergible, la tapa registro del tanque de libre inundación de popa se encontraba bajo el agua al flotar, lo que dificultó la maniobra de reparación y limita el tiempo de secado y de trabajo.

Con esta acción se logró ganar flotabilidad por lo menos temporalmente, permitiendo que el sumergible pueda ser remolcado.

Remolque, de la predicción de potencia requerida para remolcar el sumergible, se consideró que la maniobra sería realizada de tal manera de que los lugares con menores profundidades sean pasados en pleamar. Luego de la estoa¹⁶. Existe el cambio de marea y es cuando se encuentran las mayores velocidades de corriente, la misma que deberá ser superada en caso de que se presente en contra del avance del sumergible.

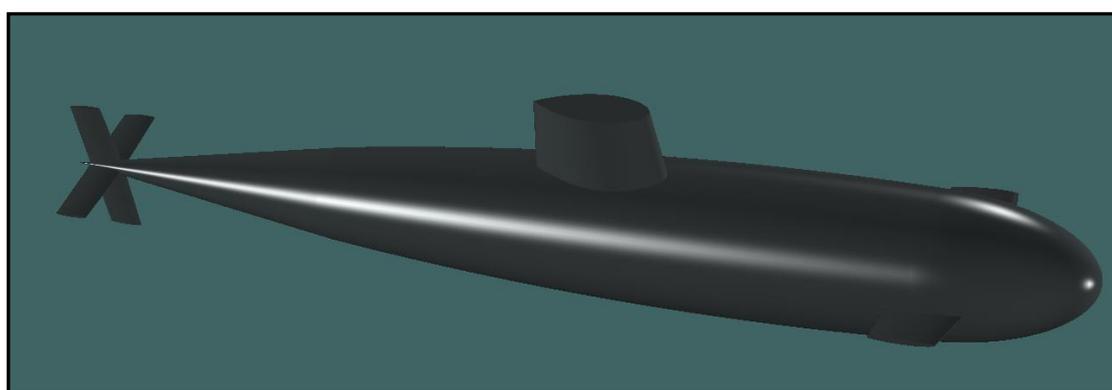
De acuerdo a la información provista por la carta náutica, habría corrientes de entre 4 a 6 nudos, entonces por lo menos se estimó la potencia requerida para alcanzar una velocidad de 12 nudos, que de acuerdo a la aplicación de la fórmula del Almirantazgo (Mariscal 2003), los cálculos de predicción de la cual

¹⁶ Condición en que no existe corriente por el cambio de marea.

se consiguió con el remolque por medio de tres lanchas de los comandos ribereños de la Infantería de Marina que contaban con dos motores de 200 HP cada una. En la ruta de traslado se alcanzaron velocidades de hasta siete nudos aproximadamente.

3.4. Análisis de Cálculos Hidrostáticos y Predicción de Potencia Asistido por Computadora.

Con la finalidad de realizar una comparación entre los cálculos realizados en campo, basados en los cuales se logró realizar el reflotamiento y traslado del narcosumergible, en la presente parte del informe, se realizará, con ayuda de una versión DEMO del programa MAXSURF 11.03, el cálculo de desplazamiento y Superficie Mojada para el Narcosumergible, que fue digitalizado para el efecto. Posteriormente, en base al modelo generado se obtendrá el cálculo de potencia requerida para propulsar la embarcación



Fuente: Arias, I.

Figura 3.30. Modelo Generado del Narcosumergible.

Cálculos Hidrostáticos

Con la finalidad de realizar los cálculos hidrostáticos en el programa indicado, se debía generar un modelo del mismo, para lo cual, se realizó la medición del submarino, con lo que se obtuvo una tabla de puntos simplificada del mismo, donde se considera que los cortes transversales del sumergible son circulares, lo que se pudo realizar puesto que el mismo se encuentra ya, fuera del agua y en instalaciones que prestan las facilidades para el efecto.

Una vez obtenida la tabla de puntos simplificada, ya dentro del programa se nos ofrece un modelo de submarino como parte de las plantillas, al cual se le modificó los datos principales, como eslora, manga, puntal y puntos de cambio de formas, adicionalmente, se cambió la posición de los apéndices del mismo como por ejemplo planos de proa, vela, etc.

De los primeros resultados obtenidos existieron varios parámetros que se distorsionaban con el aumento del calado, por ejemplo los coeficientes de forma, esto puede ser producido de acuerdo al criterio del autor, por la diferencia entre las formas de un buque y un submarino, puesto que no se encontró una función que nos permita realizar este tipo de cálculos para las formas propias de un submarino.

Por esta razón se decidió realizar los cálculos hasta un calado de 1,75 m. que representa la mitad del submarino y la otra mitad es simétrica, lo que permite realizar el cálculo parcial y luego duplicarlo, considerando que los datos de

interés para el presente análisis son el desplazamiento y la superficie mojada sin apéndices, los que serán incrementados en paso posterior. Las curvas hidrostáticas obtenidas con la aplicación de 1,75 m. de calado se los puede observar en el Anexo "D".

Determinándose que:

| | | |
|--|----------|--|
| <i>Desplazamiento en inmersión (3.5 m)</i> | = | 108 Ton. |
| <i>Desplazamiento en superficie (2.5 m)</i> | = | 88 Ton. |
| <i>Superficie mojada (3.5 m)</i> | = | 164 m². Sin apéndices. |

Mientras que los cálculos realizados en sitio, presentados en el Anexo "C", varios de ellos con fórmulas empíricas dieron:

| | | |
|--|----------|---|
| <i>Desplazamiento en inmersión (3.5 m)</i> | = | 110 a 113 Ton. |
| <i>Desplazamiento en superficie (2.5 m)</i> | = | 90 Ton. |
| <i>Superficie mojada (3.5 m)</i> | = | 180 m². Sin apéndices |

Esta comparación realizada nos permite abalizar los procesos de cálculo realizados en sitio, puesto que la diferencia encontrada entre ellos, no representan valores que puedan haber puesto en riesgo la maniobra.

Predicción de potencia

Este análisis forma parte de la ingeniería inversa realizada con la finalidad de conocer las velocidades máximas y operacionales del submarino,

considerando que de estas dos dependen datos muy importantes, como por ejemplo, la autonomía de la embarcación.

Recordemos ahora que esta potencia requerida fue determinada en el Anexo "A", de acuerdo a las curvas de Droblenkov, método presentado por Henry Carlberg, (2011), para en este punto compararlas con las curvas obtenidas mediante un software de diseño asistido por computadora, detalla en el Anexo "D". Obteniendo las siguientes diferencias.

Para poder realizar la comparación se ha utilizado la condición de inmersión, donde el calado es de 3.5 m. y el desplazamiento es de 110 Ton. En este punto cabe mencionar que una vez que el programa calculaba datos por sobre los 1,75 m. de calado los resultados presentaban discrepancias, como por ejemplo, utilizando el método de Holtrop, la curva perdía su continuidad, razón por la cual el único método que entrego resultados útiles, fue el método de Slender Body, el cual se lo presenta a continuación:

| Velocidad (nudos) | Desplazamiento (Ton) | Métodos MAXSURF | Estimación |
|----------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|
| | | Slender Body (HP) | DROBLENKOV (HP) |
| 2 | 110 | 0.43 | 1.30 |
| 3 | 110 | 2.07 | 4.20 |
| 4 | 110 | 5.93 | 9.60 |
| 5 | 110 | 14.54 | 18.10 |
| 6 | 110 | 32.83 | 30.40 |
| 7 | 110 | 56.62 | 47.10 |
| 8 | 110 | 86.40 | 68.90 |
| 9 | 110 | 113.33 | 96.30 |

| | | | |
|-----------|------------|---------------|---------------|
| 10 | 110 | 127.31 | 130.00 |
| 11 | 110 | 180.46 | 170.60 |
| 12 | 110 | 262.14 | 218.60 |

Fuente: Arias, I.

Tabla 1. Comparación de predicción de potencia.

Del análisis de los resultados presentados en la tabla 1. Se puede indicar que existe una cercana estimación de potencia entre ambos métodos, que abalan los resultados ejecutados por el método de Droblenkov y luego que existió una correcta estimación de pérdidas en el sistema de propulsión, las mismas que se encuentran aplicadas en el método empírico propuesto.

CONCLUSIONES

1. Inicialmente se presentó un semisumergible que fue encontrado en la provincia de El Oro, que corresponde a una tecnología de embarcaciones que tienen la capacidad únicamente de variar su francobordo para disminuir su firma visual y evitar ser detectados.
2. El segundo caso corresponde al primer submarino narco del mundo, puesto que en él se pudo encontrar una alta aplicación de los principios de la ingeniería naval, en lo que tiene que ver a la operación de los submarinos convencionales.
3. Se ha observado que los cálculos realizados fueron efectuados bajo condiciones críticas, los que al ser comparados con los resultados obtenidos de la aplicación del software de diseño asistido por computadora, dejan la grata sensación de que la aplicación sencilla de los conocimientos obtenidos en la facultad, permiten alcanzar las metas y objetivos planteados en todos los ámbitos en que el ingeniero naval se desarrolle

4. El presente trabajo fue realizado como un informe de una actividad de ingeniería que involucró completamente la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Naval del autor, por esta razón, además este informe se constituye también en una fuente de consulta para los trabajos que en materia de naves subacuáticas se pretendan realizar en el futuro.
5. Los trabajos de completamiento con los que se logró recuperar la estanqueidad y flotabilidad de la embarcación, así como los cálculos hidrostáticos y de predicción de potencia realizados en sitio permitieron que se realice con éxito la maniobra de reflotamiento y traslado del narcosumergible.
6. El programa de diseño asistido por computadora representó una valiosa herramienta para realizar la comparación de los trabajos obtenidos, sin embargo, también se encontró varias discrepancias en cuanto a los resultados obtenidos por lo que se estima que para cierta información el software no es aplicable a las formas características de los submarinos.
7. Se estima que el valor de construcción de un submarino narco bordea los 10'000.000 de dólares, los que tienen una alta siniestralidad, sin embargo, el costo de la droga en los países de consumo es tal, que la pérdida de dichas embarcaciones no representan una limitación financiera para sus propietarios.

RECOMENDACIONES

1. Que dentro de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Naval, se considere el aprendizaje de principios básicos de las embarcaciones subacuáticas, quedando claro de que la construcción de narcosumergibles no es un logro para el país, pero si nos deja como corolario, que el diseño y construcción de embarcaciones subacuáticas de investigación o turismo en el Ecuador es posible.
2. Impulsar a que en el futuro se realicen más estudios del primer narcosubmarino encontrado en el Ecuador, con la finalidad de profundizar en el conocimiento del diseño y construcción de embarcaciones subacuáticas. Que permitan el desarrollo de un área marítima que aún no ha sido explotada.
3. Considerar que existe la visión política de realizar inversiones en el área de plataformas off - shore, maricultura, entre otras, industrias que requerirán de ingentes recursos tecnológicos subacuáticos para los cuales debemos estar preparados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alibaba, (2013), *Página de venta en línea de equipamiento industrial*. Recuperado de http://hdchai.en.alibaba.com/product/231154099-200078474/marine_diesel_engine_4100ZC.html el 3 de noviembre de 2013.
- [2] Carlberg, H. (2011). *Concept Design of a Commercial Submarine*, Tesis de Maestría en Tecnología Marítima de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Noruega.
- [3] El Mundo.es. (2011). Diario electrónico. *“Narcosubmarinos”, el objetivo de Colombia es la lucha antidrogas en el mar*. Recuperado de <http://www.elmundo.es/america/2011/02/18/colombia/1298050546.html> el 10 de junio de 2013.
- [4] El Nuevo Herald, (2001). *El sendero millonario de la droga*. Recuperado de <http://www.latinamericanstudies.org/drugs/sendero.htm> el 30 de mayo de 2012.
- [5] El Telégrafo. (2012). Diario electrónico, *Las Lanchas “Go Fast” son las preferidas por el narcotráfico*. Recuperado de <http://www.telegrafo.com.ec/justicia/item/las-lanchas-go-fast-son-las-preferidas-por-el-narcotrafico.html> el 25 de mayo de 2013.
- [6] Emerson Battery, (2010), *Catálogo electrónico de Baterías VRLA Emerson*. Recuperado de http://www.emersonnetworkpower.com/en-ASIA/Products/DCPower/ensys_BatteriesAndAccessories/Documents/T%20Series%20VRLA%20Battery.pdf el 25 de octubre de 2013.

- [7] Global Security. (2012). *Self Propelled Semi-Sumersible (SPSS) Watercraft*. Recuperado de <http://www.globalsecurity.org/military/world/para/spss.htm> el 10 de junio de 2013.
- [8] La Red 21 Justicia. (2013). *Revelaciones de la vida de Pablo Escobar*. Recuperado de <http://www.lr21.com.uy/justicia/32196-revelan-la-increible-vida-del-rey-de-la-droga> el 20 de mayo de 2013.
- [9] Mariscal, C. (2003). Apuntes de Clase de la materia de Proyectos Navales I, Formulas para predicción de EHP.
- [10] Mejía, F. (2010), Trabajo conjunto realizado en sitio. Técnico constructor de blindajes de embarcaciones militares de ASTINAVE EP, diálogo mantenido el 10 de agosto de 2010.
- [11] Montoya, M.A. (2007) *Ayer Médico, hoy narco: el mexicano que quiso ser Pablo Escobar*. (2007). México D.F. México. Editorial Oveja Negra.
- [12] Norwatt, SL. (2010) *Criterios generales sobre emisión de gases en una sala, producido por celdas de energía*. Recuperado de <http://www.norwatt.es/es/notas-tecnicas/106-calculo-de-emision-de-gases-en-una-sala> el 5 de octubre de 2013.
- [13] Organización de las Naciones Unidas. (2012). Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito, *Informe mundial sobre las drogas, 2012*, Recuperado de http://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/WDR2012/WDR_2012_Spanish_web.pdf el 10 de abril de 2012.
- [14] Peukert, (1897), Ley de Peukert, *Tiempo de descarga de una batería en relación a su consumo*. Recuperado de <http://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Manual%20-%20BMV%20600%20602%20-%20rev%2007%20-%20ES.pdf> el 5 de noviembre de 2013.

- [15] Plástiquímica Representaciones, (2012), *Ficha técnica de tela carbono y tela kevlar*. Recuperado de www.plastiquimica.cl/?cat=20 el 25 de octubre de 2013.
- [16] SAWE. (2011). Society of Allied Weights Engineers, Inc. *Expanded Work Breakdown Structure*, Práctica Recomendada #20; del (2011, 4 de marzo).
- [17] VBS.TV. (2012). *Narco Subs Part 4 Incoming Torpedos*. Recuperado de http://www.youtube.com/watch?v=Uly3_GfeP4E el 10 de mayo de 2012.
- [18] Weifang U-Power Co. Ltd. (2013). *Catálogo electrónico de productos, Marine Engine 4100ZC*. Recuperado de <http://upower.en.alibaba.com/> el 6 de noviembre de 2013.

ANEXO "A"

CÁLCULO DE POTENCIA REQUERIDA PARA PROPULSAR (SHP) Y REMOLCAR EL NARCOSUMERGIBLE (EHP)

La estimación de potencia del Narcosumergible tiene dos connotaciones, la primera es la necesidad existente de realizar el remolque (en superficie), para lo cual se debía estimar la potencia requerida para el efecto, y por otra parte, determinar la velocidad de navegación del submarino (en inmersión) de acuerdo a la maquinaria de propulsión instalada a bordo.

Potencia Requerida para condición de inmersión

De acuerdo a Henry Carlberg, indica que existe una ventaja para los submarinos en relación a los buques de superficie, y es que en inmersión no existe la resistencia al avance por formación de olas, permitiéndole alcanzar mayores velocidades con la misma potencia instalada. Siendo para un sumergible la resistencia al avance producida por el efecto viscoso, llamados resistencia friccional y resistencia de formas.

La resistencia friccional será calculada de acuerdo a las líneas de fricción del International Towing Tank Conference, ITTC de 1957, mientras que para calcular la resistencia de formas, se utilizará el coeficiente de Droblenkov.

Como habíamos indicado, la resistencia al avance es un compromiso entre dos componentes, la resistencia friccional y la resistencia de forma:

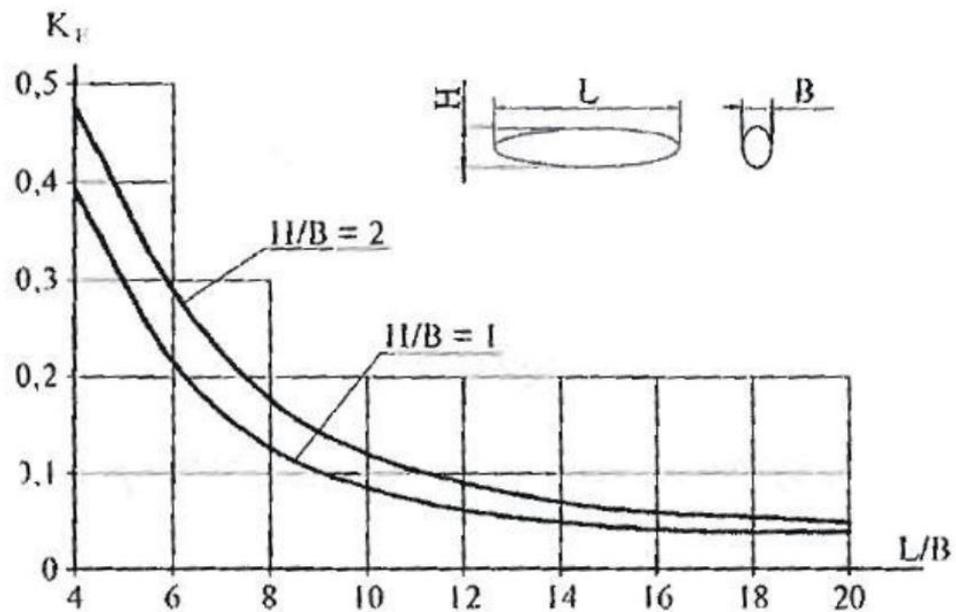
$$R_f = K_f * R_{fricción}$$

Donde K_f , se determina de las curvas de Droblenkov, requiriendo conocer los siguientes parámetros:

H/B = Puntal / Manga

L/B = Eslora / Manga

Curvas de Droblenkov



Fuente: Tomado de Tesis de MSc. de Henry Carlberg.

Para nuestro sumergible, $L=23$ m, $H=3.5$ m y $B= 3.5$ m, donde:

$H/B= 1$

$L/B= 6.6$

Entonces;

$$K_f = 0.18$$

Y la resistencia total será la resistencia friccional más un porcentaje de este que representa la resistencia de formas.

$$R_{total} = R_{friccional} + R_{formas} = R_{friccional} (1 + K_f)$$

De acuerdo al ITTC 57:

$$C_f = \frac{R_{friccional}}{\frac{1}{2} * \rho * S_{mojado} * V^2} \qquad C_f = \frac{0.075}{(\log(Rn) - 2)^2}$$

Rn= Reynolds; $R_n = \frac{V * L}{\nu}$

Una vez que calculamos la resistencia del casco desnudo, no podemos olvidar la importancia que tiene, considerar los apéndices que en el caso de los sumergibles no son despreciables, como: la vela, planos de proa y popa, el timón, para lo cual se utiliza el cálculo de superficie mojado del Anexo "C". Por lo que el coeficiente friccional total quedará como:

Coficiente *friccional total*

$$\begin{aligned} &= C_{f \text{ casco}} * \frac{S_{\text{casco}}}{S_{\text{total}}} + C_{f \text{ vela}} * \frac{S_{\text{vela}}}{S_{\text{total}}} + C_{f \text{ plano proa}} \\ &* \frac{2 * S_{\text{plano proa}}}{S_{\text{total}}} + C_{f \text{ plano popa}} * \frac{2 * S_{\text{plano popa}}}{S_{\text{total}}} \\ &+ C_{f \text{ timón}} * \frac{S_{\text{timón}}}{S_{\text{total}}} \end{aligned}$$

Ahora, para determinar la potencia del motor, se utilizará:

$$\begin{aligned}
 \text{Potencia}_{\text{motor}} &= \frac{R_{\text{total}} * V}{\eta_o * \eta_H * \eta_S} \\
 &= \frac{(1 + K_f) * C_{\text{friccional total}} * \frac{1}{2} * \rho * S_{\text{total}} * V^3}{\eta_o * \eta_H * \eta_S}
 \end{aligned}$$

La aplicación de las fórmulas entrega los siguientes cálculos y resultados:

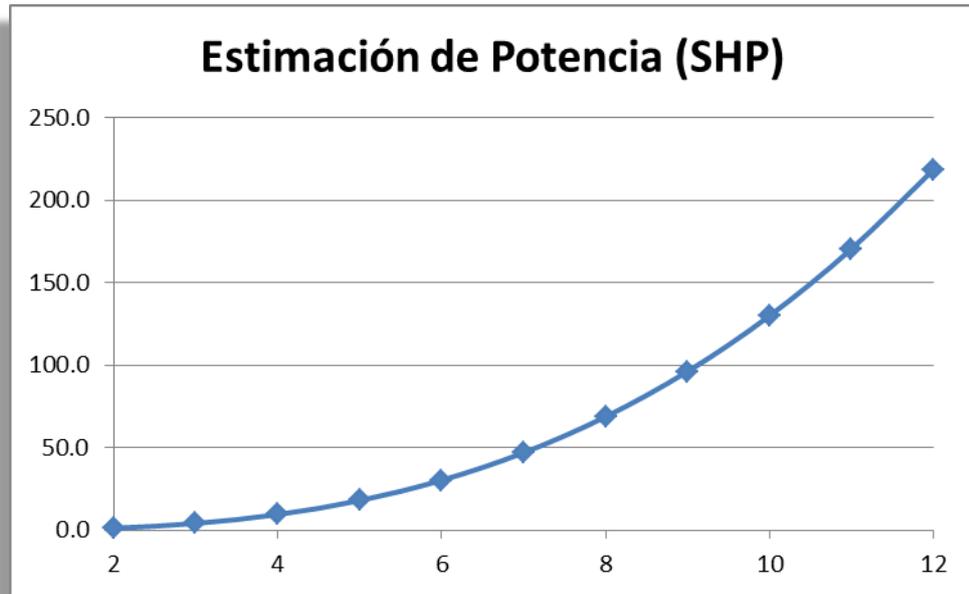
| coeficiente de resistencia friccional total | | |
|--|------------|-------|
| viscosidad | 0.0000012 | |
| densidad | 1025 | kg/m3 |
| | | |
| viscosidad | 0.0000012 | |
| Kf | 0.18 | |
| L/B | 6.57142857 | |
| H/B | 1 | |

| velocidad | | | 0.51444 m/s | | 1 nudo | | | | |
|------------|-----|------------|-------------|------------|------------------|-------|----------|----------|---------|
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (Kw) | SHP (Kw) | SHP(HP) |
| casco | 23 | 180 | 9860100 | 0.00300736 | 2.707E-03 | 0.104 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| vela | 3 | 12 | 1286100 | 0.00444151 | 2.665E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 342960 | 0.00600099 | 9.602E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 257220 | 0.00644874 | 4.514E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 342960 | 0.00600099 | 1.200E-04 | | | | |
| | | 200 | | | 3.234E-03 | | | | |
| velocidad | | | 1.02888 m/s | | 2 nudos | | | | |
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (kw) | SHP (kw) | SHP(hp) |
| casco | 23 | 180 | 19720200 | 0.00267512 | 2.408E-03 | 0.366 | 0.4 | 1.0 | 1.3 |
| vela | 3 | 12 | 2572200 | 0.00385588 | 2.314E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 685920 | 0.00509615 | 8.154E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 514440 | 0.00544504 | 3.812E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 685920 | 0.00509615 | 1.019E-04 | | | | |
| | | 200 | | | 2.861E-03 | | | | |
| velocidad | | | 1.54332 m/s | | 3 nudos | | | | |
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (kw) | SHP (kw) | SHP(hp) |
| casco | 23 | 180 | 29580300 | 0.00250569 | 2.255E-03 | 0.770 | 1.2 | 3.2 | 4.2 |
| vela | 3 | 12 | 3858300 | 0.00356548 | 2.139E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 1028880 | 0.00465865 | 7.454E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 771660 | 0.00496292 | 3.474E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 1028880 | 0.00465865 | 9.317E-05 | | | | |
| | | 200 | | | 2.672E-03 | | | | |

| velocidad | | | 2.05776 m/s | | 4 nudos | | | | |
|------------|-----|------------|-------------|------------|------------------|-------|----------|----------|----------|
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (kw) | SHP (kw) | SHP (hp) |
| casco | 23 | 180 | 39440400 | 0.00239505 | 2.156E-03 | 1.305 | 2.7 | 7.2 | 9.6 |
| vela | 3 | 12 | 5144400 | 0.00337888 | 2.027E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 1371840 | 0.00438154 | 7.010E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 1028880 | 0.00465865 | 3.261E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 1371840 | 0.00438154 | 8.763E-05 | | | | |
| | | 200 | | | 2.549E-03 | | | | |
| velocidad | | | 2.5722 m/s | | 5 nudos | | | | |
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (kw) | SHP (kw) | SHP (hp) |
| casco | 23 | 180 | 49300500 | 0.00231420 | 2.083E-03 | 1.968 | 5.1 | 13.5 | 18.1 |
| vela | 3 | 12 | 6430500 | 0.00324405 | 1.946E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 1714800 | 0.00418327 | 6.693E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 1286100 | 0.00444151 | 3.109E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 1714800 | 0.00418327 | 8.367E-05 | | | | |
| | | 200 | | | 2.459E-03 | | | | |
| velocidad | | | 3.08664 m/s | | 6 nudos | | | | |
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (kw) | SHP (kw) | SHP (hp) |
| casco | 23 | 180 | 59160600 | 0.00225115 | 2.026E-03 | 2.753 | 8.5 | 22.7 | 30.4 |
| vela | 3 | 12 | 7716600 | 0.00313979 | 1.884E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 2057760 | 0.00403109 | 6.450E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 1543320 | 0.00427517 | 2.993E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 2057760 | 0.00403109 | 8.062E-05 | | | | |
| | | 200 | | | 2.389E-03 | | | | |

| velocidad | | | 3.60108 m/s | 7 nudos | | | | | |
|------------|-----|------------|-------------|------------|------------------|-------|----------|----------|---------|
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (kw) | SHP (kw) | SHP(hp) |
| casco | 23 | 180 | 69020700 | 0.00219982 | 1.980E-03 | 3.659 | 13.2 | 35.1 | 47.1 |
| vela | 3 | 12 | 9002700 | 0.00305551 | 1.833E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 2400720 | 0.00390882 | 6.254E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 1800540 | 0.00414171 | 2.899E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 2400720 | 0.00390882 | 7.818E-05 | | | | |
| | | 200 | | | 2.333E-03 | | | | |
| velocidad | | | 4.11552 m/s | 8 nudos | | | | | |
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (kw) | SHP (kw) | SHP(hp) |
| casco | 23 | 180 | 78880800 | 0.00215677 | 1.941E-03 | 4.682 | 19.3 | 51.4 | 68.9 |
| vela | 3 | 12 | 10288800 | 0.00298522 | 1.791E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 2743680 | 0.00380734 | 6.092E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 2057760 | 0.00403109 | 2.822E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 2743680 | 0.00380734 | 7.615E-05 | | | | |
| | | 200 | | | 2.285E-03 | | | | |
| velocidad | | | 4.62996 m/s | 9 nudos | | | | | |
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (kw) | SHP (kw) | SHP(hp) |
| casco | 23 | 180 | 88740900 | 0.00211983 | 1.908E-03 | 5.820 | 26.9 | 71.9 | 96.3 |
| vela | 3 | 12 | 11574900 | 0.00292521 | 1.755E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 3086640 | 0.00372107 | 5.954E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 2314980 | 0.00393716 | 2.756E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 3086640 | 0.00372107 | 7.442E-05 | | | | |
| | | 200 | | | 2.245E-03 | | | | |

| velocidad | | | 5.1444 m/s | 10 nudos | | | | | |
|------------|-----|-----|-------------|------------|-----------|-------|----------|----------|---------|
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (kw) | SHP (kw) | SHP(hp) |
| casco | 23 | 180 | 98601000 | 0.00208759 | 1.879E-03 | 7.072 | 36.4 | 97.0 | 130.0 |
| vela | 3 | 12 | 12861000 | 0.00287305 | 1.724E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 3429600 | 0.00364636 | 5.834E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 2572200 | 0.00385588 | 2.699E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 3429600 | 0.00364636 | 7.293E-05 | | | | |
| | | 200 | | | 2.209E-03 | | | | |
| velocidad | | | 5.65884 m/s | 11 nudos | | | | | |
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (kw) | SHP (kw) | SHP(hp) |
| casco | 23 | 180 | 108461100 | 0.00205905 | 1.853E-03 | 8.436 | 47.7 | 127.3 | 170.6 |
| vela | 3 | 12 | 14147100 | 0.00282705 | 1.696E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 3772560 | 0.00358070 | 5.729E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 2829420 | 0.00378451 | 2.649E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 3772560 | 0.00358070 | 7.161E-05 | | | | |
| | | 200 | | | 2.178E-03 | | | | |
| velocidad | | | 6.17328 m/s | 12 nudos | | | | | |
| | L | S | Re | Cf | Cf Total | RT | Pot (kw) | SHP (kw) | SHP(hp) |
| casco | 23 | 180 | 118321200 | 0.00203351 | 1.830E-03 | 9.911 | 61.2 | 163.2 | 218.6 |
| vela | 3 | 12 | 15433200 | 0.00278602 | 1.672E-04 | | | | |
| plano proa | 0.8 | 1.6 | 4115520 | 0.00352230 | 5.636E-05 | | | | |
| plano popa | 0.6 | 1.4 | 3086640 | 0.00372107 | 2.605E-05 | | | | |
| pala | 0.8 | 2 | 4115520 | 0.00352230 | 7.045E-05 | | | | |
| | | 200 | | | 2.150E-03 | | | | |



Potencia Requerida para condición de navegación en superficie

Con la intención de conocer cuál era la potencia requerida para realizar el remolque del Narcosubmarino, además de conocer la velocidad para el cual fue diseñado el mismo, en relación a sus dos sistemas de propulsión, fue prioritario realizar una predicción de forma aproximada de la potencia requerida para lo indicado.

Para lograr lo indicado se recurrió a la fórmula del Almirantazgo, de predicción de potencia, la es la siguiente:

$$SHP_{por\ motor} = \frac{\Delta^{2/3} * V^3}{N * Ac} * \eta_o * \eta_H * \eta_S ; \text{ donde:}$$

SHP= Es la potencia al eje del motor (HP)

Δ = Desplazamiento (Ton)

V= Velocidad (nudos)

N= Número de máquinas

$\eta_o * \eta_H * \eta_S$ = Eficiencia propulsiva

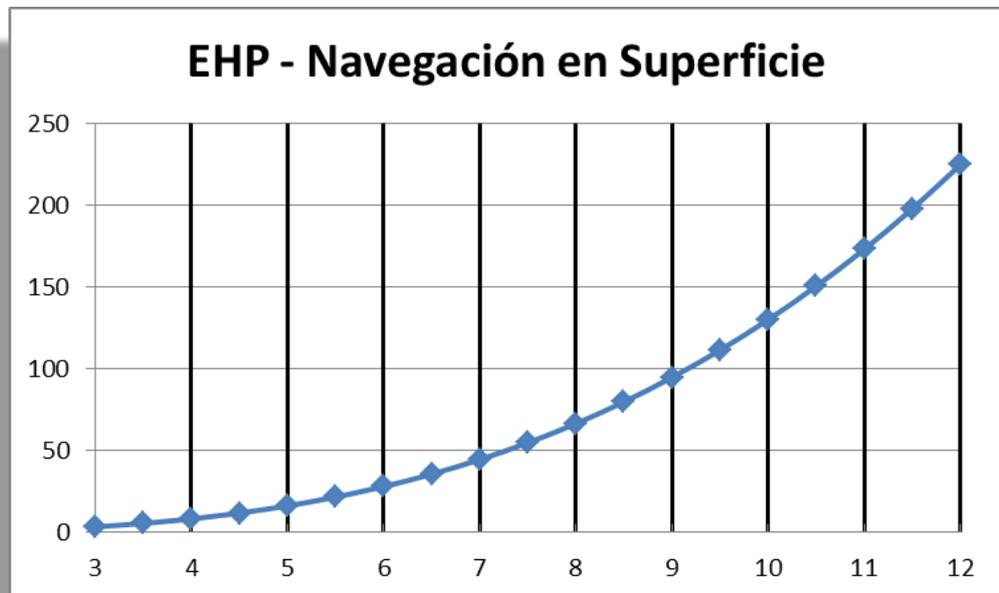
Ac= Coeficiente de Almirantazgo, dado por la eslora del buque como sigue:

| L.A.D. (pies) | 30 | 50 | 75 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 800 |
|---------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ac | 70 | 95 | 120 | 150 | 200 | 250 | 345 | 360 | 450 | 500 |

Cuando un submarino navega en superficie incrementa su resistencia al avance por que aparece la resistencia por formación de olas. Por esta razón realizaremos el cálculo de EHP, que el desplazamiento del submarino en superficie es de

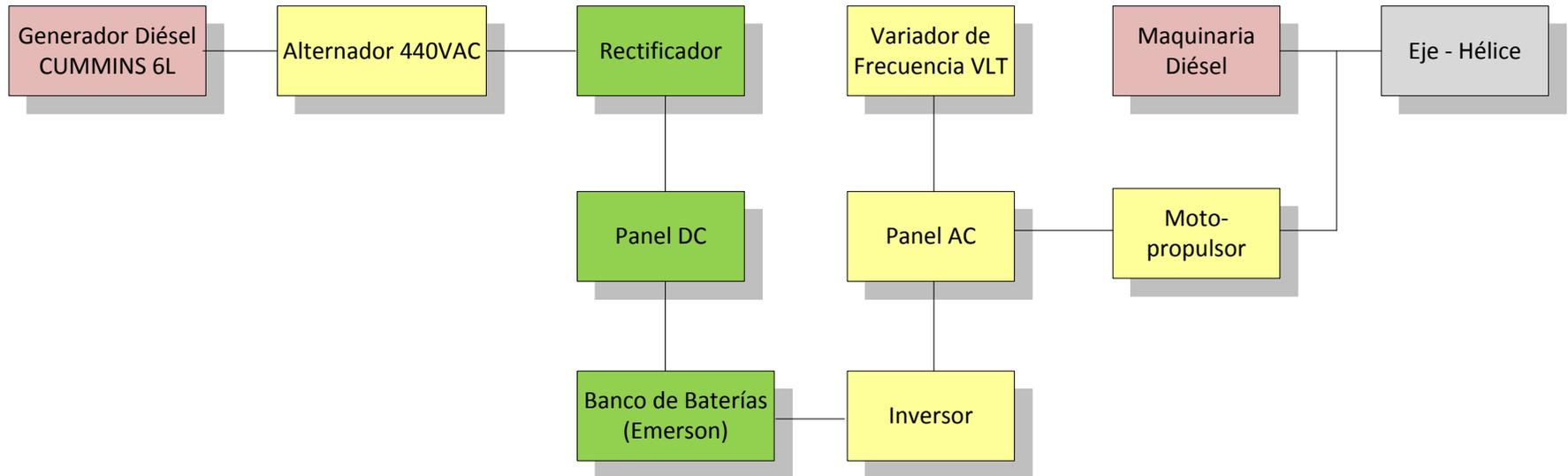
aproximadamente 95 Ton. De esta manera graficaremos la curva de potencia velocidad en relación a las dos condición de navegación descrita.

| Desplazamiento | V | N | Ac | SHP |
|----------------|------|---|-----|-------|
| 95 | 12 | 1 | 120 | 224.9 |
| 95 | 11.5 | 1 | 120 | 197.9 |
| 95 | 11 | 1 | 120 | 173.2 |
| 95 | 10.5 | 1 | 120 | 150.6 |
| 95 | 10 | 1 | 120 | 130.1 |
| 95 | 9.5 | 1 | 120 | 111.6 |
| 95 | 9 | 1 | 120 | 94.9 |
| 95 | 8.5 | 1 | 120 | 79.9 |
| 95 | 8 | 1 | 120 | 66.6 |
| 95 | 7.5 | 1 | 120 | 54.9 |
| 95 | 7 | 1 | 120 | 44.6 |
| 95 | 6.5 | 1 | 120 | 35.7 |
| 95 | 6 | 1 | 120 | 28.1 |
| 95 | 5.5 | 1 | 120 | 21.6 |
| 95 | 5 | 1 | 120 | 16.3 |
| 95 | 4.5 | 1 | 120 | 11.9 |
| 95 | 4 | 1 | 120 | 8.3 |
| 95 | 3.5 | 1 | 120 | 5.6 |
| 95 | 3 | 1 | 120 | 3.5 |



ANEXO "B"

DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN DEL NARCOSUBMARINO



ANEXO "C"

**CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTO Y SUPERFICIE MOJADA DEL
NARCOSUBMARINO**

Método 1

El primer cálculo se realizó utilizando la medida de un cuarto del perímetro de la circunferencia que formaba el casco del narcosubmarino. Con lo que se calcula el área de la estación y luego el volumen total de la embarcación. Por la posición del submarino no fue posible obtener una tabla de puntos.

Cálculo del desplazamiento del Narcosubmarino por medio de la circunferencia de sus estaciones

| Estaciones | 1/4 Circunferencia (m) | Circunferencia (m) | Área estación (m ²) | Volumen Compartimiento (m ³) | Distancia entre estaciones (m) |
|------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|--|--------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 2.5 |
| 1 | 1.2 | 4.8 | 1.83 | 2.75 | 3 |
| 2 | 2 | 8 | 5.09 | 10.39 | 3 |
| 3 | 2.5 | 10 | 7.96 | 19.58 | 3 |
| 4 | 2.5 | 10 | 7.96 | 23.87 | 3 |
| 5 | 2.4 | 9.6 | 7.33 | 22.94 | 3 |
| 6 | 2.2 | 8.8 | 6.16 | 20.25 | 3 |
| 7 | 0.8 | 3.2 | 0.81 | 10.47 | 2.5 |
| | | | | 110.24 | 23 |
| | | | | Desplazamiento en inmersión | Eslora total |

Método 2

Para este procedimiento se consideró la medida de los diámetros interiores del submarino a la altura de cada división del compartimento, así calculamos el volumen de cada compartimento y por ende el desplazamiento total en inmersión de la embarcación.

Desplazamiento del Narcosubmarino por medio de los diámetros interiores

| Compartimiento | Longitud compartimientos (m) | Diámetro (m) | Área de la Estación (m ²) | Volumen Compartimiento (m ³) |
|----------------|------------------------------|--------------|---------------------------------------|--|
| TANQUE POPA | 2.9 | 1 | 0.79 | 1.14 |
| MAQ | 3.5 | 2 | 3.14 | 11.00 |
| TANQUES | 3.5 | 3.3 | 8.55 | 29.94 |
| PUENTE | 4 | 3.3 | 8.55 | 34.21 |
| HABITABILIDAD | 3.5 | 2.8 | 6.16 | 21.55 |
| BODEGA | 2.7 | 2.2 | 3.80 | 10.26 |
| PROA | 2.8 | 1.5 | 1.77 | 4.95 |
| | 22.9 | | | 113.04 |
| | Eslora total | | | Desplazamiento en inmersión |

Superficie Mojada

Para el presente cálculo se redujo su complejidad, asumiendo que el submarino era un cilindro desde la vela hasta la proa y un cono desde la vela hasta la popa, y así, determinar la superficie de estos dos cuerpos como sigue:

$$\text{Superficie cilindro proa} = \text{Perímetro} * \text{Eslora}_1$$

$$\text{Superficie cilindro proa} = 10 \text{ m} * 13 \text{ m} = 130 \text{ m}^2$$

$$\text{Superficie cono popa} = \text{Perímetro} * \frac{\text{Eslora}_2}{2}$$

$$\text{Superficie cono popa} = 10 \text{ m} * \frac{10 \text{ m}}{2} = 50 \text{ m}^2$$

$$\text{Superficie mojada narcosubmarino} = 130 \text{ m}^2 + 50 \text{ m}^2 = 180 \text{ m}^2$$

Mientras que los apéndices del sumergible se obtiene lo siguiente:

$$S_{vela} = 2 * Largo * Ancho * \% contorno = 2 * 3 * 1.5 * 30\% = 12.0 m^2$$

$$S_{plano proa} = 4 * Largo * Ancho * \% contorno = 4 * 0.8 * 0.9 * 10\% = 3.2 m^2$$

$$S_{planos popa} = 4 * Largo * Ancho * \% contorno = 4 * 0.6 * 1.0 * 20\% = 2.8 m^2$$

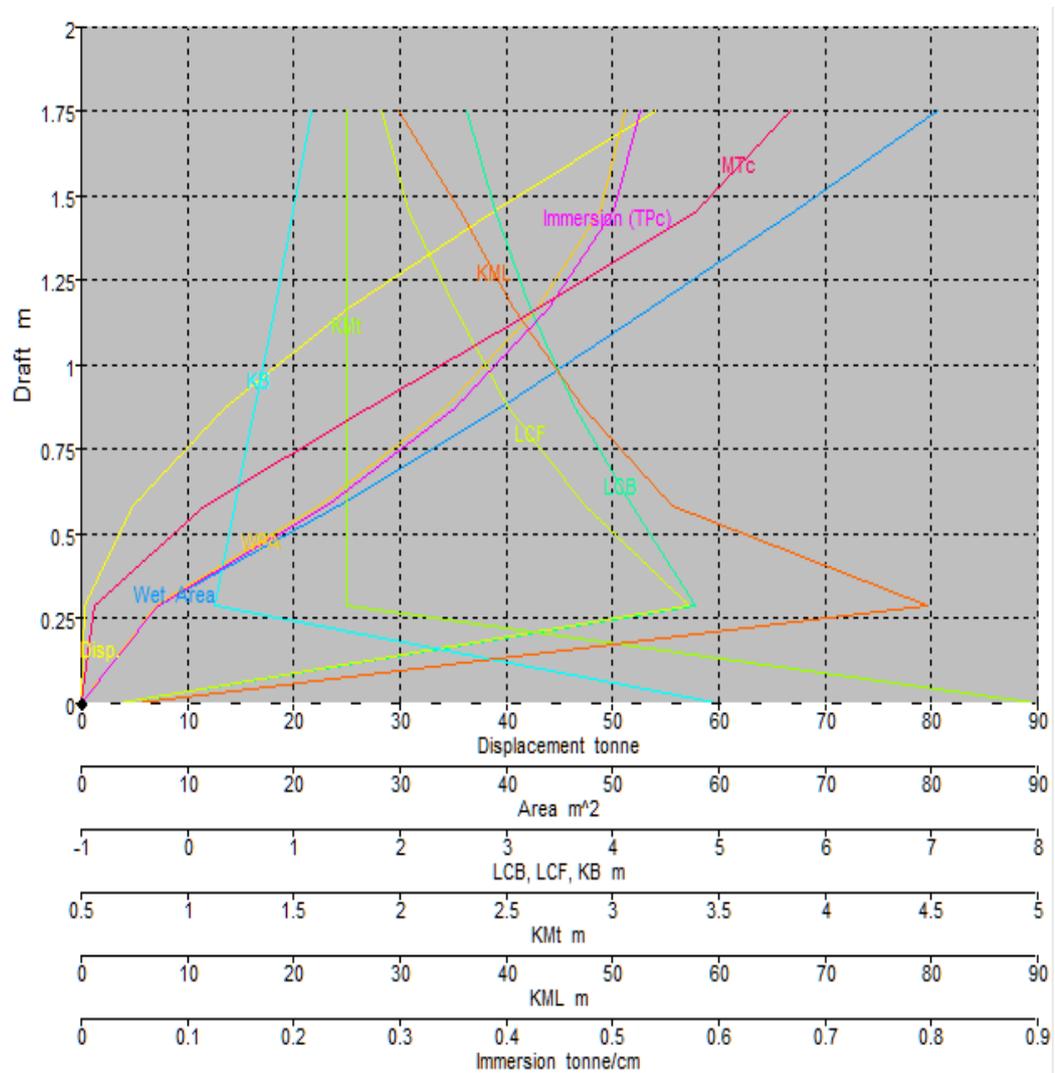
$$S_{timón} = 4 * Largo * Ancho * \% contorno = 4 * 0.8 * 1.0 * 25\% = 4.0 m^2$$

$$S_{total} = S_{casco} + S_{vela} + S_{timón} + S_{plano proa} + S_{plano popa} = 202 m^2$$

ANEXO "D"

**RESULTADOS DE CÁLCULOS HIDROSTÁTICOS Y DE PREDICCIÓN DE
POTENCIA DEL NARCOSUMERGIBLE REALIZADOS CON DISEÑO ASISTIDO
POR COMPUTADORA.**

Curvas Hidrostáticas del Narcosumergible.



Curva Potencia vs Velocidad del Narcosumergible.