
DESCRIPCION DEL INFORME DE CAMPO

1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO/COMPONENTE.-

En el del 2007 se tuvo la primera reunión con miembros del Instituto Antártico Ecuatoriano (INAE) en el Centro de Visión y Robótica (CVR), centro de investigación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, planteando la necesidad de contar con un robot submarino que pueda operar en aguas ecuatoriales y en ambientes polares. Con el auspicio del INAE se planteo una propuesta de investigación a los fondos concursables del programa VLIR-ESPOL. El proyecto, UVIP a Underwater Vehicle Investigation Prototype fue aprobado, un Robot Submarino de primera generación con capacidad de operar en piscinas y lagos. La ejecución de este proyecto de la hizo en el CVR. Los resultados del proyecto UVIP se expusieron en el Open Science Conference 2008, celebrado en St. Petersburg, Rusia [1] y en el I Simposio Ecuatoriano de Ciencia Polar llevado a cabo en La Libertad, Santa Elena [2].



Fig. 1 Prototipo desarrollado del proyecto UVIP, 2008

Durante la estancia en Rusia se obtuvo la información técnica necesaria para desarrollar robots submarinos de segunda generación capaces de operar en el mar y se elaboro un nuevo diseño de un Robot Submarino no Tripulado o AUV (Autonomous Underwater Vehicle). Este nuevo vehículo submarino ha sido construido y evaluado exitosamente en pruebas de inmersión en Ayangue, Ecuador. Los resultados obtenidos se los publico en un congreso internacional de Robótica Aplicada TEPRA 2009 celebrado en Woburn, MA, Estados Unidos [3] y en el V Simposio Latinoamericano de Ciencia Polar en La Libertad, Ecuador [4].



Fig 2. Robot Submarino no Tripulado Autónomo “Hipopótamo 2”, 2009

El siguiente Robot Submarino de tercera generación que se está desarrollando está diseñado para operar en aguas Antárticas. Un problema técnico que hacía el proyecto no viable era el hecho de no contar con un sistema de navegación inercial que pueda operar en altas latitudes y ambientes polares. Este sistema es considerado por el Tratado Internacional de Tráfico de Armas (International Traffic in Arms Regulations ITAR) como equipo militar sensible, por lo tanto su exportación es sumamente controlada. La mayoría de las empresas que fabrican este equipo están en Estados Unidos y Reino Unido. Por el momento es poco probable que un equipo de navegación inercial que se adapte a las necesidades de un Robot Submarino se lo venda a una institución del país debido a que los requerimientos de este sistema no son muy diferentes a los de un misil. Ante esta situación se optó por desarrollar un sistema de navegación inercial que pueda operar en la Antártida para equipar a Robots Submarinos de fabricación nacional. La información requerida para desarrollar este sistema es considerada de carácter privativo y secreto, no se encuentra en libros y los papers relacionados con el tema se limitan a solo describir el problema pero no dan detalles técnicos de la solución. Por eso surgió la necesidad de efectuar una serie de experimentos con el sistema de navegación inercial desarrollado en la Antártida, Base Científica Pedro Vicente Maldonado con el propósito de obtener la información necesaria para desarrollar un nuevo Sistema de Navegación Inercial que equipara a un futuro Robot Submarino con capacidad de operar en la Antártida. Los datos obtenidos en la presente expedición se emplearán para completar diseños de Robots Submarinos para aguas Antárticas. Actualmente en base a las experiencias obtenidas en la XIV Expedición se construye un prototipo de un robot submarino tipo AUV para operaciones Antárticas con autonomía de 12 MN.



Fig 3. Robot Submarino no Tripulado Autónomo “Hipopótamo 3”, 2010

2. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO/COMPONENTE.-

Evaluar un Sistema de Navegación Inercial de un Robot Submarino no Tripulado en Alta Latitud y Ambiente Polar con el propósito de obtener la información experimental necesaria para desarrollar un nuevo Sistema de Navegación Inercial que equipara a un futuro Robot Submarino no Tripulado de origen nacional con capacidad de operar en la Antártida para aplicaciones oceanográficas y de censo de la vida marina que actualmente se encuentra en desarrollo.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO /COMPONENTE.-

1. Obtener datos de navegación inercial (aceleraciones y rotaciones en los ejes X,Y,Z) obtenidos en condiciones de laboratorio y pruebas de campo en ambientes Antárticos.
2. Elaborar un borrador del Software de navegación para el Robot Submarino no Tripulado que operara en la Antártida y probarlo a bordo de un Robot terrestre en ambientes Antárticos.
3. Establecer un procedimiento de calibración del Sistema de Navegación Inercial antes de una misión.

4. HIPÓTESIS DEL PROYECTO/COMPONENTE.-

El sistema de Navegación Inercial o INS (Inertial Navigation System) es el encargado de estimar la velocidad, posición y orientación de un vehículo submarino cuando navega debajo de la superficie del mar. Este es el sistema primario de navegación de un robot submarino.

Una de las fuentes de error del Sistema de Navegación Inercial es el efecto que produce la rotación de la Tierra sobre los giroscopios, similar a lo que ocurre con el Péndulo de Foucault. En el Ecuador este error es despreciable debido a que estamos en una latitud cercana a cero grados, pero este principio deja de ser válido cuando se opera en altas latitudes como en la Antártida.

El problema en síntesis, es desarrollar un sistema de Navegación Inercial que pueda operar en altas latitudes para equipar a los vehículos submarinos que actualmente se desarrollan en el país. Para la XIV Expedición Ecuatoriana a la Antártida se utilizaron dos robots, un Brazo Robot para trabajar en condiciones de laboratorio al interior de la estación PEVIMA y el otro, un Vehículo Terrestre no Tripulado para trabajo de campo con el fin de obtener la información experimental necesaria para generar una solución de navegación inercial que posteriormente se la implementa en la computadora de Guía, Navegación y Control del Vehículo Terrestre no Tripulado para pruebas de campo [5]. Esta computadora es la misma que emplea el último Robot Submarino desarrollado.

Propósito del Brazo Robot: Calibración de los giroscopios para corregir los efectos que causa la latitud sobre ellos y obtención de datos de navegación.

Propósito del Vehículo Terrestre no Tripulado: Evaluación del Sistema de Navegación Inercial, (acelerómetros, giroscopios y computador de a bordo) en un ambiente real de trabajo con las modificaciones hechas en PEVIMA para operar en la Antártida.

5. ÁREA DE ESTUDIO.-

Los estudios se efectuaron en el interior de la Base Científica Pedro Vicente Maldonado, en la Punta Fort Williams y a bordo del Rompehielos de la Armada de Chile Almirante Viel, desde Punta Arenas, Chile hasta la Isla Greenwich, Antártida.



Fig. 4 Misiones efectuadas con el Robot “Antártico 1”.

6. CRONOGRAMA DEL TRABAJO DE CAMPO EFECTUADO

FECHA	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
3-02-2010 Punta Arenas	A bordo del Rompehielos Almirante Viel se tomaron datos de navegación antes de zarpar	No se observa gran diferencia de funcionamiento del INS comparado con el Ecuador
4-02-2010	A bordo del Rompehielos Almirante Viel se tomaron datos de navegación	No se observa gran diferencia de funcionamiento del INS comparado con el Ecuador
5-02-2010	A bordo del Rompehielos Almirante Viel se tomaron datos de navegación en el canal Beagle	No se observa gran diferencia de funcionamiento del INS comparado con el Ecuador
6-02-2010	A bordo del Rompehielos Almirante Viel se tomaron datos de navegación en	Se empieza a observar diferencias de

	el paso Drake	funcionamiento del INS comparado con el Ecuador
7-02-2010	A bordo del Rompehielos Almirante Viel se tomaron datos de navegación en la Antártida	Las diferencias de funcionamiento del INS comparado con el Ecuador son bastante apreciables
8-02-2010	Reparación de los equipos	Al desempacar los equipos se constato de que presentaban daños mecánicos de poca consideración y se procedió a repararlos
9-02-2010	Elaboración del Modelo Matemático para el filtro que corrige los efectos de la Latitud usando los datos de navegación recolectados a bordo del Almirante Viel	
10-02-2010	Misión 1: Pruebas de campo con el Robot Antártico 1 para evaluar el desempeño de sus sistemas mecánicos, electrónicos y baterías en las inmediaciones de PEVIMA	Producto del clima la superficie del Robot se congelo afectando a los sistemas mecánicos pero esto no afecto a la electrónica.
11-02-2010	Calibración de los Giroscopios empleando el brazo robot. Se puso a prueba Modelo Matemático del filtro que corrige los efectos de la Latitud	El modelo matemático solo sirve para evitar la perdida del Norte Geográfico del Girocompás.
12-02-2010	Misión 2: Pruebas de campo con el Robot Antártico 1 para probar el Girocompás en un ambiente real de trabajo en terreno plano.	Falla del servomotor de dirección del Robot, poca tracción de las ruedas sobre el terreno.
13-02-2010	Revisión preliminar de los datos de funcionamiento almacenados en la memoria Flash del Robot	Análisis preliminar de los datos de funcionamiento no dan evidencia de mal funcionamiento del Girocompás.
14-02-2010	Misión 3: Pruebas de campo con el Robot Antártico 1 para probar el Girocompás en un ambiente real de trabajo en terreno inclinado.	Falla del servomotor de dirección del Robot, poca tracción de las ruedas sobre el terreno.
15-02-2010	Revisión preliminar de los datos de funcionamiento almacenados en la memoria Flash del Robot	Análisis preliminar de los datos de funcionamiento no dan evidencia de mal funcionamiento del Girocompás cuando el

		Robot transita en terreno inclinado.
--	--	---

7. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO / METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Materiales y Equipos

		Masa [Kg]
Robots	Brazo Robot	1.2
	Vehículo Autónomo Terrestre no Tripulado	10.2
Equipo Informático	Unidad de Navegación Inercial FALCON O-NAVI (contiene los acelerómetros y giroscopios)	0.05
	Tarjeta de desarrollo FPGA Cyclone II Development Kit (Computadora de Guía, Navegación y Control del Robot)	0.3
	Compás electrónico HITACHI HM55B	
	Computador portátil	2.2
Herramientas	Juego de destornilladores	0.5
	Juego de Pinzas	0.8
	Cargador de baterías	0.6
	Multímetro digital	0.3

Experimento 1:

El propósito del Experimento 1 consiste en estudiar el comportamiento de los Giroscopios, Acelerómetros y Computador de Navegación en un ambiente de altas latitudes. Los Giroscopios y Acelerómetros están contenidos en una Unidad de Medición Inercial FALCON O-Navi. Los datos obtenidos se los compara con datos de funcionamiento hechos en bajas latitudes. Al inicio de la expedición a bordo del Rompehielos de la Armada de Chile Almirante Viel, se tomaron datos de navegación inercial del Barco, aceleraciones y rotaciones en los ejes X,Y,Z desde Punta Arenas hasta la Antártida. La estación de trabajo se la instalo en la Sala de Oficiales. Se grabaron aproximadamente 120 min. de datos de navegación del Barco. Los equipos usados fueron un Computador Portatil con el programa de adquisición de datos MATLAB/SIMULINK corriendo, un cable USB y la Unidad de Medición Inercial FALCON O-Navi. La Unidad de Medición Inercial FALCON se conecto mediante el cable USB a la Portátil que graba los datos provenientes del sensor en su disco duro. Durante la navegación en el Paso de Drake, se constato una gran diferencia entre la lectura de la Unidad de Medición Inercial FALCON O-Navi y el girocompás del Buque Sperry Gyroscope después de 16 min de funcionamiento. Mientras el girocompás del buque mantenía el rumbo 150, la Unidad de Medición Inercial FALCON O-Navi mostraba rumbo 310. Durante estos 16 min el Buque mantuvo su rumbo constante.



Fig. 5 Estación de Trabajo a bordo del Rompehielos Almirante Viel

Después de arribar a PEVIMA, con los datos recopilados a bordo del Almirante Viel se procedió a analizarlos utilizando una aplicación de MATLAB/SIMULINK para generar un espectro de señales provenientes de los giroscopios y acelerómetros usando Análisis en el dominio frecuencial. Esta metodología de análisis es similar a usar un prisma para descomponer la luz blanca para observar su espectro de colores. Este espectro de señales sirvió como base para la elaboración del modelo matemático del filtro que elimina los efectos de la latitud sobre los giroscopios principalmente el efecto Coriolis. Debido al poco tiempo de estancia disponible en PEVIMA todo el análisis se centro en el giroscopio del eje Z, que es considerado como el girocompás y es el elemento más crítico en el Sistema de Navegación Inercial. El siguiente paso es calibrar los giroscopios ajustando la ganancia filtro. Para ello se fijo la Unidad de Medición Inercial FALCON O-Navi a un Brazo Robot que previamente ha sido desarrollado cuyas dimensiones son 35cm x 30cm x 30cm [6]. El extremo del Brazo Robot al desplazarse genera una trayectoria geométrica conocida, por ejemplo una circunferencia o un cicloide. Durante el desplazamiento se van adquiriendo los datos provenientes de los acelerómetros y giroscopios que son procesados en un computador que los almacena para su posterior análisis en una aplicación de MATLAB/SIMULINK. Con estos datos obtenidos se realiza un ajuste final a la ganancia del filtro que corrige la latitud. Con los parámetros establecidos del filtro se procede a implementarlo usando lenguaje de programación VHDL para ser descargado en la computadora del Vehículo Terrestre no Tripulado y probarlo en un ambiente real de trabajo, en los exteriores de la Estación Maldonado.

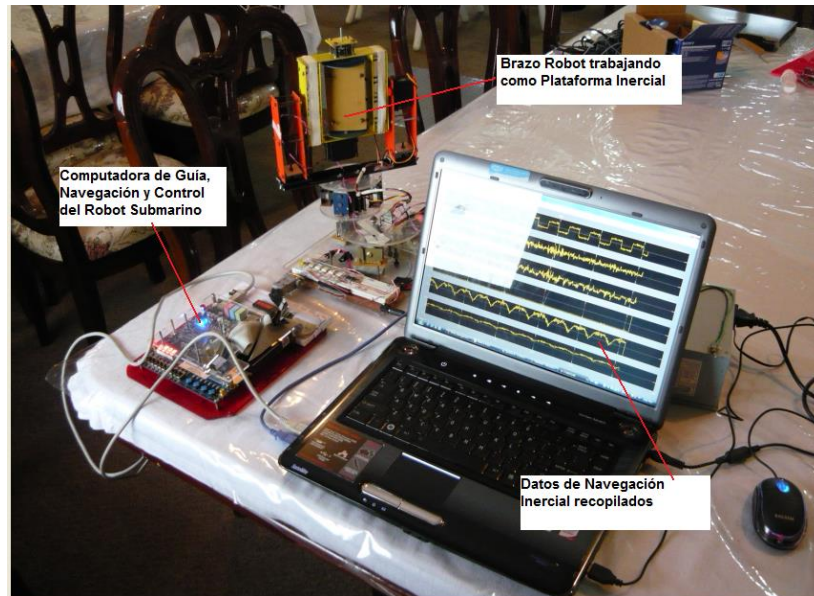


Fig. 6 Estación de Trabajo en PEVIMA

Basic principles of strapdown inertial navigation systems 29

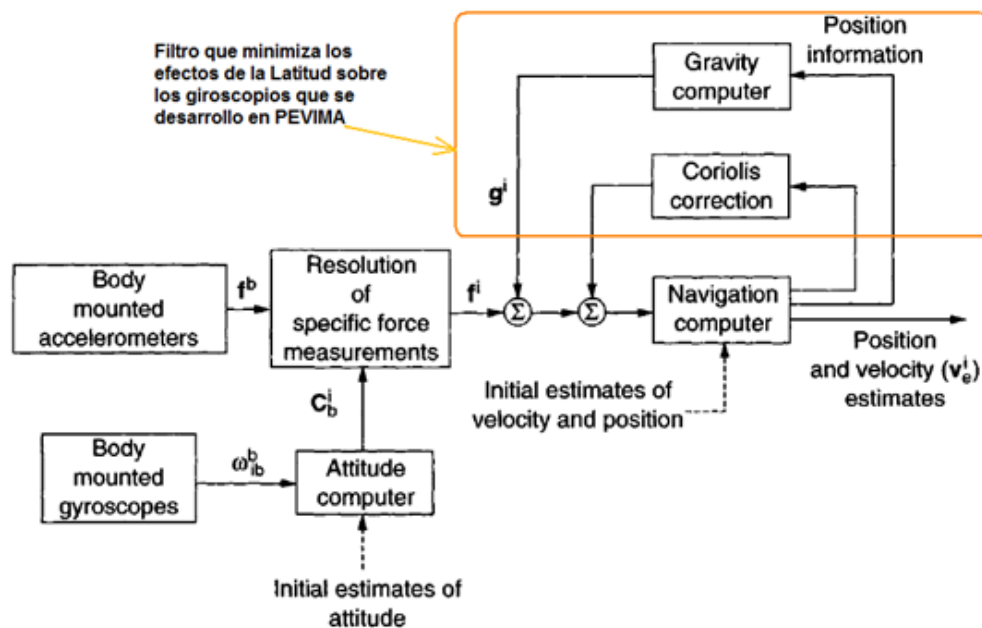


Fig.7 Algoritmo de Navegación

Experimento 2:

El propósito de este experimento es evaluar la incidencia del error producido por variaciones en el campo gravitacional, el efecto que produce la rotación de la tierra sobre los giroscopios y evaluar el desempeño de la solución de Navegación Inercial generada en el Experimento 1. Para el Experimento 2 se emplearon los siguientes equipos: Vehículo Terrestre Autónomo no Tripulado, Tarjeta de desarrollo FPGA Cyclone II Development Kit

(Computadora de Guía, Navegación y Control del Robot), Compás electrónico HITACHI HM55B y la Unidad de Navegación Inercial FALCON O-NAVI. El experimento consiste en montar sobre una plataforma móvil de dimensiones 25cm x 60 cm x 30cm todo el sistema de navegación inercial, programarlo para realizar una trayectoria determinada y analizar los datos de navegación que el robot graba durante el recorrido en la memoria Flash de la Tarjeta de desarrollo FPGA. Este conjunto vehículo-computadora-sensores constituye un vehículo terrestre autónomo no tripulado o UGV (Unmanned Ground Vehicle). Este UGV también cuenta con un sistema de odometría para estimar su posición y complementar el sistema de navegación inercial y el posterior procesamiento de los datos. Durante el recorrido del vehículo se almacenan los datos de navegación que son analizados en post-proceso. El análisis consiste en correlacionar los datos del sistema de odometría del robot, compás electrónico con los datos de los acelerómetros y giroscopios.



Fig. 8 Robot "Antártico 1" en pruebas

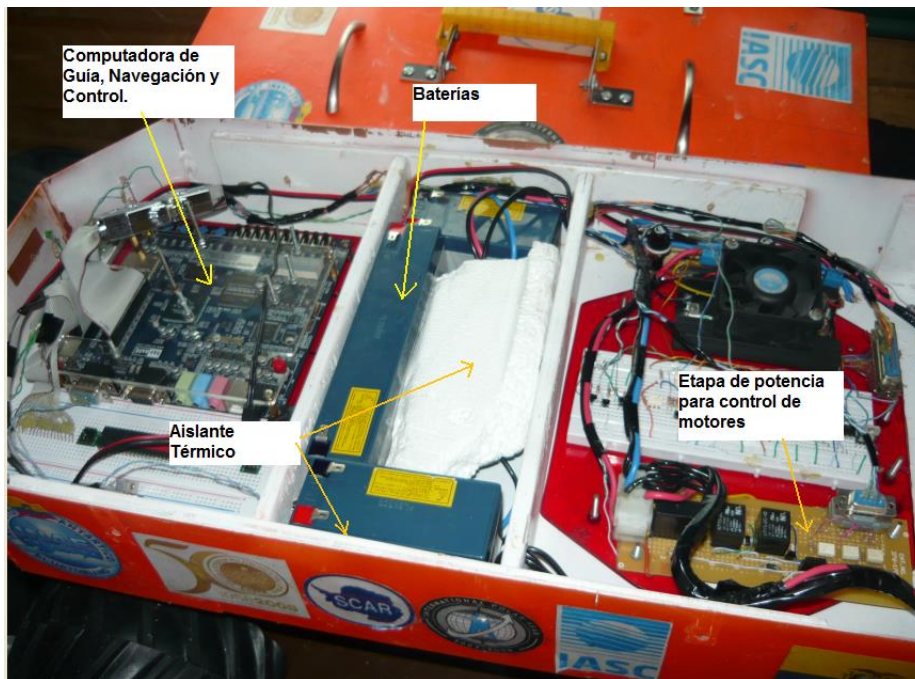


Fig. 9 Componentes internos del Robot "Antártico 1"

Se realizaron tres misiones con el Robot:

Misión 1: Pruebas de campo con el Robot Antártico 1 para evaluar el desempeño de sus sistemas mecánicos, electrónicos y baterías en las inmediaciones de PEVIMA.

Misión 2: Pruebas de campo con el Robot Antártico 1 para probar el Girocompás en un ambiente real de trabajo en terreno plano y largas distancias. Se recorrió ese día un total de 2.560 Km Durante partes del recorrido intencionalmente se desactivo el filtro que compensa la latitud para comparar las soluciones de navegación inercial cuando el filtro esta activo y pasivo.

Misión 3: Pruebas de campo con el Robot Antártico 1 para probar el Girocompás en un ambiente real de trabajo en terreno inclinado. Recorrido total 1.128 Km. Durante partes del recorrido intencionalmente se desactivo el filtro que compensa la latitud para comparar las soluciones de navegación inercial cuando el filtro esta activo y pasivo. Recorrido total de 3.868 Km.

8.- DATOS OBTENIDOS

Parámetros de inicialización de la Unidad de Medición Inercial

WELCOME TO O-NAVI IMU SOFTWARE © 2004

S/N : 3873

Ver.: 1.60

Baudrate = 9600

Protocol = ASCII

Samplerate = 20Hz

Press any key to enter main menu

Selftest passed

Tabla 1: Datos de Navegación obtenidos en el Ecuador empleando el Brazo Robot 27 de Enero 2010 (Unidades Normalizadas). Solo se muestran los primeros 30 datos de 20000.

Gyros			Acelerómetros		
Eje X	Eje Y	Eje Z	Eje X	Eje Y	Eje Z
514	520	515	527	572	275
507	511	507	525	570	274
506	510	509	524	570	274
507	512	508	524	570	274
506	510	508	524	569	274
506	509	508	525	570	273
506	510	508	525	570	274
507	512	509	525	570	274
506	513	509	525	570	273
506	511	509	524	570	273
506	511	507	525	570	274
507	511	508	525	570	273

507	511	509	525	570	274
507	511	507	525	570	274
508	510	509	524	569	274
505	513	507	526	573	273
510	507	508	522	567	273
502	517	509	525	568	274
505	509	507	529	580	270
514	505	507	520	564	275
501	519	507	525	566	274
504	509	509	530	581	270
513	504	508	521	566	277
504	518	507	523	566	276
504	513	506	531	577	270
510	502	508	523	570	276
504	515	508	521	567	274
507	513	506	530	574	272
507	504	509	523	569	274
507	514	506	522	567	273

**Tabla 2: Datos de Navegación obtenidos a bordo del Almirante Viel
06 de Febrero 2010 (Unidades Normalizadas) Solo se muestran los primeros 30 datos
de 20000. Paso Drake**

Gyros			Acelerómetros		
Eje X	Eje Y	Eje Z	Eje X	Eje Y	Eje Z
505	512	508	525	524	271
503	512	509	523	524	272
506	512	507	525	525	271
506	512	509	524	525	271
506	512	507	525	525	271
506	514	508	524	525	272
507	513	508	525	525	271
505	511	506	525	526	272
505	514	509	525	526	271
506	512	509	525	526	271
506	514	509	525	526	271
505	513	508	525	526	271
507	513	508	526	527	270
506	511	507	525	527	270
507	512	508	526	527	270
506	513	509	525	527	270
506	513	508	525	527	270
508	513	508	525	527	270
507	512	507	526	526	268
508	512	509	525	528	268
509	513	510	526	527	269
506	512	508	525	527	267

508	512	508	526	528	268
508	512	508	526	528	267
507	512	508	526	528	266
507	512	508	526	527	266
509	513	509	525	527	265
508	511	509	526	527	265
508	512	509	525	527	265
509	512	508	526	527	264

**Tabla 3: Datos de Navegación obtenidos en la Antártida PEVIMA
11 de Febrero 2010 (Unidades Normalizadas) Solo se muestran los primeros 30 datos
de 20000.**

Gyros			Acelerómetros		
Eje X	Eje Y	Eje Z	Eje X	Eje Y	Eje Z
505	512	508	513	512	264
504	513	508	513	512	264
505	513	508	514	511	263
504	511	508	512	512	265
504	512	509	513	512	265
504	514	508	514	512	265
504	514	510	513	513	266
504	512	509	513	512	266
505	513	508	514	512	266
503	512	508	514	512	267
503	514	508	513	514	267
504	513	509	513	514	267
503	512	509	514	513	268
503	513	508	513	514	269
504	513	508	514	515	270
503	512	508	514	515	269
503	513	509	514	515	269
504	514	509	512	513	268
503	513	509	512	514	268
504	514	508	514	514	269
504	513	507	513	515	270
503	514	508	512	515	270
502	513	508	513	515	269
504	514	509	513	515	271
503	513	508	514	516	271
504	514	507	513	517	271
503	514	508	513	517	271
506	514	508	514	517	272
502	514	508	514	517	272
505	513	509	515	519	272

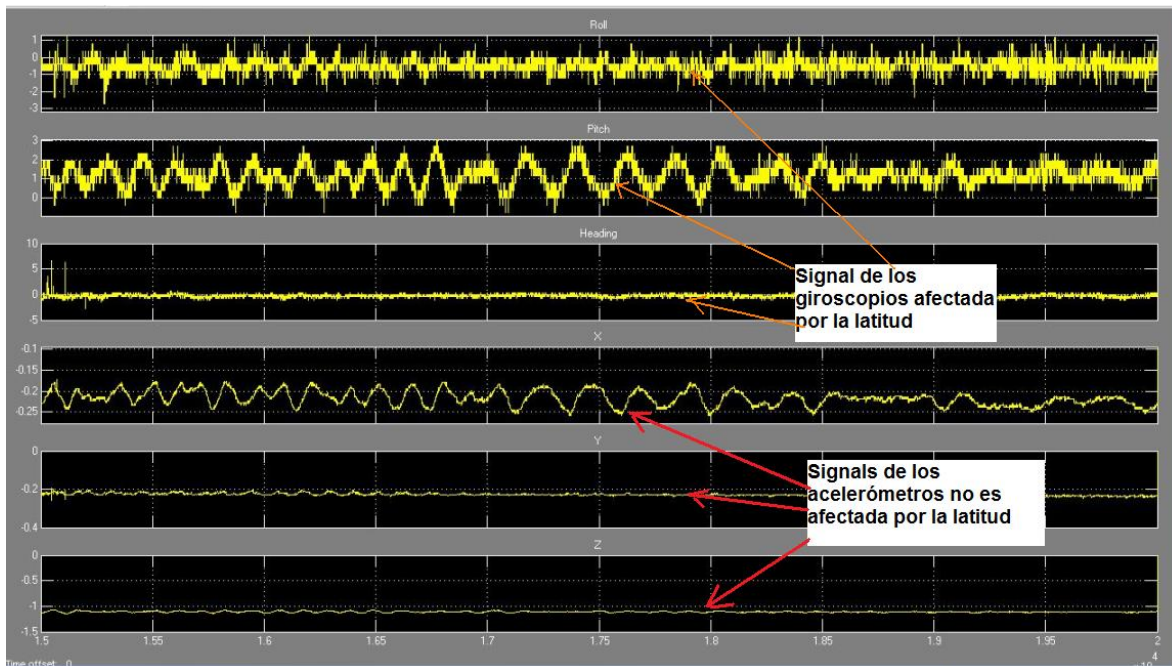


Fig. 10 Datos de navegación obtenidos a bordo del Almirante Viel durante el paso Drake

Comparación de los gráficos de los datos de navegación obtenidos en el Ecuador y la Antártida

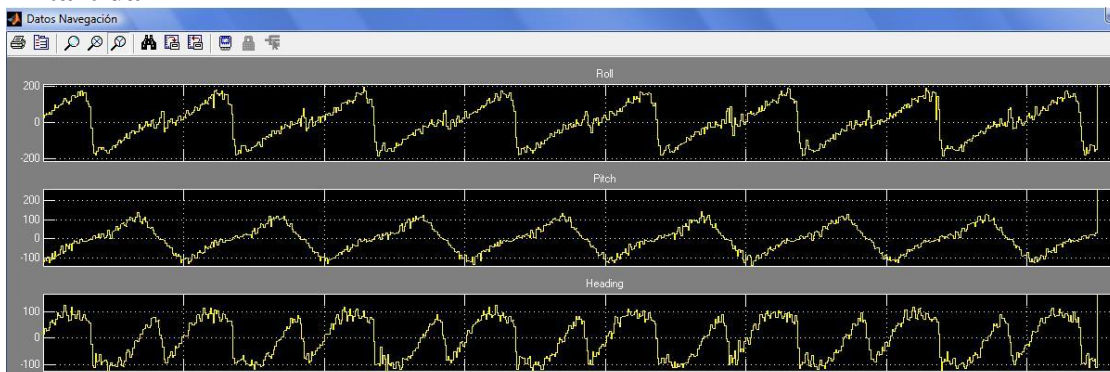


Fig. 11 Datos obtenidos con el brazo robot en Ecuador

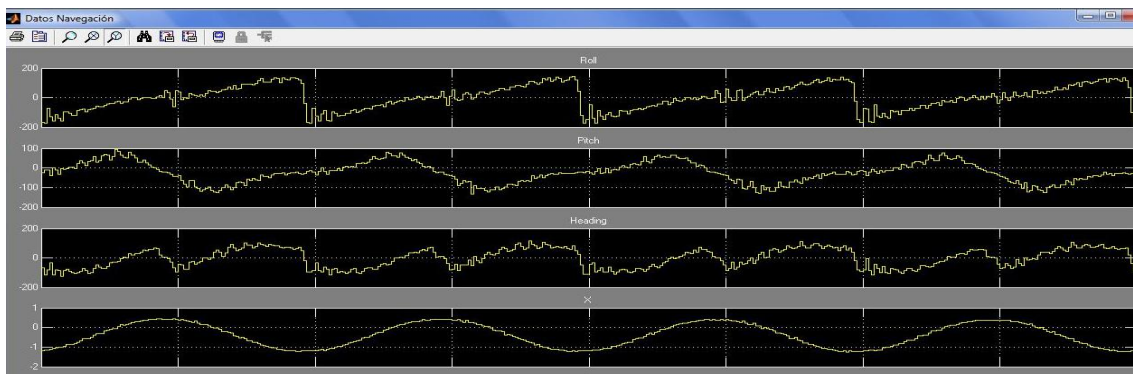


Fig. 12 Datos obtenidos con el brazo robot en la Antártida

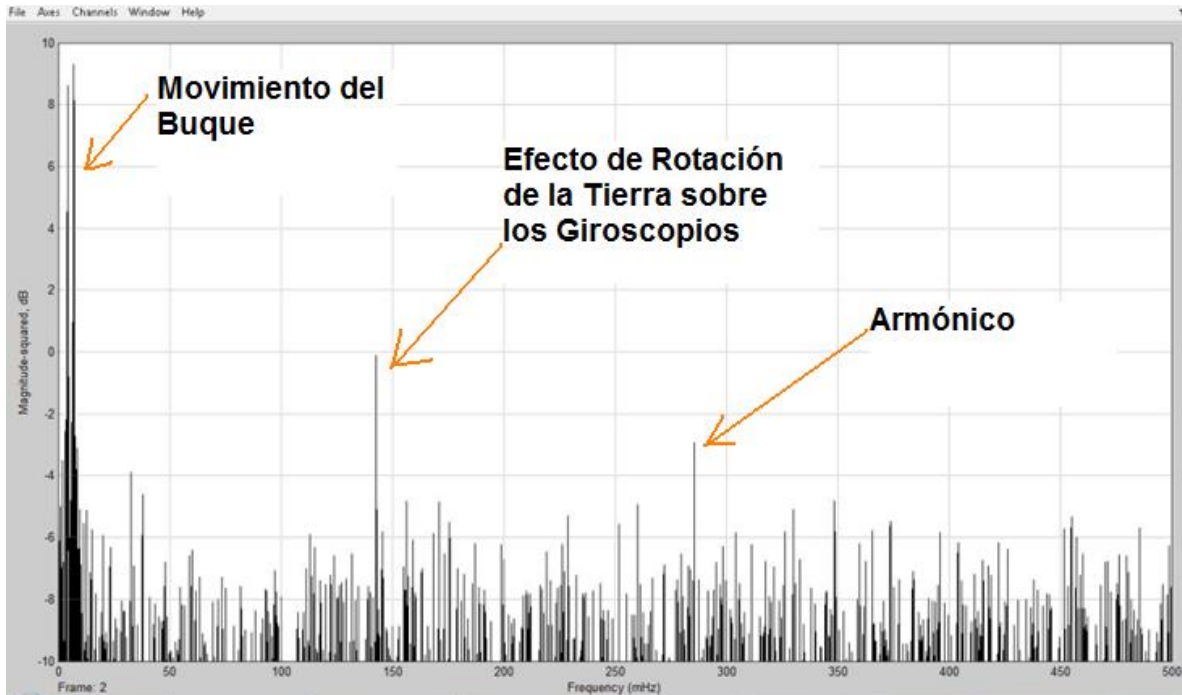


Fig. 13 Espectro del canal Eje Z del Girocompás a durante las pruebas a bordo del Almirante Viel

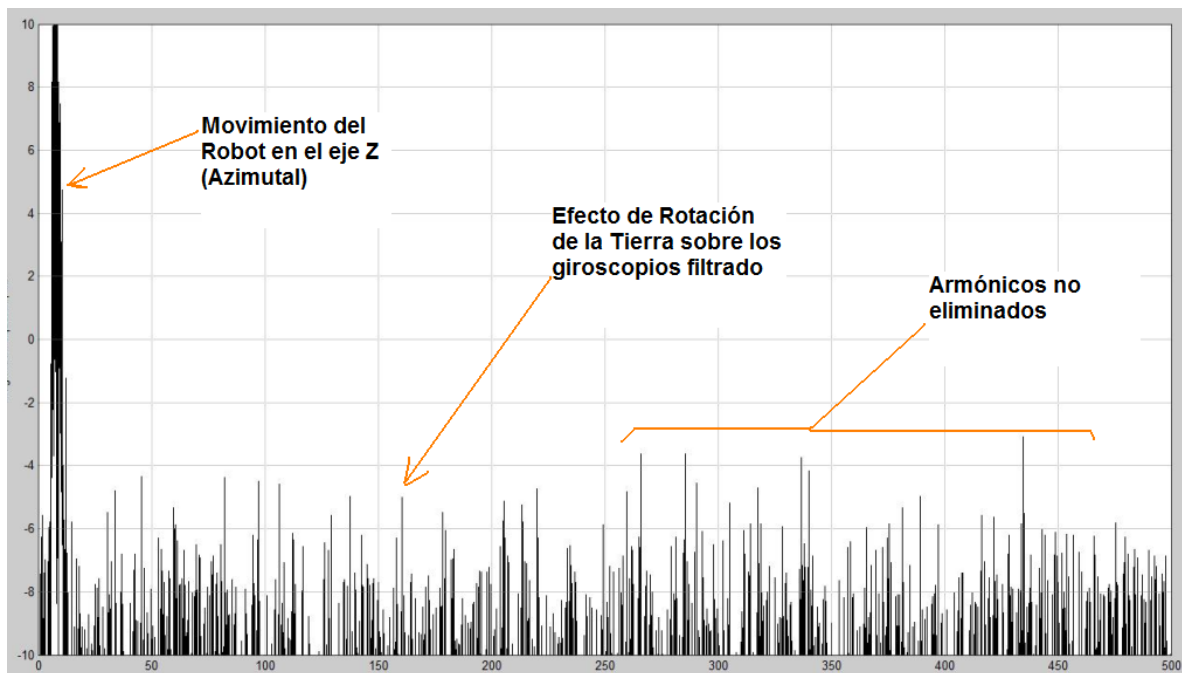
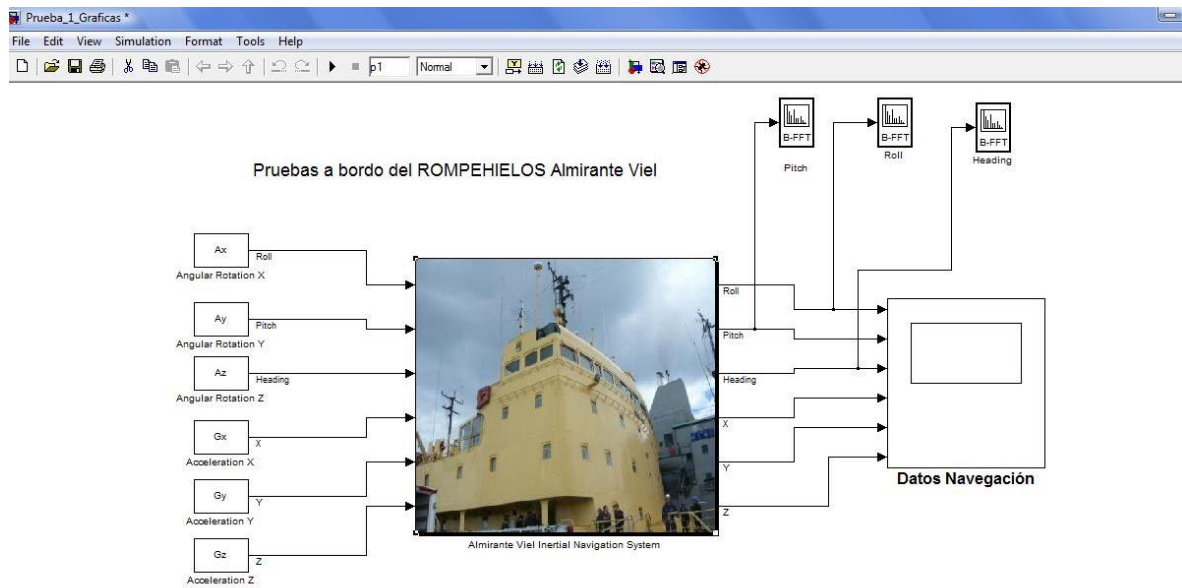
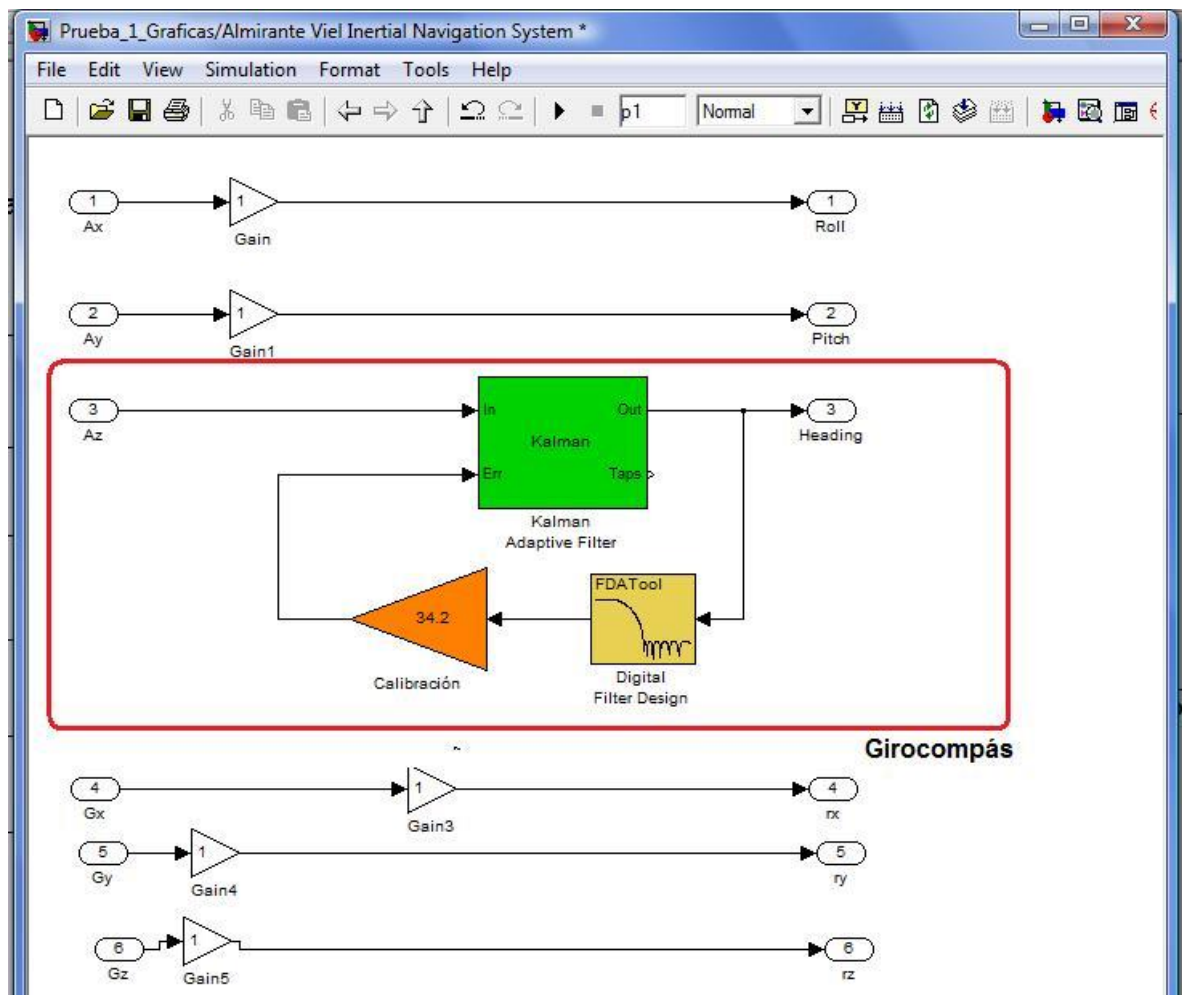


Fig. 14 Espectro del canal Eje Z del Girocompás a durante las pruebas a bordo del Antártico 1: Misión 2

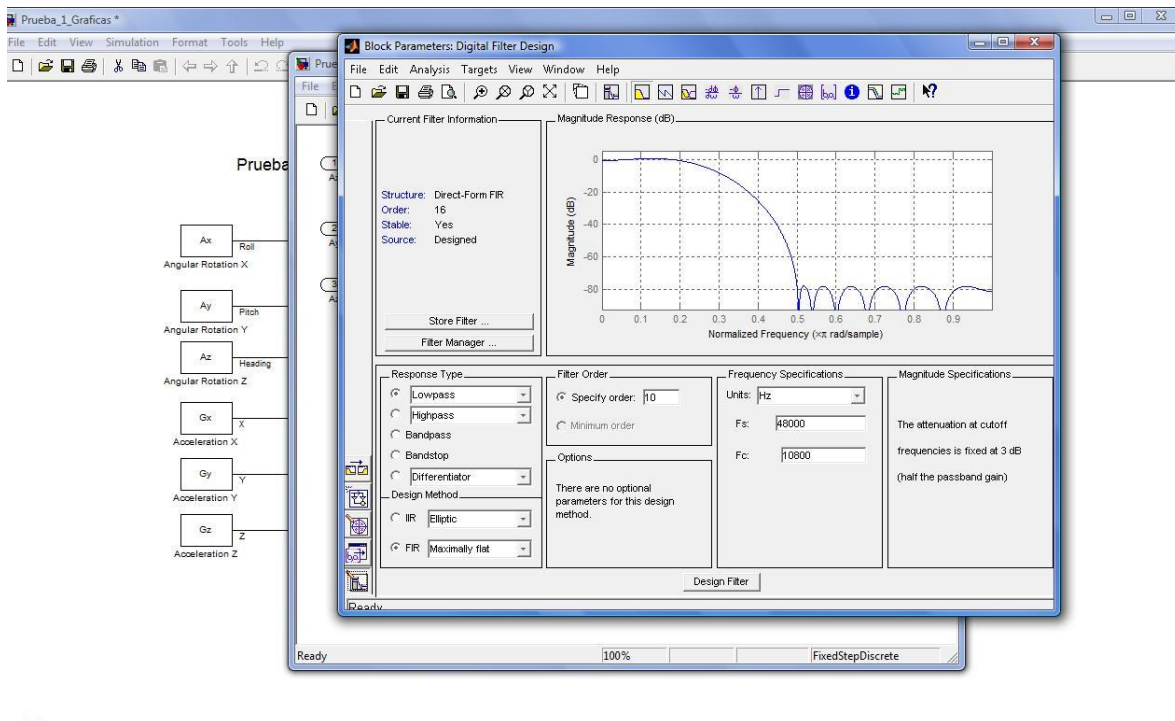
Productos Desarrollados durante la expedición:



Aplicación MATLAB/SIMULINK desarrollada a bordo del Almirante Viel para adquisición de datos de navegación.



Simulación del modelo matemático del Girocompás con la compensación para Altas Latitudes.



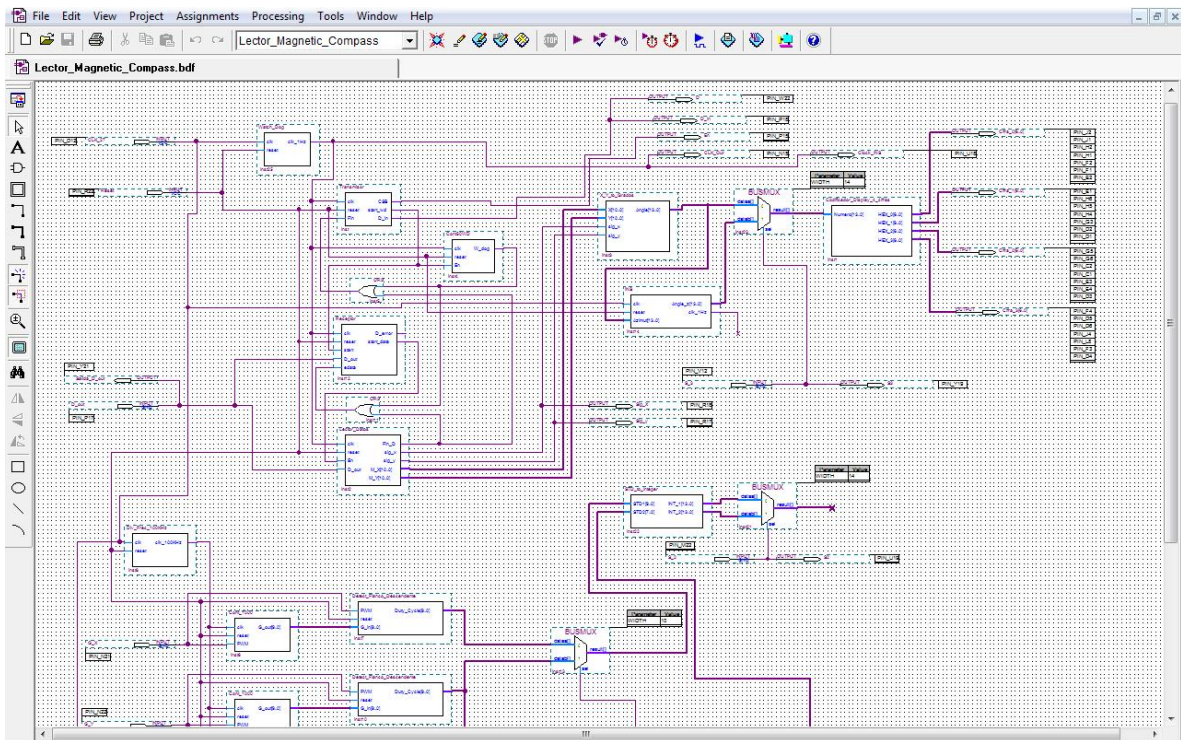
Filtro desarrollado durante la estancia en PEVIMA para compensar la Latitud

```

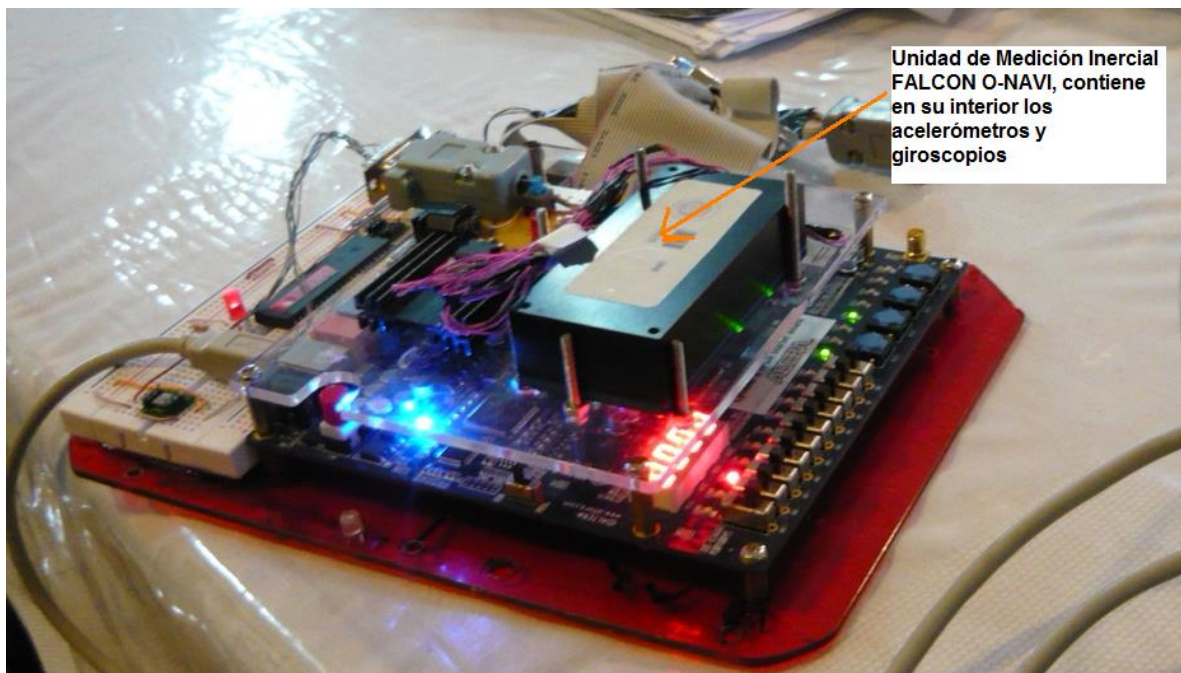
30 type state is(s0,s1,s2);
31 signal y: state;
32 signal Duty_c: integer range 0 to 255;
33 signal conteo: integer range 0 to 49999999;
34 signal lim: integer range 0 to 49999999;
35
36 begin
37
38 lim <= (N*Duty_c)/256;
39
40 Duty_c <= To_Integer(unsigned(Duty_Cycle));
41
42 Process(reset,clk)
43 begin
44     if reset = '0' then PWM <='0'; y <=s0;
45     elsif clk 'event and clk = '1' then
46
47         case y is
48             when s0 =>--Inicialización de PWM y conteo
49                 PWM <= '1';
50                 conteo <= 0;
51                 y <=s1;
52
53             when s1 =>--Tiempo Alto
54                 if conteo >= lim then
55                     PWM <= not PWM;
56                     y <=s2;
57                 else
58                     conteo <= conteo+1;

```

Código en VHDL que implementa el Filtro que compensa la Latitud



Borrador del Software de Navegación Inercial con la incorporación del Filtro probado a bordo del Robot Antártico 1



Computadora de Guía, Navegación y Control del Robot Antártico 1 con el Software de navegación inercial actualizado.

9.- TRABAJOS PENDIENTES RELACIONADOS CON EL PROYECTO (Describir los trabajos que son necesarios efectuar luego de terminada la expedición, incluyendo fechas, para terminar el análisis de los muestreos efectuados y posterior publicación de resultados)

1. Continuación del análisis matemático para completar el filtro que elimina los efectos de la latitud sobre los giroscopios. 25/03/2010.
2. Analizar por completo los datos de la Misiones 2 y 3 del Robot Antártico 1. 10/04/2010.
3. Desarrollar el nuevo software de Navegación Inercial para Robots Submarinos Antárticos. 15/07/2010.
4. Desarrollar un procedimiento para calibración de un sistema de navegación inercial antes de una misión del Robot Submarino en la Antártida. 15/07/2010.
5. Enviar Artículos al Open Science Conference 2010 sobre los trabajos de Robótica aplicada a la Antártida que se desarrollan en el país. 15/04/2010.
6. Envío de Artículos congresos internacionales de Robótica. 25/07/2010.
7. Elaborar una propuesta de desarrollo de Robots Submarinos en la Armada Nacional para aplicaciones científicas y militares. 01/05/2010.
8. Analizando los datos del Robot se encontraron datos inconsistentes entre el girocompás y el compás electrónico cuando el Robot se estaciono en las inmediaciones del accidente geográfico conocido como el León Dormido. La declinación magnética obtenida en base a los datos del robot es diferente a la esperada en la Carta Náutica. Según los datos obtenidos por el Robot la media de la declinación magnética es de 8 grados 23 minutos E asumiendo un correcto funcionamiento del girocompás del Robot. Se esta analizando este fenómeno para determinar si existió un problema de los instrumentos de navegación del Robot.

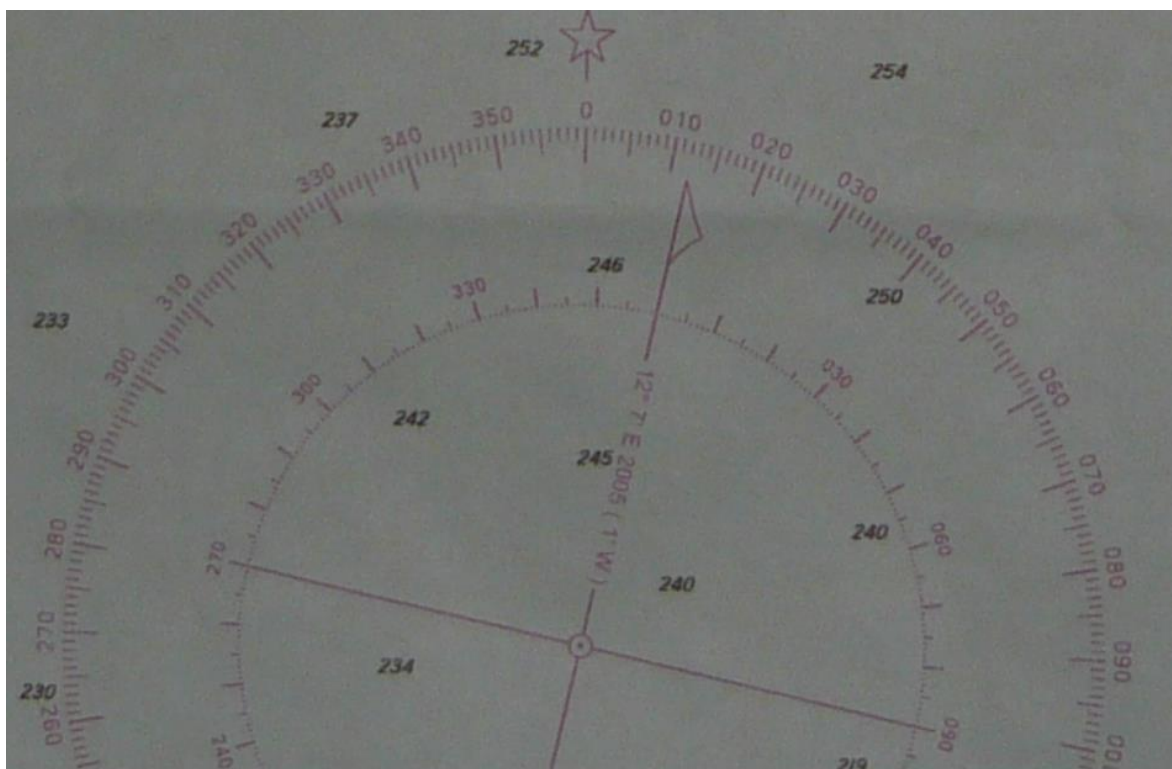


Fig. 15. Declinación Magnética de la Carta Náutica en PEVIMA.

10.- CONCLUSIONES

1. Se recolectaron datos de navegación inercial obtenidos en condiciones de laboratorio y en pruebas de campo.
2. Durante la expedición se desarrollo un borrador del Software de Navegación Inercial, por razones de tiempo, este borrador solo abarca soluciones de navegación para el girocompás.
3. La latitud afecto a los giroscopios causando la pérdida del norte geográfico, pero no afecto a los acelerómetros.
4. El filtro desarrollado durante la expedición compenso los efectos que causa la latitud sobre los giroscopios.
5. Con los resultados obtenidos en esta Expedición a la Antártida es factible desarrollar el sistema de navegación inercial para Robots Submarinos de construcción nacional con capacidad de operar en aguas Antárticas.

11. RECOMENDACIONES

1. Debido al poco efecto que tuvo la latitud sobre los acelerómetros se recomienda desarrollar un Sistema de Navegación Inercial basado en acelerómetros y un solo giroscopio para mediciones del cabeceo del Robot Submarino.
2. Se recomienda continuar este proyecto en la Armada Nacional, institución que posee los medios técnicos, logísticos y operativos para el desarrollo de un Robot Submarino que pueda operar en aguas Antárticas.
3. Establecer un convenio de cooperación entre el grupo de robótica submarina de la Universidad Federal de Río de Janeiro y el Instituto Antártico Ecuatoriano. Este grupo de investigación tiene experiencia operando Robots Submarinos en la Isla Rey Jorge, Antártida. Este convenio se lo intento realizar en la ESPOL a través del Centro de Visión y Robótica pero no existió el interés en participar como colaborador internacional.
4. Para futuros Robots terrestres se debe usar sistema de “Oruga” o sistema de tracción de ruedas 6x6 para que se adapten mejor al terreno de la Punta Fort Willians.

12. BIBLIOGRAFIA

- [1] Arturo Cadena, D. Paillacho, "Design and Construction of an Autonomous Underwater Vehicle prototype", Book Chapter in SCAR/IASC IPY Open Science Conference 2008, Vol. 1 pp. 371, ISBN 978-5-98364-013-09, St. Petersburg, Russia. July 2008.
- [2] Arturo Cadena, D. Paillacho, "Development of an Autonomous Underwater Vehicle for scientific data recollection", I SIMPOSIO ECUATORIANO DE CIENCIA POLAR 2008, La Libertad, Ecuador. July 2008.
- [3] Arturo Cadena, “Design and construction of an autonomous underwater vehicle for the launch of a Small UAV”. IEEE TEPPRA 2009. Woburn, MA, United States. November 2009.

[4] Arturo Cadena, Desarrollo de un prototipo de Vehículo Submarino Autónomo Híbrido para la adquisición de datos científicos. V Simposio Latinoamericano de Ciencia Polar. Septiembre 2009 La Libertad, Ecuador.

[5] Arturo Cadena, “Desarrollo de un vehículo terrestre no tripulado para ambientes polares.” V Simposio Latinoamericano de Ciencia Polar. Septiembre 2009 La Libertad, Ecuador.

[6] Arturo Cadena, D. Cortez, “Construcción de un Brazo Robot para servir como plataforma de aprendizaje.” ESPOLCIENCIA 2007. Guayaquil, Ecuador.