



DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA

CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE LICENCIADO EN CIENCIAS NAVALES**

**TEMA: CORRECCIONES DE LA NAVEGACIÓN INERCIAL
USANDO ACTUALIZACIONES DE GPS PARA LA
NAVEGACIÓN SUBMARINA.**

AUTOR: FREDDY JOSÉ HERRERA MIÑO

DIRECTOR: CPFGE-EM CARLOS EDUARDO GUZMÁN MATA

SALINAS

2017



DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA

CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE LICENCIADO EN CIENCIAS NAVALES**

**TEMA: CORRECCIONES DE LA NAVEGACIÓN INERCIAL
USANDO ACTUALIZACIONES DE GPS PARA LA
NAVEGACIÓN SUBMARINA.**

AUTOR: FREDDY JOSÉ HERRERA MIÑO

DIRECTOR: CPFGE-EM CARLOS EDUARDO GUZMÁN MATA

SALINAS

2017



**DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA
CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES**

Certificación

Certifico que el proyecto de investigación, “**CORRECCIONES DE LA NAVEGACIÓN INERCIAL USANDO ACTUALIZACIONES DE GPS PARA LA NAVEGACIÓN SUBMARINA**” realizado por el señor Freddy José Herrera Miño, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas - ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar para que lo sustente públicamente.

Salinas, 30 de Noviembre del 2017

Atentamente,

CPFG-EM CARLOS EDUARDO GUZMÁN MATA

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA
CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES**

Autoría de Responsabilidad

Yo, **FREDDY JOSÉ HERRERA MIÑO**, con cédula de ciudadanía N° 0919698969 declaro que este Trabajo de Titulación “**CORRECCIONES DE LA NAVEGACIÓN INERCIAL USANDO ACTUALIZACIONES DE GPS PARA LA NAVEGACIÓN SUBMARINA**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros registrándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Salinas, 04 de Diciembre del 2017

FREDDY JOSÉ HERRERA MIÑO
C.C. 0919698969



**DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA
CARRERA DE LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES**

Autorización

Yo, **FREDDY JOSÉ HERRERA MIÑO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**CORRECCIONES DE LA NAVEGACIÓN INERCIAL USANDO ACTUALIZACIONES DE GPS PARA LA NAVEGACIÓN SUBMARINA**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Salinas, 04 de Diciembre del 2017

FREDDY JOSÉ HERRERA MIÑO

C.C. 0919698969

DEDICATORIA

En primer lugar quiero agradecerle a Dios por todas sus bendiciones y a toda mi familia que han sido el motor principal del sacrificio de estos últimos 4 años en la Escuela Superior Naval, a quienes les dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de este proyecto de titulación.

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el fruto del gran esfuerzo, y del arduo trabajo de un grupo de personas. Por eso agradezco a mi director de carrera el Sr. CPFG-EM Carlos Guzmán Mata y a mi codirector Mgs. Arcesio Bustos Gaibor por toda la ayuda que me ofrecieron en estos meses para lograr obtener un muy buen resultado de este proyecto. A todos los profesores por sus clases y toda la sabiduría impartida a lo largo de estos cuatro años indispensables para la formación profesional de todos los guardiamarinas.

Tabla de Contenido

Preliminares	Pág.
Certificación del director.....	iii
Autoría de Responsabilidad	iv
Autorización	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento.....	vii
Tabla de Contenido	viii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xii
Resumen	¡Error! Marcador no definido.ii
Abstract.....	xi
Introducción	xiiiiv
Marco General de la Investigación.....	1
I. Planteamiento del problema.....	1
A. Contextualización.	1
B. Análisis crítico.....	1
C. Enunciado del problema.	1
D. Delimitación del objeto de estudio	1
II. Preguntas	2
III. Variables	2
IV. Justificación	3
V. Objetivos.....	3
A. General.....	3
B. Específicos	3
Capítulo I	4
Fundamentación Teórica	4
1.1. Marco Teórico.....	4
1.1.1 Submarino.....	4
1.1.2 Navegación submarina	5
1.1.3 Importancia de posicionarse en el mar.....	6
1.1.4 Navegación inercial	7

1.2. Marco Conceptual.....	8
1.2.1 Sensores inerciales.....	8
1.2.2 Long Rang Navigation.....	8
1.2.3 Sistema Omega.....	8
1.2.4 Gir6scopo.....	8
1.2.5 Aceler6metro.....	9
1.2.6 Magnet6metro.....	10
1.2.7 Global Positioning System (GPS).....	11
1.2.8 Errores en los sistemas inerciales.....	12
1.2.9 Sistema Integrado INS/GPS.....	13
Capítulo II	15
Fundamentación Te6rica	15
2.1 Modalidad de la Investigaci6n.....	15
2.2 M6todo de la investigaci6n	15
2.3 Alcance o tipo de Investigaci6n.....	15
2.4 Dise1o de la Investigaci6n	16
2.5 Poblaci6n y muestra	16
2.6 T6cnica de Recolecci6n de datos	17
2.7 Procesamiento y an6lisis de Datos	17
2.8 T6cnicas de an6lisis de Datos.....	17
Capítulo III	23
3.1 Resultado de la Investigaci6n	23
3.2 An6lisis.....	24
3.2.1 Datos informativos	24
a) T6tulo del proyecto de investigaci6n	24
b) Antecedentes	26
3.3 Justificaci6n	28
3.4 Objetivos	29
3.5 Conclusiones	30
3.6 Recomendaciones.....	31
Bibliograf6a.....	32

Índice de Tablas

Tabla 1 Datos de Navegación Submarina Día 1.....	24
Tabla 2 Datos de Navegación Submarina Día 2.....	25
Tabla 3 Datos de Navegación Submarina Día 3.....	26

Índice de Figuras

Imagen 1 Primer submarino en la historia	18
Imagen 2 Triada de Giróscopo	22
Imagen 3 Ilustración de un acelerómetro	23

Resumen

Este proyecto está orientado a realizar un análisis de las correcciones de la navegación inercial en una navegación submarina, mediante el empleo del GPS, el cual es la forma de enmendar esos errores, permitiéndonos tener una posición más precisa del submarino. Esta investigación consistió en buscar la forma en que la posición ofrecida por una plataforma inercial en una navegación en inmersión sea lo más acertada posible permitiendo al submarino conllevar una navegación efectiva. El enfoque de este estudio fue cualitativo, ya que para el progreso de esta investigación se analizó factores externos e internos, los cuales afectan a la localización de la unidad submarina en el transcurso de la navegación, estos análisis se los consiguió a través de estudios, investigaciones documental y estadística así como visitas al Escuadrón de submarinos de la Armada del Ecuador, en los que se realizó entrevistas a personal de Oficiales. Para el desarrollo del análisis a dicho problema se efectúa un pool de errores a fin de establecer la cantidad de los errores generados por un sistema de navegación inercial en una navegación submarina, permitiendo corregirlas y así alcanzar un buen nivel de efectividad en el posicionamiento de la unidad.

Abstract

This project is oriented to make an analysis of the corrections of inertial submarine navigation with the use of GPS which is the alternative to correct that mistakes, allowing us to have a more accurate position of the submarine. This investigation consisted in finding the way that the position offered by an inertial platform in an immersion navigation is as accurate as possible allowing the submarine to carry a navigation. The focus of this study was qualitative, since for the progress of this investigation external and internal factors were analyzed, which affect the determination of the location of the submarine unit in the course of navigation, these analyzes were achieved through of studies, investigations and visits to the submarine squadron of the Ecuadorian Navy, where interviews were carried out with the officers' personnel. For the development of the analysis to said problem, a pool of errors is made in order to establish the quantity of the errors generated by an inertial navigation system in an underwater navigation, allowing to correct them and thus achieve a good level of effectiveness in the positioning of the unity.

Introducción

Establecer una posición exacta de un submarino debajo del agua es casi imposible, por lo que no se cuenta con señales externas que presenten una posición en latitud y longitud real del submarino, pero existe un sistema que proporciona una información muy precisa, con ciertos errores pero que pueden ser calculados para incrementar la efectividad del sistema.

Para sustentar esta investigación se comenzó con las siguientes interrogantes, ¿Cómo es el funcionamiento de una navegación inercial?, ¿Cuáles serán los factores y los medios que influyen en los errores de la navegación inercial?, ¿Cómo posicionar el submarino en caso de emergencia o fallo de equipos de posicionamiento?, para lo cual se realizaron estudios y entrevistas con la finalidad solventar estas dudas y recopilar la información necesaria para el cumplimiento de este proyecto.

En el Capítulo 1 de este trabajo se detalla brevemente los conceptos de los temas relacionados a la navegación inercial, a la operación de los submarinos y componentes de una navegación en inmersión.

En el Capítulo 2 se encuentra la metodología de la investigación la cual describe la forma de trabajo que se aplicó en este trabajo para encaminar el trabajo hacia la obtención de resultados concretos. También se encuentran las entrevistas realizadas, con sus respectivos análisis, mismas que tuvieron un aporte fundamental a este proyecto investigativo.

En el Capítulo 3 se encuentra el análisis del resultado de la investigación mismo que se alcanzó mediante estudio de las correcciones que se le realizan a un sistema de navegación inercial. Además se encuentran las conclusiones y recomendaciones que dieron fruto del análisis de todo el proyecto de investigación.

CORRECCIÓN DE LA NAVEGACIÓN INERCIAL PARA LA NAVEGACIÓN SUBMARINA

Marco General de la Investigación

I. Planteamiento del problema

A. Contextualización. Incrementar la eficiencia de la navegación submarina, a través del uso de las correcciones de la navegación inercial que nos proporciona información basándose en sensores inerciales de una forma continua y a su vez usando el GPS poder corregir los errores, los cuales se ven afectados debido a una serie de fallos que afectan a la calidad de las mediciones, para el aprovechamiento de los submarinos de la Armada del Ecuador.

B. Análisis crítico. El cálculo de la navegación inercial a través de sensores inerciales, los cuales provocan fallas y errores en los cálculos de mediciones que pueden conllevar a una mala navegación, estos errores pueden ser sistemáticos y aleatorios; los sistemáticos son los que se les puede compensar a través de una correcta calibración de los sensores y los aleatorios son los que tienen que ver con la variación aleatoria de los factores que nos describen los errores sistemáticos, errores que son corregidos a través de la integración del sistema GPS en la navegación inercial.

C. Enunciado del problema. La utilidad de un sistema de navegación inercial así como la de otros sistemas de posicionamiento depende directamente de la precisión con la que ofrece la posición obtenida y de la seguridad que ofrezca, pero estos sistemas en los cálculos de posición presentan errores, los cuales pueden ser corregidos con la actualización del sistema GPS, se debe mencionar que hay diferencias entre una precisión a corto plazo y precisión a largo plazo, en las que tenemos que una precisión a corto plazo dependerá de la precisión de los acelerómetros mientras que en la precisión de largo plazo influirán los giróscopos.

D. Delimitación del objeto de estudio

Área de conocimiento : Servicios

Sub-área de conocimiento	: Servicios de Transporte
Campo	: Entorno de los errores de la navegación inercial
Aspecto	: Corrección de la navegación inercial.
Contexto temporal	: Navegación submarina
Contexto espacial	: Posición geográfica del submarino.

II. Preguntas

Pregunta 1

¿Cómo es el funcionamiento de una plataforma inercial?

Pregunta2

¿Cuáles serán los factores y los medios que influyen en los errores de la navegación inercial?

Pregunta 3

¿Cómo posicionar el submarino en caso de emergencia o fallo de equipos de posicionamiento?

III. Variables

Variable Independiente:

Conocimiento de errores que provocan la alteración de la navegación de un submarino al momento de utilizar la plataforma inercial, ayudas a la navegación y principales errores humanos y técnicos.

Variable Dependiente:

La Navegación segura, y la seguridad del submarino y del personal abordo.

IV. Justificación.

Durante el cumplimiento de las operaciones navales que cumple una unidad de submarino existen peligros que pueden atentar el bienestar y seguridad tanto del personal como del material a bordo de la unidad, en estas unidades se cumplen largos periodos de operación, en donde se realizan ejercicios de entrenamiento con miras a alcanzar el máximo grado de alistamiento para eso se necesita tener información clara y concisa de los sistemas que puedan ayudar en la navegación siendo uno de estos el sistema de navegación inercial, para llegar a esto es necesario de conocer los motivos que hacen que una plataforma inercial tenga ciertos errores.

V. Objetivos

A. General. Analizar el proceso en el uso de un sistema de navegación inercial, tomando en consideración el error producido por la plataforma inercial que pueden ser afectados por los medios en el que se navega, estableciendo sus correcciones, con la finalidad de aumentar la seguridad en la navegación del submarino.

B. Específicos

- Reconocer los principales usos del GPS en la navegación, con un estudio en una operación submarina, para que aporte de los datos que nos brinda una plataforma inercial.
- Determinar los errores producidos por la plataforma inercial durante una operación en inmersión, que podrían afectar en la seguridad de la navegación, mediante un análisis estadístico de los errores que surgen en un periodo de navegación, para llevar el respectivo control y modificación de los mismos.
- Identificar algún otro método que se pueda utilizar como ayuda a las referencias que nos brinda un sistema de navegación inercial, para mejorar la posición del submarino debajo del agua.
- Establecer factores que perjudican a la navegación submarina, mediante estudios y cálculos de los mismos para buscar la manera de contrarrestarlos.

Capítulo I

Fundamentación Teórica

1.1. Marco Teórico.

1.1.1. Submarino. Es un buque especial que tiene la capacidad de sumergirse y navegar bajo el agua además de desplazarse en superficie, esto debido a un sistema de flotabilidad variable, esto lo realizan gracias a un sistema de tanques en los que se pueden almacenar agua para descender aplicando el principio de Arquímedes: “El principio de Arquímedes afirma que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso de fluido desalojado” (sc.ehu., 2005). En relación con los submarinos cuando estén bajo el agua sufre de dos fuerzas: su peso propio que tira para abajo y el empuje hacia arriba. A una profundidad específica, estas fuerzas se igualan y el cuerpo queda entre dos aguas.

Para el momento de emerger los submarinos utilizan el aire comprimido, y a su vez expulsan agua de los tanques de lastres, mediante unas válvulas. Estos tanques de lastre se vacían en su totalidad al momento de que el submarino llega a la superficie, en lo que a la inmersión se refiere los submarinos siguen el siguiente procedimiento; el agua tiene su ingreso por las válvulas inferiores y el aire sale por las válvulas superiores.

La posición de equilibrio se obtiene por medio de los timones de inmersión que se encuentran situados de popa a proa.

Los submarinos son muy útiles desde el punto de vista militar porque son difíciles de detectar y destruir por el enemigo cuando navegan a una gran profundidad. Para el diseño de estos submarinos se toma mucho en cuenta las características del diseño para que al desplazarse lo hagan de una manera silenciosa y de esta forma evitar su detección, el sonido viaja en el agua mucho más fácilmente que en el aire, por lo cual el sonido de un submarino es su característica más fácilmente de detectar, y unos de sus puntos más débiles. Algunos submarinos ocultan su sonido tan bien que en realidad crean una zona silenciosa a su alrededor, que también puede detectarse.

Las Condiciones oceanográficas son las que determinan la profundidad a la que debe estar el submarino, ya sea para una navegación con seguridad, para una mejor detección de sus respectivos sensores o para evitar ser detectado por otra embarcación. (Loor, 2016, pág. 25).

1.1.2. Navegación submarina. El sueño humano de navegar en los abismos del fondo del mar comenzó a realizarse hace más de 400 años, cuando ya otros hombres navegaron bajo las olas protegidos por campanas de aire.

Pero los primeros intentos de navegar debajo del agua se remontan a los siglos XVI y XVII, William Bourne fue el primero en diseñar un sumergible en 1578, y en esos diseños se inspiró Cornelius Drebbel para construir entre 1620 y 1624 un submarino dirigible con una estructura de madera recubierta de cuero. (Desequilibrios, 2010). (Ver Figura 1).



Figura 1. Primer submarino en la historia.
Fuente. Desequilibrios, 2010.

En un principio los submarinos fueron usados para llevar a cabo exploraciones acuáticas, pero pronto se los convirtió en armas de guerra. El primer sumergible del que se tiene una información fidedigna fue elaborado en el año de 1620 por un holandés al servicio de Jaime I de Inglaterra llamado Cornelius Jacobszoon Drebbel.

Estas embarcaciones fueron puestos a prueba en el Támesis entre 1620 y 1624, los militares al observar el potencial que podían tener estos prototipos decidieron adquirirlos en sus flotas y es a partir de allí que su desarrollo fuese más rápido. (neoteo, 2008).

El primer submarino que fue utilizado en una operación militar tenía forma de huevo y sólo llevaba a bordo a una sola persona. Fue bautizado como La Tortuga y creado en el año de 1776 por el ingeniero estadounidense David Bushnell, la idea era usar el submarino para colocar pequeños explosivos en el fondo de los navíos británicos.

Este submarino era propulsado por dos dispositivos parecidos a unos tornillos que se los hacía funcionar manualmente, el submarino se sumergía cuando una válvula dejaba entrar el agua de mar en un tanque de lastre y salía a superficie cuando el agua era expulsada por una bomba manual. Como esta nave no tenía fuente alguna de oxígeno mientras estaba bajo el agua, esto solo le permitía al submarino sumergirse por un periodo de media hora.

Los submarinos no empezaron a cobrar importancia en las guerras hasta la 1ª Guerra Mundial, cuando Alemania comenzó a usarlos primordialmente para hundir cruceros británicos.

1.1.3. *Importancia de posicionarse en el mar.* En la navegación marítima es de gran importancia que se tenga conocimiento de la posición de una unidad. Puesto que en alta mar, conocer la velocidad, la posición exacta y la derrota son necesarios para que la unidad llegue a su destino de la manera más segura posible.

Los sistemas de navegación dieron solución a un problema en la antigüedad, el cual era la importancia de conocer la posición de una unidad sobre la superficie terrestre, ya que sin el conocimiento del mismo, los movimientos de las unidades estaban restringidas a basarse en puntos de referencia conocidos y fijos, y los movimientos marítimos debían basarse a una franja de mar que era visible en la costa, motivo por el cual el hombre al principio de la navegación se basó en la observación de los astros para así obtener referencias espaciales y temporales.

La aparición de nuevos sistemas de posicionamiento provino principalmente, de los inventos en las telecomunicaciones, de los intereses militares, los cuales buscaban determinar la posición de las unidades que

comandaban un ataque para guiarlas hacia sus objetivos y alcanzar la misión deseada, para esto se desarrollaron dos métodos distintos de navegación: Radiolocalización y Navegación inercial.

En una Navegación en aguas profundas los submarinos pueden determinar su posición mediante:

- Navegación por estima o DR, alimentados por los datos obtenidos por el girocompás, por la velocidad que tiene el submarino y las estimaciones dadas por las corrientes oceánicas.

- Por sistemas de navegación inercial la cual se trata de una posición estimada, este sistema utiliza la desaceleración, la aceleración y cabeceo. (Padró, 2015).

1.1.4. Navegación inercial. Es un sistema cuya función primordial es la de estimar la orientación, la velocidad y la posición de un cuerpo móvil en ausencia de referencias externas como es el de los sistemas de posicionamiento global. Pero para mejorar la precisión de estos sistemas se combina su uso con magnetómetros y el mismo GPS. (Barone & Rodriguez, 2016, pág. 13).

En Agosto de 1958 el Nautilus, el primer submarino nuclear operacional del mundo cruzaba las gélidas aguas del ártico sumergido bajo el casquete polar. En su viaje de más de 1500 Km. bajo las aguas y a ciegas se utilizó por primera vez un sistema inercial para calcular la posición. El sistema estaba basado en giróscopos mecánicos de gran precisión, el cual resultó ser muy voluminoso ocupando todo un compartimento. (Greatbustardsflight, 2015).

1.2. Marco Conceptual.

1.2.1. Sensores Inerciales. Un sensor inercial es un sensor que mide velocidad angular y aceleración, estos tipos de sensores son utilizados en aplicaciones de captura y en análisis de movimiento. Estos sensores están compuestos por giróscopos, acelerómetros y magnetómetros, con estos tres sensores es posible analizar el movimiento que realiza el sensor inercial completo ya sea en el plano o en el espacio. (Algaba, 2013, pág. 42).

1.2.2. Long Rang Navigation. Es un sistema de posicionamiento que fue desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial con el propósito principal de guiar los convoyes por el Océano Atlántico en unas condiciones meteorológicas no favorables. En este tipo de sistema se utilizaba una frecuencia de 1.95 MHz el cual les proporcionaba una cobertura alrededor de 1500 millas en el mar. El LORAN es considerado como el primer sistema de navegación que se podía utilizar en todo tipo de clima y posición, la precisión que brindaba era de 1.5 Km. (catalonia, s.f.)

1.2.3. Sistema Omega. Es un sistema de posicionamiento que tenía una cobertura global pero que contaba con pocas estaciones transmisoras, este sistema funcionaba a 10-14 KHz, por lo que la propagación que tenía era esférica. A pesar de la utilización de este sistema en algunas unidades, no era muy recomendable puesto que la precisión que brindaba era muy pobre. (catalonia, s.f.).

1.2.4. Giróscopo. Un giróscopo o giroscopio es un instrumento inercial con una característica esférica en su forma, que tiene un objeto en su centro en forma de disco, tiene un soporte cardánico, para que pueda girar libremente en cualquier dirección que sea sobre su eje de simetría. (ciencia popular, 2008).

Es un dispositivo el cual se encarga de cuantificar las rotaciones, este dispositivo es capaz de medir velocidades angulares, entre lo más comunes que se usan a bordo tenemos a los electros mecánicos, en algunos casos también son usados los ópticos. Las mediciones de este tipo de sensor inercial se ven afectados por la rotación terrestre por encontrarse en la superficie

terrestre (Ver Figura 2). (Algaba, 2013, págs. 55, 57)

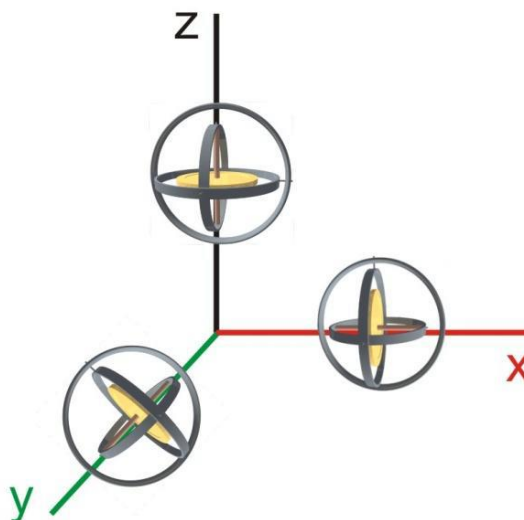


Figura 2. Triada de Giróscopo.
Fuente. Algaba, 2013.

1.2.5. Acelerómetro. Es un dispositivo que tiene como función principal el de encargarse de medir las aceleraciones, vibraciones y oscilaciones en muchas máquinas e instalaciones, estos dispositivos se encuentran formado por una masa M que se encuentra conectada a una carcasa a través de dos muelle o resortes (Ver figura 3). Existe un estado de reposo en el cual los dos resortes ejercen una fuerza sobre la masa M igual y contraria.

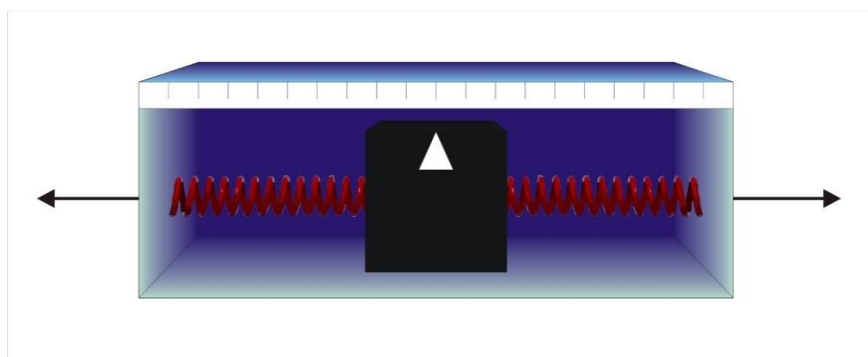


Figura 3. Ilustración de un acelerómetro junto con el eje de mediciones.
Fuente. Algaba, 2013.

Si una fuerza actúa sobre el acelerómetro, proporcionándole una aceleración ' a ' en una dirección paralela a la del eje de ambos muelles, la masa M se desplazará hacia el lado opuesto al de aplicación de la fuerza

debido a la inercia por mantener su estado de reposo, y este desplazamiento será proporcional a la aceleración sufrida. Si se calibra dicho estado de reposo como un estado en la que la aceleración es igual a cero, y se calibra igualmente el desplazamiento de la masa M con respecto a las aceleraciones sufridas en la dirección del eje de los muelles y en ambos sentidos, tendremos un dispositivo capaz de medir la aceleración.

Pero la fuerza y la aceleración aplicada al acelerómetro deben considerarse dentro del entorno terrestre, con una gravedad, según un modelo gravitatorio, el cual produce una aceleración constante de 9,8 metros por segundo en dirección vertical y sentido hacia abajo.

Una vez que el acelerómetro nos proporciona una determinada medida de las aceleraciones sufridas por las fuerzas externas a excepción de la gravedad, debe tenerse en cuenta que un acelerómetro solo mide aceleraciones producidas en direcciones paralelas a la de los ejes de sus muelles. Es decir, un acelerómetro cuyos muelles se encuentren colocados en el eje Norte-Sur solo medirá aceleraciones en dicho eje, pero no aceleraciones verticales ni en el eje Este-Oeste. (Algaba, 2013, pág. 52).

1.2.6. Magnetómetro. Es un dispositivo o instrumento que tiene la capacidad de medir el campo magnético a su alrededor, en satélites de órbita baja se lo utiliza como sensores que sirven de referencia en el control de apuntamiento de un satélite, este dispositivo puede tener desde uno hasta tres ejes de medición que son utilizados en dispositivos móviles submarinos, aeronaves, entre otros.

Al momento de combinar la magnitud con la que el campo magnético influye sobre el sensor, teniendo en cuenta como referencia el modelo magnético de la tierra y conociendo la ubicación geográfica del satélite es posible obtener su orientación. (Jiménez, 2012)

1.2.7. Global Positioning System (GPS). Es un sistema que tiene como principal objetivo determinar la correcta posición respecto de un sistema de referencia mundial. Tiene una constelación de 29 satélites los cuales tienen una órbita de 26.500 km de radio, tiene una estructura de manera de que se le facilite a cualquier observador situado en cualquier punto de la superficie terrestre tenga en la vista por lo menos 4 satélites, eso se hace posible mediante trilateración, esto corresponde al cálculo de la posición del usuario. (Algaba, 2013, págs. 78, 79).

El Global Positioning System es utilizado en la actualidad por muchos otros sistemas e inclusive ya es una herramienta de trabajo, por ejemplo es utilizado en la navegación submarina como parte de corrección de los errores causados por los sensores inerciales, también así mismo son utilizados al momento de que el submarino navegue en la superficie para dar coordenadas correctas y específicas.

El GPS proporciona el método más rápido y preciso para que los navegantes puedan llevar a cabo un trayecto de navegación, medir su velocidad y determinar su posición en todo el mundo con mayor seguridad y eficiencia. En la actualidad los marinos y los oceanógrafos están empleando con mucha más frecuencia información que es obtenida con el GPS para la topografía submarina.

EL Global positioning System como tal es un sistema que provee errores en la precisión que ofrecen, para la mejora del GPS básico existe el GPS diferencial o también conocida como DGPS, la cual va a proporcionar una mayor seguridad y precisión de las operaciones marítimas en la zona de cobertura de este sistema. En la actualidad estos sistemas están revolucionando la navegación marítima, tanto así que con la frecuente utilización de estos, llevarán a la eliminación de las cartas náuticas que han sido las tradicionales para llevar la navegación.

El sistema GPS hasta el año 2000 tenía una exactitud de 100 m, mientras que a partir de esa fecha se les han añadido sistemas que han contribuido a la mejora del mismo, para llegar a una exactitud de posición de 25 m. Entre

los principales motivos que producen errores y que influyen en la exactitud final de la posición que determina el GPS tenemos: los relojes de los satélites y la desviación de la órbita, los ruidos de los receptores, que dependen de la calidad de estos, con el fin de evadir estos errores que sufre el sistema GPS y tratar de conseguir una mayor exactitud, se puso a punto el sistema diferencial llamado DGPS (Differential Global Positioning System).

Este sistema DGPS se encuentra basado en las señales emitidas por el GPS y con las estaciones que son referencia en tierra, cuya posición es conocida, transmite y calcula las respectivas correcciones que los usuarios deben de aplicar a los datos que ofrece el GPS para así poder obtener una posición más certera dentro de la zona que está cubierta por las emisoras. El funcionamiento del sistema consiste en que la estación que hace referencia determina la posición a partir de las señales emitidas por el GPS y comparándola con la posición conocida, calcular las correcciones o diferencias las cuales van a ser aplicadas a los resultados obtenidos por los satélites para así hacer que ambas posiciones coincidan. (www.puertos.es, 2015).

Estas correcciones podrán ser aplicadas en todo el radio de acción de los radiofaros marítimos que son aproximadamente 200 millas náuticas, los cuales son la distancia a las que podrán ser transmitidas a los barcos, las correcciones calculadas por la estación de referencia. Esta limitación en el alcance hace que a este tipo de sistema de posicionamiento se le llame de cobertura local. Las ventajas con las que cuenta el DGPS frente al GPS son una integridad del orden de pocos segundos y una exactitud en la posición mejor de 10m (2dRMS). (www.puertos.es, 2015).

1.2.8. Errores en los sistemas inerciales. Estos sensores inerciales se ven afectados por una gran cantidad de fallos los cuales influyen a la calidad de las mediciones que se obtienen. Estos fallos pueden contraerse mediante un diseño, construcción y mantenimiento de los sensores, para de esta manera se pueda confiarse en que las mediciones determinadas por los sensores sean fiables.

Entre los errores más comunes que sufren este tipo de sistemas tenemos dos grupos:

Errores sistemáticos. Son todos los errores que pueden ser equilibrados mediante una correcta calibración.

Errores aleatorios. Son todos los errores que están relacionados con la variación aleatoria de todos los errores que describen los errores sistemáticos.

1.2.9. Sistema integrado Ins/Gps. Los sistemas integrados; INS (sistema de navegación inercial (Inertial Navigation System)/ y GPS (Global Positioning System) son aquellos sistemas que están formados por la combinación de un receptor GPS y un sistema inercial.

El trabajo producto de la combinación de estos dos sistemas resulta sumamente ventajosa, la integración deja a un lado las desventajas de cada uno y proporciona una navegación más precisa y más segura de la que ofrecen ambos sistemas cuando operan por separado en la embarcación.

La integración de estos sistemas ofrece las siguientes ventajas:

Precisión: A pesar de poseer sensores altamente precisos, un sistema de navegación inercial genera errores en sus resultados, por lo tanto surge la necesidad de ayudar a este sistema con otro que corrija sus errores, este es el GPS, el cual cumple con esta cualidad, por lo tanto la asociación de estos dos sistemas tiene como resultado un control del aumento del error en el sistema inercial.

Velocidad de datos: La velocidad de datos producida por el sistema inercial de navegación es mucho mayor a la que ofrece el GPS, es tan alta que llega a lo que puede computar el procesador del sistema, La señal de un GPS es por lo general de 1 Hz en equipos comunes y es de 10 Hz en equipos que son más sofisticados, pero esta cantidad de datos no es suficiente para el manejo de un buque por medio de pilotos automáticos. La combinación de estos dos sistemas brinda como resultado un sistema que es capaz de suministrar una velocidad de datos que es suficiente para las aplicaciones necesarias.

Disponibilidad: El sistema GPS es un sistema que es dependiente del exterior, es un sistema que depende de las señales emitidas por el segmento de satélites. Es por esto que el receptor GPS a veces puede ser afectado por cortes en las señales e interferencias. Por el otro lado el sistema inercial es independiente y prácticamente inmune a influencias exteriores. La combinación de ambos sistemas ofrece una solución continua de la navegación, aun en periodos en los que el sistema GPS se vea afectado por algún error.

Capítulo II

Fundamentación Metodológica

2.1. Modalidad de la Investigación. Este proyecto se basó en una investigación aplicada o científica, debido a que se centró en un estudio intensivo del estado de la plataforma inercial con el propósito de interpretarla y explicar sus causas y efectos, de acuerdo (Blasco, 2012) el enfoque cualitativo es: “señalan que la investigación cualitativa estudia la realidad en su contexto natural y cómo sucede, sacando e interpretando fenómenos de acuerdo con las personas implicadas.” en esta investigación se verificó los errores de la plataforma inercial en una navegación submarina.

Además de esto también fue necesario la consulta a personal que ha prestado servicios en los submarinos ecuatorianos o a su vez se encuentren realizando el curso de submarinistas, los cuales son especializados en el tema, y que aportaron a la orientación en esta búsqueda de información para conseguir el objetivo deseado.

2.2. Método de la investigación. El enfoque de investigación fue cualitativo, debido a que se aplicaron entrevistas las cuales ofrecieron información acerca de la navegación del submarino, usando sistemas de navegación inercial, especialmente en las unidades de submarinos de la Armada del Ecuador.

A partir del estudio de los errores sufridos por los sistemas de navegación inercial en los submarinos del Ecuador, se buscó las posibles variables que facilitaron esta investigación para lograr la corrección de esos errores o asimilar estos errores para mantener la navegación segura.

2.3. Alcance o tipo de Investigación. El nivel de investigación fue exploratorio, ya que se reconoció y se identificó los determinados problemas que afectan en la navegación submarina para conocer la correcta aplicación del sistema GPS en el sistema de navegación inercial, para realizar la corrección de sus fallas.

Cuando se habla sobre el alcance de un proyecto de investigación no necesariamente se debe pensar en la tipología, porque más que una clasificación, lo que indica el alcance o nivel de investigación es el resultado que se espera del estudio que se está realizando (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).

2.4. Diseño de la Investigación. Esta investigación fue de tipo no experimental, ya que no estuvo sujeto a ningún tipo de experimentación ni descubrimiento sino que se verificó medidas y procedimientos, lo que se realiza en una investigación no experimental es observar fenómenos o problemas tal como de dan en un contexto natural, para posteriormente analizarlos y sacar las respectivas conclusiones. Aquí se analizaron errores en una navegación submarina que son producidos por la plataforma inercial, y también del aporte del sistema GPS que será destinado para corregir esos errores y mantener la navegación de un submarino y la seguridad de estas unidades.

(Kerlinger, 2002). Sostiene que generalmente se llama diseño de investigación al plan y a la estructura de un estudio. Es el plan y estructura de una investigación concebidas para obtener respuestas a las preguntas de un estudio. El diseño de investigación señala la forma de conceptualizar un problema de investigación y la manera de colocarlo dentro de una estructura que sea guía para la experimentación (en el caso de los diseños experimentales) y de recopilación y análisis de datos.

Esta investigación fue de tipo transversal porque se analizaron diferentes variables en un mismo momento del tiempo en relación a los errores que producen los sistemas navegación inercial los cuales afectan en la navegación submarina, y buscar las medidas que se pueden aplicar para manejar esos errores y que puedan ser calculados de manera más rápida.

2.5. Población y muestra.

Población:

La población objetivo de la presente investigación es el personal de submarinistas de la Armada del Ecuador que se encuentren prestando

servicios en los submarinos o a su vez que hayan estado cumpliendo funciones en los mismos para evidenciar las medidas que se toman para calcular el nivel de errores de los sistemas inerciales en las navegaciones submarinas y el papel que cumple en estas operaciones el Global Positioning System (GPS).

2.6. Técnica de Recolección de datos. La técnica de recolección de datos fue de campo, debido que se realizó una intervención a personal especializado en el tema ya que tienen todos los conocimientos en relación a los submarinos, para evidenciar los errores que intervienen en la navegación submarina, así como también las medidas que pueden tomarse para minimizar el nivel de errores generado por sistemas que se utilizan en dicha navegación.

2.7. Procesamiento y análisis de Datos.

La entrevista. Se realizó entrevistas a personal de la rama de submarinos que han prestado servicio en estas unidades, o tengan conocimiento en el tema con la finalidad de alcanzar los objetivos del estudio.

2.8. Técnicas de Análisis de Datos. Como parte de aporte a este proyecto se realizaron intervenciones en el submarino Shyri de la Armada del Ecuador, en el cual se obtuvieron datos de las navegaciones en inmersión, en donde funciona la plataforma inercial como sistema de posicionamiento de la unidad, y es mediante esto se puede establecer una comparación entre los datos que ofrece la plataforma inercial y el Global Positioning System al momento de llegar a superficie, este es el momento en el cual se puede identificar el nivel de error de posición de la plataforma inercial con el punto de posición que se recibe por las antenas del submarino que proporciona el sistema GPS.

En las visitas que se realizaron al submarino Shyri se realizaron entrevistas y consultas a oficiales de esta rama, los cuales ayudaron para que adquiriera conocimiento sobre el funcionamiento de una plataforma inercial en una navegación submarina, y el aporte que ofrece el Global positioning system (GPS) para establecer una posición más real a la que dio la plataforma inercial, estas investigaciones también aportaron en la toma de conocimiento

de cuáles son los pasos que se realiza en una navegación si la plataforma inercial no funcionara, para poder seguir con la navegación normal pero por otro método sin la necesidad de salir a superficie para usar las antenas receptoras del GPS.

ENTREVISTA:

Pregunta 1.

¿Qué sistemas permiten dar la posición del Submarino y qué información brindan?

Respuesta 1 por: TNNV-SS Carlos Viera.

Existen sólo 2 sistemas que son el GPS y la plataforma inercial, estos sistemas aparte de dar la posición del submarino, también ofrecen velocidad, rumbo entre otros datos.

Respuesta 2 por: TNFG-SS José Vera.

Son 2 sistemas, en superficie el Global Position System que nos brinda la velocidad, rumbo, curso, posición en latitud y longitud del submarino. Sumergido el submarino, el sistema que se usa es el de navegación Inercial que nos brinda posición en latitud y longitud, velocidad y profundidad del submarino.

Análisis:

Para posicionar un submarino sólo se lo puede realizar por 2 métodos que dependen del exterior y que ofrecen los datos para poder llevar una navegación, pero también existe otro método en el cual se puede hacer que el submarino mantenga su trayecto, esta es de navegación por estima, la cual se aplica en momentos que no se cuenta con los 2 sistemas de posicionamiento.

Pregunta 2.

¿Cómo funciona la plataforma Inercial?

Respuesta 1 por: TNNV-SS Carlos Viera.

Esta plataforma a través de un giróscopo emite una posición que es muy similar a la de un GPS, y que la transmite a una hoja de ploteo electrónica para mantener el submarino en el trayecto de la navegación.

Respuesta 2 por: TNFG-SS José Vera.

Esta plataforma da una posición cuando el submarino se encuentra navegando en inmersión y con un pool de errores establece un círculo en el cual el submarino puede encontrarse navegando.

Análisis:

Navegando en inmersión, la plataforma inercial es el único sistema que nos brinda una navegación con éxito, que con ayuda de giróscopos que regulan los factores externos como corriente, velocidad, etc. Pueden dar una latitud y una longitud en el cual el submarino puede encontrarse y así poder mantener el track de la navegación.

Pregunta 3.

¿Cuánto es el error que produce la plataforma inercial en la navegación submarina?

Respuesta 1 por: TNNV-SS Carlos Viera.

Tiene un error de fábrica de aproximadamente 250 yardas por cada hora de navegación.

Respuesta 2 por: TNFG-SS José Vera.

Es de 250 yardas de error por hora.

Análisis:

El error de fábrica de una plataforma está establecida en unas 250 yardas por cada hora navegada, esto tomando en cuenta lo que a una plataforma inercial se refiere.

Pregunta 4.

¿En inmersión cada qué tiempo el submarino sale a Profundidad de Periscopio?

Respuesta 1 por: TNNV-SS Carlos Viera.

Son 2 veces al día, por la mañana y por la tarde para cargar las baterías.

Respuesta 2 por: TNFG-SS José Vera.

Por lo general son cada 12 horas para cargar baterías y es aquí donde por medio de la Antena de comunicaciones del submarino, este reciba señal del GPS para actualizar la posición exacta y eliminar los errores de la plataforma inercial.

Análisis.

Por lo general en una navegación un submarino requiere salir 2 veces al día a profundidad de periscopio para poder cargar sus baterías en snorkel y este es el momento en el que se actualiza la posición real por el GPS y anula los errores de la plataforma inercial.

Pregunta 5.

¿Cuáles son los errores en la navegación submarina?

Respuesta 1 por: TNNV-SS Carlos Viera.

En una navegación, el posicionamiento de un submarino se ve afectado de algunos errores como el de la plataforma inercial, error por velocidad, por corriente.

Respuesta 2 por: TNFG-SS José Vera.

Error de la plataforma inercial, error por posición y el error por velocidad y error por GPS.

Análisis.

Existen varios errores que son los que afectarán a los cálculos que se realiza en una navegación submarina, los cuales deben de ser tomados en cuenta al momento de obtener resultados.

Pregunta 6.

¿Cuánto es el error del GPS y cómo se lo corrige?

Respuesta 1 por: TNNV-SS Carlos Viera.

El GPS tiene aproximadamente un error de 50 yardas.

Respuesta 2 por: TNFG-SS José Vera.

Es de 50 yardas, y se lo corrige por el sistema DGPS, Diferencial Global Position System.

Análisis.

La posición que ofrece un GPS hacia un buque tiene un error de 50 yardas esto señala que el submarino estará cerca de una posición dentro de las 50 yardas en relación a la latitud y longitud que ofrece el GPS, pero el DGPS logra dar una posición más correcta.

Pregunta 7.

¿Cómo funciona el sistema DGPS?

Respuesta 1 por: TNNV-SS Carlos Viera.

A través de unas repetidoras del Global Position System, las cuales mejorarán la posición que fue dada por el GPS.

Respuesta 2 por: TNFG-SS José Vera.

En tierra existen repetidoras del Global Position System, que son puntos fijos, que dan una marcación más exacta y junto con la señal de los satélites del GPS dan una posición más exacta.

Análisis.

El Global positioning System también sufre de errores y para lo cual el DGPS logra corregir un poco ese error esto se debe que por ser un sistema que aparte de recibir una señal de las antenas GPS, tiene unas antenas fijas en la tierra que mejorarán la posición.

Pregunta 8.

¿En caso de funcionamiento erróneo de la plataforma inercial, qué otro método se podría usar para navegar en inmersión?

Respuesta 1 por: TNNV-SS Carlos Viera.

Lo que se debe de hacer es mantener la última ubicación y seguir navegando por estima, y como parte de seguridad también se recomienda realizar navegación por veriles, para mantener segura la unidad y su personal.

Respuesta 2 por: TNFG-SS José Vera.

Realizar navegación por estima, manteniendo la última posición dada por la plataforma, o salir a superficie para recibir señal del GPS.

Análisis.

La navegación por estima permite mantener el trayecto de un submarino en una operación, en el caso de que la plataforma no esté trabajando adecuadamente, y tomando las medidas de seguridad correspondiente se podrá llevar a cabo una navegación.

CAPÍTULO III

Tipo De Resultado

3.1. Resultado de la Investigación. Mediante el análisis de los datos obtenidos en las entrevistas al personal de Señores Oficiales y Tripulantes del Escuadrón de Submarino, se pudo determinar que los factores que afectan en la navegación inercial podrían ser provocados por diferentes maneras, por ejemplo, errores de precisión que podría tener la plataforma inercial, así como los errores de la corredera que causarían fallas en el cálculo de la posición, también el GPS el cual por medio de los satélites da señales a los buques estableciendo su posición, la cual no es exacta pero que puede ser disminuida.

Los factores humanos también afectan al cálculo de la navegación esto es con relación a las cartas náuticas las que al momento de utilizarlas se ven sometidas a ciertos errores de los ploteadores los cuales son los encargados de llevar la navegación en la carta, como por ejemplo el mal cuadra miento de la carta, los errores en la precisión que tienen los equipos usados en este sistema de navegación, también afectan en los cálculos de posición del submarino, pero son errores establecidos por los fabricantes y esto hace que se pueda tomar en consideración para los cálculos correspondientes.

En este análisis se obtuvo la siguiente información, que una vez el submarino se encuentre sumergido en el agua ya no tiene la capacidad de receptar señales externas, lo cual impide poder posicionar al submarino por ese método, siendo la plataforma inercial el único sistema que puede ser aplicado para llevar la navegación en inmersión, plataforma que para sus cálculos, toma en consideración factores externos, y a través de los giróscopos con los que cuenta, busca nivelar y estabilizar el submarino permitiendo dar una posición casi exacta, siendo esta información lo suficiente precisa para que la navegación se la pueda realizar de forma serena en las profundidades del mar sin correr riesgos innecesarios, pero a pesar de la fiabilidad que ofrece esta plataforma, puede darse la ocasión de que en el transcurso de la operación del submarino, la plataforma deje de presentar la

posición de la unidad, y es entonces en esta situación que resulta fructuoso la ejecución de la navegación por estima que se tiene que haber realizado conforme avanzaba la navegación y mediante esta posición estimada seguir navegando sin la necesidad de realizar una maniobra de emergencia buscando salir a profundidad de periscopio, que es en donde se podría recibir la señal del GPS.

3.2. Análisis.

3.2.1 Datos informativos.

a) Título del proyecto de investigación.

“Realizar un cuadro analítico con las correcciones de un sistema de navegación inercial de una navegación submarina, para interpretarlas y asimilarlas de la mejor manera para facilitar su corrección.”

En los siguientes cuadros se podrá establecer el nivel de error que presenta la plataforma inercial con respecto a los datos que ofrece el GPS al momento de que el submarino alcanza a llegar a superficie.

Tabla 1

Datos de Navegación Submarina Día 1.

DIA 1					
HORA	POSICIÓN POR PLATAFORMA INERCIAL	POSICIÓN POR GPS	PROFUNDIDAD	VELOCIDAD	RUMBO
1000	02°04,42' S 81°17,52' W	02°04,12' S 81°17,60' W	12 metros	2,8 Nds.	290°
1100	02°03,22' S 81° 18,14' W	-----	40 metros	2,7 Nds	20°
1200	01°58,54' S 81°16,32' W	-----	40 metros	3,8 Nds.	40°
1300	01°55,26' S 81°14,99' W	-----	40 metros	3,6 Nds.	5°
1400	01°51,55' S 81°14,61' W	-----	40 metros	3,4 Nds.	5°
1500	01°48,73' S 81°15,13' W	-----	12 metros	2,5 Nds.	0°
1600	01°45,91' S 81°14,87' W	01°46,45' S 81°14,61' W	14 metros	2,3 Nds	0°

1700	01°42,79' S 81°14,94' W	01°42,79' S 81°14,94' W	14 metros	2,7 Nds.	0°
1800	01°40,06' S 81°14,78' W	01°40,06' S 81°14,78' W	14 metros	2.7 Nds.	5°
1900	01°35,46' S 81°14,01' W	-----	40 metros	3,8 Nds.	15°

Análisis del Día 1.

Este día el submarino empieza la navegación a las 1000H recibiendo como última posición del GPS a esta hora, posteriormente el submarino empieza con la navegación en inmersión en donde va a comenzar a usar la plataforma inercial, ya luego de 4 horas de navegación el submarino vuelve a la superficie y es aquí el momento en el que se puede comparar la posición de la plataforma inercial y la del GPS, teniendo en este caso a las 1500 una posición más real que la que ofrece la plataforma inercial, entonces se la procede a actualizar para continuar con la navegación anulando los errores que había dado la plataforma hasta esta hora.

Análisis del día 2, y 3.

En estos días la situación va a ser la misma que en la del día 1, lo que cambiará será la hora en la que el submarino recibirá la señal del GPS, pero también se debe de tomar en cuenta el cambio de rumbo y de velocidad que el submarino tuvo antes y durante la actualización de la posición de la plataforma inercial hacia la del GPS.

Tabla 2

Datos de Navegación Submarina Día 2.

DIA 2					
HORA	POSICIÓN POR PLATAFORMA INERCIAL	POSICIÓN POR GPS	PROFUNDIDAD	VELOCIDAD	RUMBO
0300	2°21,67' S 81°09,71' W	-----	40 metros	3,6 Nds.	320°
0400	2°19,30' S 81°11,65' W	-----	40 metros	3,8 Nds.	314°
0500	02°16,27' S 81°14,84' W	-----	40 metros	3,7 Nds.	335°
0600	02°14,07' S 81°15,75' W	-----	14 metros	4,3 Nds.	357°

0700	02°10,44' S 81°16,03' W	02°11,37' S 81°15,92' W	14 metros	2,4 Nds.	46°
0800	02°08,72' S 81°16,49' W	02°08,72' S 81°16,49' W	12 metros	2,5 Nds.	0°
0900	02°05,83' S 81°16,44' W	02°05,83' S 81°16,44' W	12 metros	2,7 Nds.	30°
1000	02°04,42' S 81°17,52' W	02°04,42' S 81°17,52' W	12 metros	2,8 Nds.	290°
1100	02°03,22' S 81°18,14' W	-----	40 metros	2,8 Nds.	20°

Tabla 3

Datos de Navegación Submarina Día 3.

DIA 3					
HORA	POSICIÓN POR PLATAFORMA INERCIAL	POSICIÓN POR GPS	PROFUNDIDAD	VELOCIDAD	RUMBO
1000	00°50,96' S 81°03,42' W	-----	40 metros	4,1 Nds	20°
1100	00°47,51' S 81°02,57' W	-----	40 metros	3,5 Nds	20°
1200	00°44,40' S 81°01,47' W	-----	40 metros	3,7 Nds	20°
1300	00°40,89' S 81°00,72' W	-----	39 metros	3,8 Nds	5°
1400	00°38,66' S 80°59,33' W	-----	14 metros	4,0 Nds	23°
1500	00°36,54' S 80°59,20' W	00°37,87' S 80°59,28' W	12 metros	3,1 Nds	20°
1600	00°34,60' S 80°57,89' W	00°34,60' S 80°57,89' W	14 metros	4,4 Nds.	0°
1700	00°32,17' S 80°58,14' W	00°32,17' S 80°58,14' W	14 metros	3,2 Nds	25°
1800	00°30,80' S 80°57,21' W	00°30,80' S 80°57,21' W	14 metros	3,3 Nds.	45°
1900	00°28,32' S 80°57,49' W	00°28,32' S 80°57,49' W	14 metros	3,3 Nds	300°
2000	00°24,98' S 80°56,14' W	-----	40 metros	4,8 Nds	30°

b) Antecedentes. Con el objeto de establecer una base segura, es necesario analizar e identificar los diferentes factores que afectan a la navegación, de cuantificarlos y posteriormente aplicar las respectivas correcciones que se derivan de ese estudio, con la finalidad de determinar con

la mayor exactitud posible el lugar donde se navega, a esto se le conoce como pool de errores. Entre la medición de estos factores tenemos:

- Corriente.
- Velocidad.
- Rumbo.
- Veriles.
- Situaciones geográficas.

También se tiene aproximaciones y errores, que son los que van a determinar la posibilidad de predecir la posición exacta en la cual el submarino se encuentra navegando, después de un tiempo dado.

El cálculo del pool de errores se da, por las capacidades de las plataformas inerciales, aportado por las experiencias obtenidas por las operaciones, con lo cual se ha llegado a lo siguiente:

Tomando en consideración el error que es asignado por el fabricante de la plataforma, el cual considera el máximo error que puede tener el equipo, este error es de 250 yardas en 1 hora, los errores con los que se sufre son los siguientes:

1) **ERROR EN LA SITUACION:**

G.P.S. +/- 50 YDS.

2) **ERROR EN LA NAVEGACION ADELANTADA**

1.- Error Direccional

* Transmisión : $\frac{1}{2}^{\circ}$

* Encuadramiento de la carta : $\frac{1}{2}^{\circ}$

Total 1 $^{\circ}$

2.- Error de distancia

* Inducción de error por referencia de corredera : 1 %

* Transmisión : 1 %

* Encuadramiento de la carta : 0,5 %

Total 2,5 %

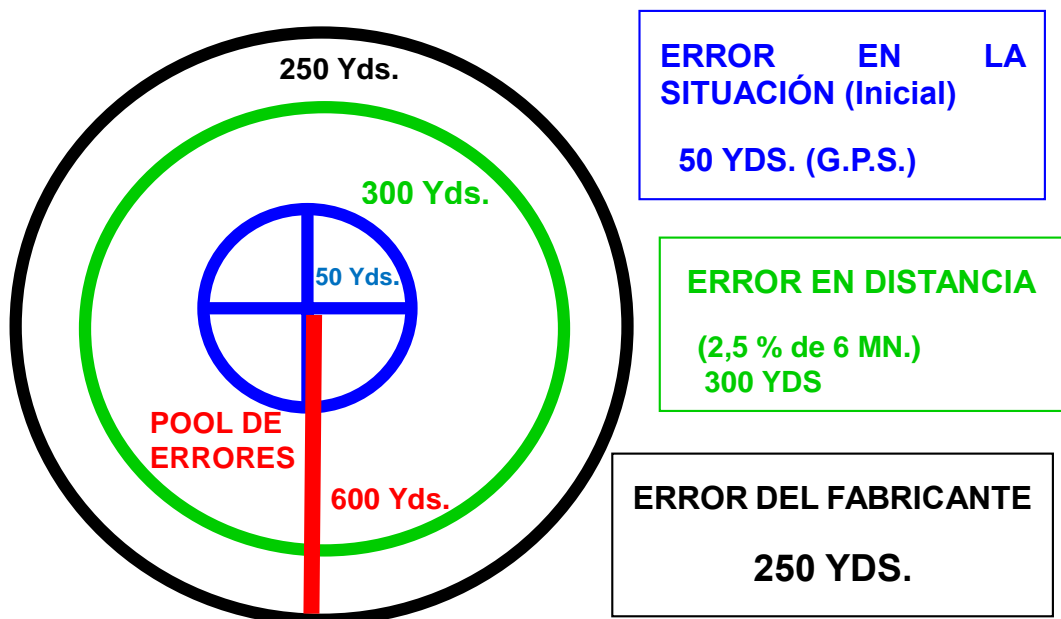
A continuación se va a realizar un ejemplo sencillo en el cual se va a seguir los pasos para llegar al cálculo de los errores en la navegación.

EJEMPLO 1:

Un submarino se encuentra navegando y la última situación por G.P.S fue a las 12:00 horas con Rumbo Verdadero de 000° y una velocidad de 6 nudos. Se requiere el Pool de errores a las 13:00 horas.

- 1) Error de situación: 50 yardas.
- 2) Error en la navegación adelantada:
 - En dirección: 1 grado.
 - En distancia: 300 yardas (2,5% de la distancia navegada en 1 hora).
- 3) Error Teórico de la Plataforma inercial: 250 yardas.

En este caso el error en dirección es despreciable ya que el error de 1 grado en 1 hora no influye demasiado en la navegación con respecto al error en distancia, y tomando en consideración la forma de un pool de errores es circular, entonces analizando los errores se obtiene que a las 1300H hay un pool de errores de 600 yardas, este error va a ser constante pero el error promedio que va a existir es de 550 yardas/hora porque después de la primera hora ya no se toma en consideración el error de situación inicial que ya fue considerado en la primera hora. Esto es:



3.2 Justificación. La presente investigación se enfocará en estudiar las correcciones que se realizan en una navegación submarina cuando se navega

en inmersión, y donde se usa la plataforma inercial. Para entender adecuadamente este tema es necesario analizar los errores promedios que sufre una plataforma inercial, para asimilarlos de la mejor manera y con el Global Position System tratar de minimizarlos. Esto aportará a tener una mejor navegación tomando en consideración que se podrá tener un control más detallado de los errores de un sistema inercial tratando de evitar que estos errores afecten en el track de la navegación.

Para cumplir con los objetivos expresados en la investigación se plantea las siguientes propuestas para el análisis y cumplimiento de cada uno de ellos:

- Realizar un cuadro analítico que facilite la corrección de los errores que produce una plataforma inercial.
- Mejorar el proceso en el uso de un sistema de navegación inercial, tomando en consideración el error producido por los sensores inerciales que pueden ser afectados por los medios en el que se navega, estableciendo las correcciones para la plataforma inercial y tiempo fijo de corrección por medio del GPS.

La consideración y el análisis del pool de errores, es de gran importancia ya que su función es dar una señal de alarma al navegante de guardia, al oficial de guardia y al Comandante de un submarino, con respecto a la posición geográfica dentro de la cual debería de encontrarse navegando el submarino luego de haber transcurrido un determinado tiempo, permitiendo que con este aviso se tome acciones que correspondan a la situación, subir a profundidad si es necesario para obtener lo más rápido posible una ubicación verdadera o mucho más exactas para evitar entrar en veriles insidiosos o riesgos para el submarino y su tripulación.

3.3. Objetivos. Analizar el proceso en el uso de un sistema de navegación inercial, tomando en consideración el error producido por la plataforma inercial que pueden ser afectados por los medios en el que se navega, incluyendo los cambios de datos como rumbo, velocidad, estableciendo las correcciones y tiempo fijo de corrección por medio del GPS, con la finalidad de aumentar la seguridad en la navegación del submarino.

3.4. Conclusiones.

- La necesidad de posicionarse debajo del agua por parte de un submarino es de vital importancia como lo es también los factores externos que afectan en la navegación por lo tanto es necesario explorar los datos de posición que ofrece la plataforma inercial mediante su sistema de operación.
- La navegación inercial está sujeta a sufrir errores y variaciones que disminuyen la precisión de posicionar al submarino durante una navegación en inmersión, y a pesar de tener niveles intrascendentes, se debe corregir estos errores, y la única, y óptima manera de corregir dichos errores es a través de la recepción de la señal del GPS al momento en que el submarino sube a profundidad de periscopio.
- En caso de padecer una avería en la plataforma inercial al momento de que el submarino se encuentre navegando en inmersión, se debe desarrollar una navegación por estima y así mantener una posición casi correcta para continuar con la operación sin la necesidad de realizar una salida rápida o de emergencia a profundidad de periscopio.

3.5. Recomendaciones.

- Mantener la posición del submarino durante todo el trayecto de la navegación, y en el transcurso de la misma dejar establecido posiciones estimadas de la unidad para compararlas con los datos obtenidos mediante la plataforma inercial y así aumentar con el grado de efectividad de la posición en que se encuentre el submarino.
- Realizar un ploteo en el momento exacto en el que se deja de recibir la posición de la plataforma inercial por la señal del GPS.
- Como método de aumentar la seguridad, es recomendable que aparte de los datos que nos da la plataforma inercial, se debe llevar también una navegación por estima y por veriles para estar alerta ante cualquier situación que se presente.

BIBLIOGRAFÍA

- Algaba, A. M. (2013). *Integración de los sistemas de navegación inercial a bordo de buques con posicionamiento dinámico*.
- Barone, B., & Rodriguez, J. (2016). *Desarrollo de un sistema de navegación inercial reprogramable para múltiples plataformas móviles*. Sartenejas.
- Blasco, P. (2012). *eumed*. Obtenido de http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/mirm/enfoque_cualitativo.html
- catalonia*. (s.f.). Obtenido de http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_06/Historia_Sistemas_Navigaci%F3n_01.html
- ciencia popular*. (26 de Diciembre de 2008). Obtenido de <http://www.cienciapopular.com/experimentos/giroscopios>
- Desequilibrios*. (26 de Agosto de 2010). Obtenido de <http://desequilibrios.blogspot.com/2010/08/>
- Greatbustardsflight*. (11 de Enero de 2015). Obtenido de <https://greatbustardsflight.blogspot.com/2015/01/el-sistema-de-enagosto-de-1958-el.html>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2010). *Metodología de la Investigación*.
- Jiménez, E. (2012). *Filtrado digital de señales de navegación inercial*.
- Kerlinger. (2002). *Metodología de Investigación*.
- Loor, R. C. (2016). INFLUENCIA DEL CAMBIO DE LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN LAS CAPACIDADES DE DETECCIÓN Y EVASIÓN DURANTE LAS OPERACIONES DEL SUBMARINO.
- neoteo*. (26 de Febrero de 2008). Obtenido de <http://www.neoteo.com/como-funciona-un-submarino/>
- Padró, N. (3 de Enero de 2015). *campodocs*. Obtenido de <http://subnacho.blogspot.com/2015/01/tecnologias-de-navegacion-submarina.html>

Rodríguez, I. (s.f.). *Monografías*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos82/como-funcionan-submarinos/como-funcionan-submarinos.shtml>

www.puertos.es. (2015). Obtenido de <http://www.puertos.es/es-es/conceptosgenerales/Paginas/Sistema-GPSDGPS.aspx>