

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL QUE INTEGRE LOS
ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS DE MAR Y ESTUDIO DE
INCERTIDUMBRE DE LAS MEDIDAS, BASADO EN NORMAS Y ESTÁNDARES
INTERNACIONALES.**

ETTY YENESSY SIERRA VANEGAS

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.
2008**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL QUE INTEGRE LOS
ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS DE MAR Y ESTUDIO DE
INCERTIDUMBRE DE LAS MEDIDAS, BASADO EN NORMAS Y ESTÁNDARES
INTERNACIONALES.**

ETTY YENESSY SIERRA VANEGAS

**Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electrónico**

DIRECTOR:

**Capitán de Corbeta Víctor Hugo Jiménez
Ingeniero Electricista, Especialista en Informática Industrial.**

CODIRECTOR:

**Jorge Eliecer Duque Pardo
Ingeniero Electricista.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.
2008**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Cartagena D.T. y C, Diciembre de 2008

Señores

COMITÉ CURRICULAR
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
La ciudad

Cordial saludo:

A través de la presente me permito ratificar la asesoría prestada para la monografía titulada **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL QUE INTEGRE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS DE MAR Y ESTUDIO DE INCERTIDUMBRE DE LAS MEDIDAS, BASADO EN NORMAS Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES** realizada por la estudiante ETTY YENESSY SIERRA VANEGAS, como requisito para la aprobación del “Minor de Automatización Industrial”, y optar el título de Ingeniero Electrónico.

Atentamente,

ING. Jorge Duque Pardo
Ingeniero Electricista
Codirector

Cartagena D.T. y C, Diciembre de 2008

Señores

COMITÉ CURRICULAR
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
La ciudad

Cordial saludo:

Por medio de la presente me permito informar que la monografía titulada **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL QUE INTEGRE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS DE MAR Y ESTUDIO DE INCERTIDUMBRE DE LAS MEDIDAS, BASADO EN NORMAS Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES** realizada por la estudiante ETTY YENESSY SIERRA VANEGAS, como requisito para la aprobación del “Minor de Automatización Industrial”, y optar el título de Ingeniero Electrónico, se ha desarrollado de acuerdo a los objetivos establecidos. Como director de la misma considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente,

Capitán de Corbeta Víctor Hugo Jiménez
Ingeniero Electricista Especialista en Informática Industrial
Jefe Departamento de Electricidad y Electrónica
DIDESI-COTECMAR
Director

AUTORIZACIÓN

Por medio de la presente, autorizo la utilización en las bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar, con fines exclusivamente académicos la monografía **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL QUE INTEGRE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS DE MAR Y ESTUDIO DE INCERTIDUMBRE DE LAS MEDIDAS, BASADO EN NORMAS Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES**, realizada por ETTY YENESSY SIERRA VANEGAS como requisito para obtener el título de Ingeniero Electrónico.

Atentamente,

ETTY YENESSY SIERRA VANEGAS
CC 23.182.144 de Sincelejo-Sucre.

Cartagena de Indias, Diciembre 2008

Cartagena D.T. y C, Octubre de 2008

Señores

**COMITÉ CURRICULAR
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**
La ciudad

Respetados señores:

Con toda atención me dirijo a ustedes con el fin de presentarles a su consideración, estudio y aprobación la monografía titulada **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PORTÁTIL QUE INTEGRE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS DE MAR Y ESTUDIO DE INCERTIDUMBRE DE LAS MEDIDAS, BASADO EN NORMAS Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES**, como requisito parcial para obtener el título de ingeniero electrónico.

Atentamente,

ETTY YENESSY SIERRA VANEGAS
CC 23.182.144 de Sincelejo

*A Wilson Sierra, Etis Vanegas
y María Ximena*

AGRADECIMIENTOS

A JEHOVÁ Dios, por ser mi más grande y leal apoyo, por darme la fuerza que necesito en los momentos difíciles y la bendición de hacer realidad este sueño.

A mis queridos padres y hermanita que con su gran esfuerzo apoyaron mis decisiones y me dieron las herramientas necesarias durante mi carrera, por haber confiado en mí y darme la vida que tengo.

A mis Hermanos y Abuela Cata por haberme acompañado en el camino.

Al Dr. José Luis Villa por haber dedicado parte de su ocupado tiempo en asesorarme.

Al Ing. Víctor Jiménez, no solo por su asesoría sino también por su apoyo y sus consejos.

Al Ing. Rafael Granobles, al Ing. Jorge Duque y al grupo de profesores de electricidad y electrónica de la UTB por mostrarme el camino del conocimiento.

A mi grupo de de estudio, por darme ánimos en todo momento, por mostrarme que se puede!

Al departamento de Electricidad y electrónica de COTECMAR, a mis amigos, compañeros y todos los que estuvieron dispuestos a colaborar, por que sin todos no hubiese sido posible este logro, a todos GRACIAS.

Etty Yenessy Sierra Vanegas

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Lista de figuras	X
Lista de tablas.....	XII
Glosario	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
OBJETIVOS	19
JUSTIFICACIÓN.....	20
ALCANCE	21
1 PRUEBAS DE MAR.....	22
1.1 CONCEPTOS PREVIOS	23
1.2 CRITERIOS DE MANIOBRABILIDAD	24
1.3 FUERZAS EXTERNAS E INTERNAS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DEL BUQUE	27
1.4 PRUEBAS DE MANIOBRABILIDAD.....	27
1.4.1 Maniobra de círculo evolutivo.....	29
1.4.2 Maniobra de zig-zag.....	31
1.4.3 Parada de emergencia.....	32
1.5 MEDIDA DE LAS CUALIDADES DE MANIOBRABILIDAD	33
1.6 PRUEBAS DE VELOCIDAD Y POTENCIA	35
1.6.1 Criterios del lugar de prueba	37

1.6.2	Condiciones ambientales de la prueba	37
1.6.3	Selección de la prueba.....	38
1.6.4	Medidas durante la prueba.....	38
2	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	41
2.1	INSTRUMENTACIÓN RECOMENDADA POR ITTC Y SC.....	41
2.2	INSTRUMENTACIÓN PARA LAS PRUEBAS DE MAR EN COTECMAR	44
2.3	VARIABLES INSTRUMENTADAS	46
2.3.1	Rumbo, posición y velocidad.....	47
2.3.2	Rumbo, posición, velocidad, rata de giro, guiñada, cabeceo y balance	48
2.3.3	Velocidad angular.....	52
2.3.4	Torque	56
2.3.5	Velocidad y dirección de viento	61
2.3.6	Módulos de adquisición de datos	54
2.4	DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL EQUIPO PORTÁTIL	67
3	PROGRAMAS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS	80
3.1	INSTRUMENTOS VIRTUALES PARA LAS PRUEBAS DE MAR.....	81
3.1.1	VI de adquisición, análisis y presentación de datos del GPS	81
3.1.2	Programa de AAP de datos del MTi	85
3.1.3	VI de AAP para los datos de la tarjeta Fiel Point	89
3.1.4	Manejo de tiempo	93
4	INCERTIDUMBRE DE MEDIDA.....	95
4.1	CONCEPTOS METROLÓGICOS	96
4.2	FUENTES DE INCERTIDUMBRE	99

4.3 METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA INCERTIDUMBRE	100
4.4 DIAGRAMA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN	101
4.5 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	102
4.5.1 Evaluación de las incertidumbres tipo A.....	102
4.5.2 Evaluación de las incertidumbres tipo B.....	103
4.5.3 Incertidumbre estándar combinada	105
4.5.4 Incertidumbre expandida	106
4.5.5 Distribución t-student.....	108
4.6 EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.....	110
4.6.1 Tolerancia del valor de una magnitud y la incertidumbre de medición	110
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
5.1 CONCLUSIONES	112
5.2 RECOMENDACIONES.....	113
BIBLIOGRAFIA.....	114
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Criterio que evalúa la capacidad de parada	25
Figura 2. Círculo evolutivo	30
Figura 3. Características obtenidas en la prueba círculo evolutivo.....	30
Figura 4. Maniobra de zig-zag	31
Figura 5. Características obtenidas en la maniobra de zig-zag	32
Figura 6. Definiciones usadas en la prueba parada de emergencia	33
Figura 7. Trayectoria ideal para pruebas de velocidad y potencia.....	40
Figura 8. GPSMAP 60CSx Garmin.....	48
Figura 9. MTi, Unidad de medida inercial.	49
Figura 10. Sistema de coordenadas fijo y móvil	49
Figura 11. Sensor óptico Monarch Instrument.....	53
Figura 12. Conexiones Sensor óptico Monarch Instrument.	53
Figura 13. Módulo conversor de pulsos.....	54
Figura 14. Receptor RD9000, transmisor BT9000 y Galga (sensor)	57
Figura 15. Ley de Hooke.....	60
Figura 16. Veleta NRG #200P	62
Figura 17. Anemómetro NRG #40	62
Figura 18. Interface #SI5100	63
Figura 19. Fieldpoint 1601/110	64
Figura 20. Configuración de canales FP AI 110	65
Figura 21. Isométrico del diseño del equipo portátil.....	69
Figura 22. Conectores para estándares RS 232 y Ethernet.	71
Figura 23. Conectores usados en el desarrollo del equipo portátil	72

Figura 24. Conexiones eléctricas para los sensores	73
Figura 25. Diseño y modelado del equipo portátil.....	74
Figura 26. Disposición general de los instrumentos dentro del equipo portátil ..	75
Figura 27. Distribución de equipos de acuerdo a IEC60533.....	78
Figura 28. Caja Pelican Case, Diseño del equipo portátil.....	79
Figura 29. VI para (AAP) de datos del GPS.....	84
Figura 30. Diagrama de bloques del VI del GPS	84
Figura 31. Diagrama de bloques del VI del GPS	85
Figura 32. Programa de AAP para datos del MTi	86
Figura 33. Diagrama de bloques del programa del MTi.....	87
Figura 34. Diagrama de bloques del programa del MTi.....	89
Figura 35. VI de AAP para datos de la tarjeta Field Point	90
Figura 36. Diagrama de bloques del VI de la tarjeta Field Point.....	91
Figura 37. VI Principal para conducción de pruebas de mar	92
Figura 38. Diagrama de bloques del VI principal	92
Figura 39. Tolerancia del valor de una magnitud.....	111

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Pruebas de maniobrabilidad recomendadas por varias organizaciones	28
Tabla 2. Medidas de las pruebas de maniobrabilidad recomendadas	34
Tabla 3. Información	36
Tabla 4. Lista de medidas y equipos de medidas	39
Tabla 5. Tasa de muestreo de datos y requerimientos de exactitud.....	44
Tabla 6. Equipos actuales para la realización de pruebas.....	45
Tabla 7. Rata de giro, aceleración y campo magnético bajo la configuración estándar	51
Tabla 8. Configuración para RPM.....	54
Tabla 9. Configuración para Frecuencia	55
Tabla 10. Configuración de Frecuencia	58
Tabla 11. Configuración de Ganancia	58
Tabla 12. Conexiones en la Interface #SI5100	63
Tabla 13. Características de las señales de entrada de acuerdo a la configuración de los filtros	66
Tabla 14. Características de las señales de entrada de acuerdo a la configuración de los filtros.	66
Tabla 15. Medidas de las pruebas de maniobrabilidad recomendadas	69
Tabla 16. Lista de variables y equipos de medida	70
Tabla 17. Tamaño de los instrumentos dentro del equipo portátil	76
Tabla 18. Especificaciones de los instrumento dentro del equipo portátil.....	76
Tabla 19. Componentes disipadores de calor.....	79
Tabla 20. Relación del factor de cobertura k con la probabilidad p	107
Tabla 21. Constante t para diferentes números de mediciones.....	108

GLOSARIO

Ángulo de deriva: Ángulo formado por la dirección de la quilla con la tangente geométrica de la trayectoria descrita por cualquier punto del plano de crujía del buque

Aptitud para corregir la guiñada: Es la medida de la respuesta del buque al aplicar el timón a la banda opuesta en cierta etapa del giro de tal forma que el primer ángulo de rebasamiento sea alcanzado antes que la tendencia de guiñada sea anulada por la acción del timón a la banda opuesta en una maniobra de zig-zag.

Avance: Es la distancia medida desde el punto medio del buque en el momento que se da la orden al timón hasta la posición en que la dirección de la proa ha cambiado 90° del rumbo original.

Capacidad de detención de la caída y mantenimiento de rumbo: Es la medida de la habilidad de un buque para mantener una trayectoria recta sobre un rumbo, sin excesivas oscilaciones del timón o de su proa.

Capacidad de giro: Es la medida de la capacidad de un buque para virar con el timón todo a una banda.

Capacidad óptima de medida: Incertidumbre de medición más pequeña que se puede conseguir para una determinada magnitud en condiciones ideales de medición.

Capacidad de parada: Es medido mediante la trayectoria seguida y el tiempo requerido para detener el buque dando toda la marcha atrás, cuando se aproxima a la máxima velocidad avante.

Correlación: Relación entre dos o más variables aleatorias dentro de una distribución de dos o más variables aleatorias.

Covarianza: Medida de la dependencia mutua de dos variables aleatorias, igual al valor esperado del producto de las desviaciones de las dos variables aleatorias con respecto a sus respectivos valores esperados.

Derrota seguida: Es la distancia medida sobre la trayectoria descrita por el punto medio del buque en el momento que se da la orden de toda fuerza atrás hasta que el buque se detiene.

Desviación típica: Raíz cuadrada positiva de la varianza de una variable aleatoria.

Desviación típica experimental: Raíz cuadrada positiva de la varianza experimental.

Diámetro táctico: Es la distancia medida desde el punto medio del buque en el momento que se da la orden al timón de todo a un costado, hasta el mismo punto del buque en la posición en que la dirección de la proa ha cambiado 180° del rumbo original.

Diámetro final: Es el diámetro de la curva evolutiva durante el periodo uniforme, es decir, cuando la trayectoria se hace prácticamente circular.

DTE (Equipo Terminal de Datos): Cualquier equipo informático, sea receptor o emisor final de datos puede ser un PC.

Efectos de la corriente: Causa la deriva, hace que el barco siga un rumbo y velocidad efectivos que no acusan el compás ni la corredera.

Efecto de la hélice: Efecto debido a la corriente de expulsión de la hélice, por el cual una hélice dextrógira hace caer la proa a estribor y una hélice levógira hace caer la proa a babor.

Error absoluto: Es la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero, ahora tal valor verdadero no puede asegurarse que exista, pero cuanto más cercano al valor verdadero se quiera llegar, será más el esfuerzo y el costo del instrumento utilizado.

Error relativo: Cuando se quiere comparar dos errores de dos magnitudes medidas muy diferentes, el error absoluto no es suficiente. Por lo tanto se define el error relativo que se expresa como porcentaje. Debido a la imposibilidad de conocer el valor verdadero, a veces se usa un valor verdadero convencional que puede determinarse con otro instrumento mucho más exacto respecto al utilizado en la medición. En la práctica generalmente con los datos del fabricante uno puede determinar el error absoluto.

Error de medición: Resultado de una medición menos el valor verdadero de la magnitud evaluada.

Escora (durante la evolución): Inclinación de un barco con respecto a la vertical sobre uno de sus costados por acción del viento.

Estabilidad dinámica inherente: Un buque tiene estabilidad dinámica sobre un rumbo recto si este, después de una pequeña perturbación, retorna pronto a un nuevo rumbo recto sin la acción correctiva del timón.

Estimación de entrada: Valor estimado de una magnitud de entrada utilizado en la evaluación del resultado de una medición (xi).

Estimación de salida: Resultado de una medición calculado por la función modelo a partir de las estimaciones de entrada.

ETCD o DCE (equipo de terminación del circuito de datos): Solo procesa los datos y los envía sin modificarlo a un tercero (por ejemplo un módem).

Exactitud de medición: Es la cercanía con la cual la lectura de un instrumento se aproxima al valor verdadero de la variable medida (es una medida de las dimensiones de los errores sistemáticos).

Factor de cobertura: Factor numérico utilizado como multiplicador de la incertidumbre combinada de medida para obtener una incertidumbre expandida de medición.

Habilidad de giro inicial/cambio de rumbo: El giro inicial se define como el cambio de la proa como respuesta a una orden de timón moderada, en términos de la variación de la proa sobre la distancia navegada o en términos de la distancia navegada hasta que se alcance cierta desviación de la proa.

Incertidumbre en la medición: Parámetro, asociado con el resultado de una medición, característico de la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos a lo que se mide¹.

¹ Vocabulario internacional de términos básicos y generales de metrología, ISO 1993, 2ª edición.

Incertidumbre expandida: Magnitud que define un intervalo en torno al resultado de una medición que puede esperarse que incluya una fracción grande de la distribución de los valores que pueden atribuirse razonablemente al mensurando.

Magnitud de entrada: Magnitud de la que depende el mensurando y que se tiene en cuenta en el proceso de evaluar el resultado de una medición.

Magnitud de salida: Magnitud que representa al mensurando en la evaluación de una medición.

Maniobra: El cambio controlado en la dirección del movimiento (giro o cambio de rumbo), facilidad y exactitudes para alcanzar el rumbo deseado, distancia y trayectoria barrida hasta alcanzar el cambio.

Mantenimiento de rumbo o gobierno: Facilidad que el buque tiene para mantener el rumbo a pesar de los factores externos ambientales y sin grandes movimientos de timón.

Medición: Es un conjunto de operaciones que se realiza con el objetivo de determinar el valor de una magnitud específica, llamada mensurando.

Media Aritmética: Suma de valores dividido por el número de valores.

Mensurando: magnitud concreta objeto de la medición.

Método de evaluación Tipo A: Método de evaluación de la incertidumbre de medida por análisis estadístico de una serie de observaciones.

Método de evaluación Tipo B: Método de evaluación de la incertidumbre de medida por otro medio diferente al análisis estadístico de una serie de observaciones.

Precisión: Es una medida de la repetibilidad de una observación, o sea, dado un valor fijo de una variable, la precisión es una medida del grado con el cual mediciones sucesivas difieren una de la otra, independientemente de lo cerca que se encuentra del valor verdadero (es una medida de las dimensiones de los errores aleatorios).

Repetibilidad (de los resultados de mediciones): Es el grado de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas de un mismo mensurando, llevadas a cabo totalmente bajo las mismas condiciones de medición.

Reproducibilidad: Es el grado de concordancia entre los resultados de las mediciones de un mismo mesurando, llevadas a cabo haciendo variar las condiciones de medición.

Resolución o distinción de dos lecturas que se diferencian en menos de una división o dígito, es la cantidad más pequeña que se puede medir o discriminar, es decir el cambio más pequeño en el valor medido para el cual el instrumento responderá. Puede expresarse por dos términos, porcentaje de la lectura o la cantidad de dígitos fijos del error; el valor de la precisión y resolución normalmente no coinciden.

Sensibilidad: Es la relación entre la variación de la lectura y la variación de la magnitud medida, es decir la respuesta del instrumento al cambio de la entrada.

Tacómetro óptico: Detector de proximidad óptico que se emplea para medir la velocidad de giro de los ejes de propulsión.

Trazabilidad: Es la propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón de estar relacionado a referencias establecidas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena continua de comparaciones, todas ellas con incertidumbres establecidas.

Varianza: valor esperado del cuadrado de la desviación de una variable aleatoria con respecto al valor esperado.

Velocidad lineal: Es aquella que describe un cuerpo que se mueve sobre una línea recta, esta dada en metros por segundo.

Velocidad angular: Es la que experimenta un cuerpo cuando describe un movimiento circular, esta dada en grados o radianes por segundo.

INTRODUCCIÓN

COTECMAR es una Corporación de Ciencia y Tecnología orientada al diseño, construcción, mantenimiento y reparación de buques y artefactos navales, Marítimo y Fluvial, tanto de la Armada Nacional como de armadores privados. Dentro de las actividades, con influencia directa sobre buques y sistemas asociados, que desarrolla Cotecmar, se encuentra una serie de pruebas de mar que deben realizarse en cada proyecto de construcción o modernización de un buque, para verificar su desempeño.

La Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación DIDESI, adelanta el proyecto de investigación de Pruebas de Mar, orientado a optimizar el proceso de ejecución de las pruebas, por medio de un sistema de adquisición de datos; dentro de dicho proyecto se ha desarrollado un sistema de adquisición de datos que, actualmente, esta incompleto y que además no integra los componentes, del sistema modular, en un equipo portátil de pruebas, que permita su rápida conexión, expansión o modificación.

A causa de lo anterior, cada vez que se ejecuta un ensayo y se requiere manejar e instalar diferentes instrumentos y equipos, se constituye en una tarea compleja, tediosa y que consume mucho tiempo por la cantidad de conexiones que debe realizarse con todos y cada uno de los instrumentos de medición, adquisición y procesado de datos, debido a que estos equipos e instrumentos no hacen parte de los que normalmente se encuentran instalados en los buques.

El sistema de adquisición de datos debe realizar las mediciones de las diversas variables, que afectan una embarcación, de forma distribuida y procesarse en forma centralizada, de manera que pueda ejecutarse un estudio eficiente de los datos obtenidos por los sensores, establecer la incertidumbre en las medidas, determinar los errores, a partir de las recomendaciones dadas por los institutos de estándares y poder diagnosticar anomalías y problemas, que permitan mejorar el desempeño de las embarcaciones y mejorar futuros diseños.

FORMULACIÓN PRELIMINAR DEL PROBLEMA

Cada vez que se va a llevar a cabo una prueba de mar de un buque, es necesario instalar los sensores a bordo lo que implica un número considerable de conexiones de cables, tanto de alimentación como de señal; la disposición de los equipos, adaptadores de señal, tarjetas de adquisición de datos y despliegues.

Lo anterior implica un desgaste en los terminales de los equipos, un riesgo por la disposición improvisada de equipos de electrónica sensible en un compartimiento con un ambiente tan agresivo como un Cuarto de Máquinas, y la posibilidad de conexiones erróneas lo que podría generar daño en los equipos.

Una de las actividades que demanda más tiempo y dedicación en la preparación de una salida a prueba de mar de un buque, es la instalación y conexión de los equipos y sensores, por tanto es vista como una actividad costosa en términos de horas hombre y materiales consumibles.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Construir un equipo portátil que integre los elementos de pruebas de mar, para optimizar los recursos invertidos en la ejecución de los ensayos así como la calidad y cantidad de datos provenientes de los sensores.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer criterios para especificar los elementos necesarios que conformarán el equipo portátil de pruebas.
- Integrar y configurar los instrumentos de pruebas en un equipo portátil de pruebas.

- Establecer los principios y requisitos para el estudio de la incertidumbre de medida.
- Redefinir y elaborar los aplicativos para las pruebas.

JUSTIFICACIÓN

Para explotar al máximo el rendimiento de las embarcaciones, mejorar sus diseños y disminuir los riesgos de colisión y varada, se hace importante medir variables de velocidad, rumbo, posición, torque del eje del sistema de propulsión, entre otras, que permitan mejorar la comprensión del comportamiento de los buques en condiciones de navegación reales y establecer las modificaciones que deban realizarse.

Desarrollar un sistema de adquisición de datos confiable y preciso, para pruebas de mar, determina un mayor grado de confiabilidad respecto a los datos adquiridos y su posterior procesamiento, de tal forma que se obtenga un diagnóstico más real del comportamiento del buque en condiciones de navegación.

La integración de los instrumentos de medida para las pruebas, en un equipo portátil, permitirá optimizar los recursos que se utiliza en las pruebas, así como ahorrar tiempo y hacer más simples las instalaciones y conexiones que de alguna manera son complejas.

El estudio de los datos, que se obtenga en las pruebas, es lo que permitirá un correcto diagnóstico del comportamiento del buque, por tanto es necesario analizar la incertidumbre en las medidas, de acuerdo a las recomendaciones de las normas y estándares internacionales, para determinar que tan confiable es el sistema y la información que este arroja.

ALCANCE

Diseño y construcción de un equipo portátil que integre los elementos utilizados para las pruebas de mar, abarcando la instrumentación y análisis de las pruebas de maniobrabilidad, velocidad y potencia; especificación de principios y requisitos para el estudio de incertidumbre de medidas basado en las normas y estándares Internacionales.

1 PRUEBAS DE MAR.

Las pruebas de mar son exámenes que se realizan en los buques para probar su buen funcionamiento, una vez haya finalizado su construcción pero antes de entregar a su propietario, o bien sea, después de un reacondicionamiento o modernización.

Las pruebas se realizan con el fin de verificar la operatividad, desempeño y navegabilidad general del buque, así como la respuesta del mismo a movimientos del timón, probando velocidad y maniobrabilidad; ello es importante por que a pesar de las sofisticados medios de navegación y detección de otros buques en la trayectoria de un navío, los riesgos de colisión o varada, que pueden deberse a errores humanos o causas inevitables, muchas veces pueden evitarse si el buque esta dotado de altas cualidades de maniobrabilidad, que son evaluadas con dichas pruebas.

Debido al carácter internacional del sector naviero y a la seguridad de la navegación marítima es más efectivo que las medidas, normas y estándares que se adoptan sean llevadas a cabo en el plano internacional, que reglamentan cuestiones técnicas de navegación internacional y la adopción de estándares y normas relacionadas con la seguridad marítima, prevención y contención de la contaminación del mar que ocasionan los buques. Tales normas son elaboradas por medio de convenios, normalmente, llevados a cabo por un comité o subcomité, que se apoyan en grupos de trabajo para iniciar el documento; una vez elaborado se somete a la consideración de una conferencia, invitándose a delegaciones de todos los estados miembros, en donde se aprueba un texto definitivo, que es remitido a los gobiernos.

Las pruebas de mar se ejecutan en los astilleros de acuerdo a dichos estándares internacionales, usando boletines publicados por ITTC (Internacional Towing Tank Conference), IMO (Organización Marítima Internacional) y SNAME (The Society of Naval Architects and Marine Engineers), organismos internacionales encargados

de emitir guías para el desarrollo de pruebas especiales y pruebas de mar en buques, además de emitir los estándares de maniobrabilidad exigidos a toda embarcación con propósito de navegación internacional, también se encargan de desarrollar normas en cuanto a símbolos, terminología y procedimientos de control de calidad para un continuo mejoramiento de la industria naval.

Además de las organizaciones anteriores existen otras como la ISO (Internacional Organización for Standardization), BMT (British Maritime Technology), DnV (Det norske Veritas), Norsk Standard y Japan RR, entre otras, que emiten recomendaciones o lineamientos para la ejecución de pruebas de mar de buques y estándares de maniobrabilidad, con el propósito de estudiar el comportamiento de buques y hacer una estimación de su estado.

1.1 CONCEPTOS PREVIOS.

La habilidad de un buque y sus controles, tanto humanos, electrónicos y mecánicos, de controlar su movimiento, trayectoria, velocidad y aceleración, es conocida como “controlabilidad”, esta se divide en tres áreas y su estudio es determinante al considerar el comportamiento de un buque. Las tres áreas son las siguientes:

- **Mantenimiento de rumbo o gobierno:** Facilidad que el buque tiene para mantener el rumbo a pesar de los factores externos ambientales y sin grandes movimientos de timón.
- **Maniobra:** El cambio controlado en la dirección del movimiento (giro o cambio de rumbo), facilidad y exactitudes para alcanzar el rumbo deseado, distancia y trayectoria barrida hasta alcanzar el cambio deseado.
- **Cambio de velocidad:** El cambio controlado de velocidad, incluida la aceleración, desaceleración, parada y marcha atrás, teniendo en cuenta la rapidez, distancia y tiempo requerido para alcanzar los cambios sin pérdida de control del rumbo.

Las características de mantenimiento de rumbo y de maniobrabilidad, dependen en gran medida de la geometría y del asiento del buque, para buques convencionales estas cualidades son antagónicas, es decir, un buque altamente maniobrable tiene dificultades para mantener su rumbo y un buque que mantiene su rumbo fácilmente, tiene dificultades para virar, por lo tanto, se debe lograr unas condiciones de equilibrio desde las primeras etapas del diseño para que estas características, en función de la misión del buque, sean satisfactorias a la luz de las expectativas del armador y de los reglamentos existentes.

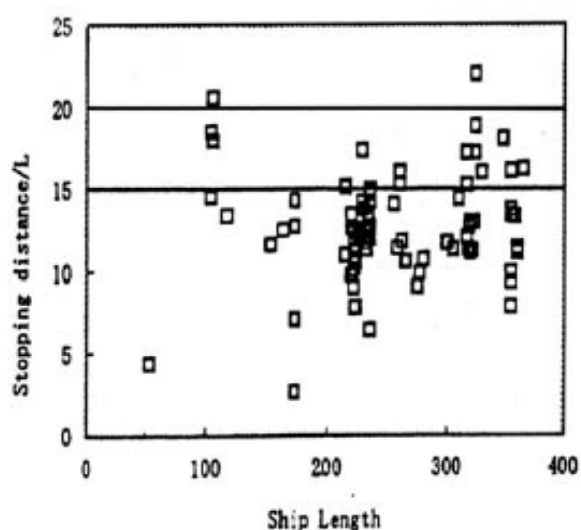
1.2 CRITERIOS DE MANIOBRABILIDAD.

Para evaluar las características de maniobrabilidad de los buques, se encuentran establecidos los siguientes parámetros:

- Estabilidad dinámica inherente: Un buque tiene estabilidad dinámica sobre un rumbo recto si este, después de una pequeña perturbación, retorna pronto a un nuevo rumbo recto sin la acción correctiva del timón.
- Capacidad de detención de la caída y mantenimiento de rumbo: Es la medida de la habilidad de un buque para mantener una trayectoria recta sobre un rumbo, sin excesivas acciones sobre el timón u oscilaciones de su proa.
- Habilidad de giro inicial/cambio de rumbo: El giro inicial se define en términos de la variación de la proa sobre la distancia navegada o en términos de la distancia navegada hasta que se alcance cierta desviación de la proa como respuesta a una orden de timón moderada.
- Aptitud para corregir la guiñada: Es la medida de la respuesta del buque al aplicar el timón a la banda opuesta en cierta etapa del giro de tal forma que el primer ángulo de rebasamiento sea alcanzado antes que la tendencia de guiñada sea anulada por la acción del timón a la banda opuesta.
- Capacidad de giro: Es la medida de la capacidad de un buque para virar con el timón todo a una banda. Está caracterizado por un círculo evolutivo.

- Capacidad de parada: Es medido mediante la trayectoria seguida y el tiempo requerido para detener el buque dando toda la marcha atrás, cuando se aproxima a la máxima velocidad avante. El recorrido efectuado en el test de toda máquina atrás no debe exceder de 15 esloras. No obstante este valor puede ser modificado, cuando en buques de gran desplazamiento tal criterio sea impracticable, pero en ningún caso debe exceder de 20 esloras² (ver Figura 1).

Figura 1. Criterio que evalúa la capacidad de parada



Fuente: ITTC, Final Report and Recommendations to the 24th

De las pruebas de mar, en las cuales se combinan velocidades y ángulos de timón, se obtiene como resultado diagramas evolutivos de donde se pueden analizar las cualidades evolutivas del buque y por tanto conocer con exactitud las fuerzas externas e internas que afectan el comportamiento del mismo.

Tales resultados permiten estimar de antemano la trayectoria que seguirá el buque, cuando evoluciona, aplicando determinado ángulo y velocidad; las principales consideraciones que se deducen son las siguientes:

- Avance: Es la distancia recorrida en la dirección del curso original por el punto medio de un buque desde la posición en que se da la orden al timón, hasta la posición en que la dirección de la proa ha cambiado 90° del rumbo original.

² IMO. Standar for Ship Manoeuvrability. Resolution MSC. 137(76), 2002. P.6.

- **Diámetro táctico:** Es la distancia recorrida por el punto medio de un buque desde la posición en que se da la orden al timón, hasta que la dirección de la proa ha cambiado 180° del rumbo original.
- **Diámetro final:** Es el diámetro de la curva evolutiva durante el periodo uniforme, es decir, cuando la trayectoria se hace prácticamente circular.
- **Velocidad lineal:** Es la que describe un cuerpo que se mueve sobre una línea recta, esta dada en metros por segundo.
- **Velocidad angular:** Es la que experimenta un cuerpo cuando describe un movimiento circular, esta dada en grados o radianes por segundo.
- **Ángulo de deriva:** Ángulo formado por la dirección de la quilla con la tangente geométrica de la trayectoria descrita por cualquier punto del plano de crujía del buque, depende de factores como forma de la obra viva, diseño del timón, tamaño y velocidad del buque, dirección e intensidad del viento entre otros.
- **Escora (durante la evolución):** Inclinación de un barco con respecto a la vertical sobre uno de sus costados por acción del viento.
- **Efecto de la hélice:** Efecto debido a la corriente de expulsión de la hélice, por el cual una hélice dextrógira hace caer la proa a estribor y una hélice levógira hace caer la proa a babor.
- **Efectos del viento:** Ejerce una influencia significativa en la navegación de un buque, pueden perjudicar o beneficiar el viaje. Algunos de los efectos del viento son: abatimiento y alteraciones de rumbos. Cuando se navega en compañía de viento, este desvía a la embarcación de su derrota. El viento empuja de costado al barco, haciéndole variar su velocidad, hecho que se manifiesta en la corredera.
- **Efectos de la corriente:** Causa la deriva, hace que el barco siga un rumbo y velocidad efectivos que no manifiesta ni el compás ni la corredera.

1.3 FUERZAS EXTERNAS E INTERNAS QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DEL BUQUE.

Las fuerzas que influyen en un buque son siete; cuatro, propias del buque que el maniobrista puede dominar a su voluntad y según las use podrá sacarle o no el máximo provecho, son las aplicadas en la hélice, timón, ancla y amarras; las tres restantes, son fuerzas naturales del medio ambiente que no pueden ser controladas por el maniobrista y son las fuerzas debidas al viento, corrientes y olas.

1.4 PRUEBAS DE MANIOBRABILIDAD.

La SNAME, ha elaborado para maniobrabilidad, pruebas especiales y pruebas de mar. IMO adoptó, en el año 2002, la Resolución MSC 173(76), en la que se exponen los estándares y características de maniobrabilidad que cada embarcación debe cumplir; ese mismo año, ITTC expone tres documentos que contienen los procedimientos para el desarrollo de las pruebas de mar de buques a escala real. Sin embargo dado que no existe un estándar internacional definitivo para la conducción de pruebas, muchos astilleros desarrollan sus propios procedimientos de conducción, de acuerdo a su propia experiencia y considerando los estudios de ITTC, SNAME, IMO, entre otras.

La lista siguiente, corresponde a los nombres de pruebas recomendadas por varias organizaciones internacionales.

Tabla 1. Pruebas de maniobrabilidad recomendadas por varias organizaciones

	TYPE OF TEST	IMO A601	IMO A751	ITTC 1975	SNAM E 1989	Norsk Standard	Japan RR
1	Turning test	√	√	√	√	√	√
2	Z-maneuver test	√	√	√	√	√	√
3	Modified Z-maneuver test	-	-	-	-	-	√
4	Direct spiral test	-	-	√	√	√	√
5	Reverse spiral test	-	-	√	√	√	√
6	Pull-out test	√	-	√	√	-	-
7	Stopping test (Crash stop astern test)	√	√	√	√	√	√
8	Stopping inertia test	√	-	-	-	√	√
9	New coursekeeping test	√	-	-	-	-	√
10	Man-overboard test	√	-	-	-	-	-
11	Parallel course maneuver test	√	-	-	-	-	-
12	Initial turning test		-	-	√	-	-
13	Z-maneuver test at low speed	√	-	-	√	-	√
14	Accelerating turning test	√	-	√	-	-	-
15	Acceleration/deceleration test	√	-	-	√	-	-
16	Thruster test	√	-	√	√	√	-
17	Minimum revolution test	√	-	-	√	√	-
18	Crash ahead test	√	-	-	√	√	√

Fuente: Final report and recommendations to the 22nd ITTC

Sin embargo las tres maniobras estándar que se consideran en este estudio y que recomienda IMO son:

- Círculo evolutivo
- Zig-zag
- Parada de emergencia

Según IMO, SNAME e ITTC³ las condiciones en las que se debe desarrollar las pruebas de mar son:

- Full carga, calados parejos
- Aguas profundas y no restringidas
- Ambiente en calma

³SNAME. Guide for Sea Trials. Technical and Research Bulletin N° 3-47, 1989.p.3; IMO. Standar for Ship Manoeuvrability. Resolution MSC. 137(76), 2002. p.2; [3]. ITTC. The Special Committee on Trials and Monitoring. Final report and recommendations to the 22nd ITTC. 2005. p.15.

- Sostenimiento de velocidad constante
- Aproximación en rumbo recto a la velocidad de test

Las máximas condiciones para llevar a cabo las pruebas son:

Viento: Las pruebas no deben ser conducidas con una velocidad de viento verdadero mayor que beaufort 5.

Olas: Las pruebas de mar deben desarrollarse en estado de mar menor a 4.

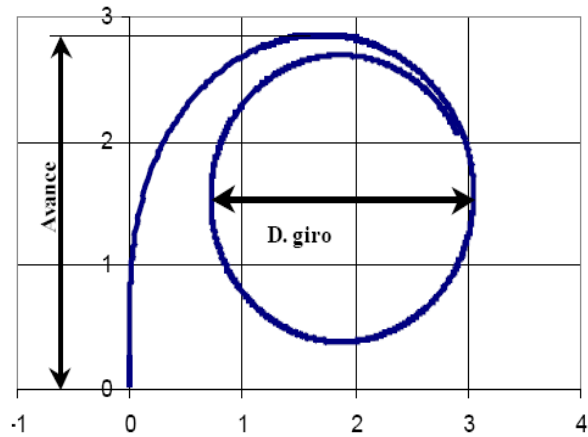
1.4.1 Maniobra de círculo evolutivo.

Esta maniobra se realiza, con el buque en rumbo y velocidad constante, marcha avante a una y otra banda, estribor y babor, con 35° grados de timón, o el máximo ángulo de timón admisible a la velocidad del test, se deja que el buque realice un círculo hasta que el rumbo cambie por lo menos 720°. El propósito de esta prueba, es determinar la habilidad de giro del buque; la información básica obtenida de esta prueba es (ver Figura 2 y 3):

- Avance
- Transferencia
- Diámetro de giro
- Diámetro táctico
- Tiempo en que el rumbo cambia 90°
- Tiempo en que el rumbo cambia 180°

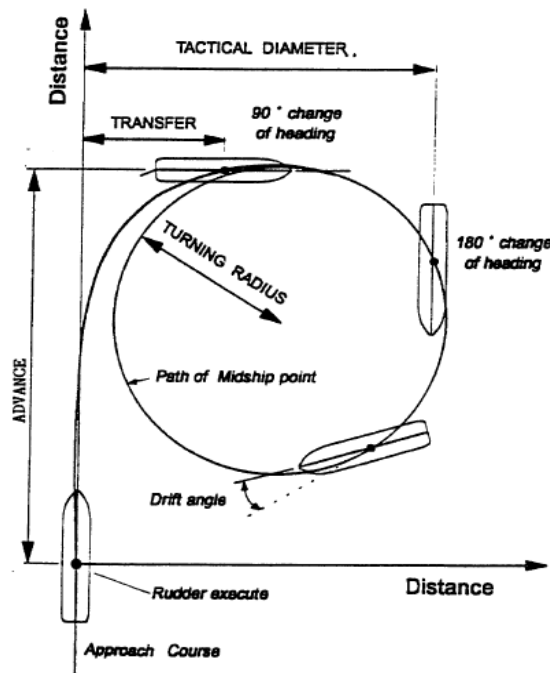
El avance no debe exceder 4.5 esloras (L) y el diámetro táctico no debe exceder 5 esloras en el Círculo de Maniobra También es de interés la velocidad final de barco y la tasa de giro en estado estable.

Figura 2. Círculo evolutivo



Fuente: PÉREZ y ZAMORA, II congreso internacional de ingeniería oceánica. 2000

Figura 3. Características obtenidas en la prueba círculo evolutivo.



Fuente: IMO. Explanatory Notes to the standards for ship manoeuvrability

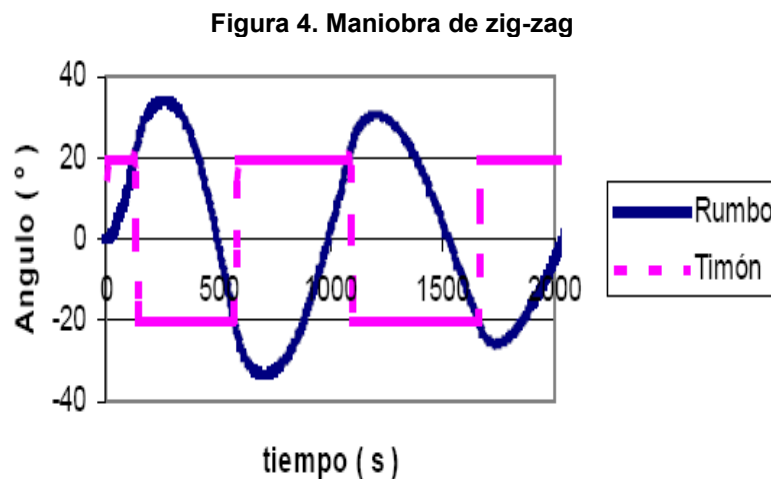
1.4.2 Maniobra de zig-zag.

Esta determinada por la combinación de cambio de valores de rumbo y ángulo de timón, se denota δ/ψ , los valores comunes para este parámetro es 10/10 y 20/20; la maniobra de zig-zag se realiza aplicando alternativamente a cada banda, determinado ángulo de timón, se espera a que el ángulo de rumbo sea igual al ángulo de timón (por lo general 10° y 20°) y luego se lleva ese mismo ángulo a la banda contraria hasta que el buque vuelva a alcanzar otra vez este ángulo.

La maniobra de zig-zag se usa para manifestar la capacidad de caída y mantenimiento del rumbo del buque; la información que se puede obtener es (ver Figura 4 y 5):

- Tiempo de giro inicial
- Tiempo para la segunda ejecución
- Tiempo para comprobar la guiñada
- Ángulo de rebasamiento (overshoot)⁴

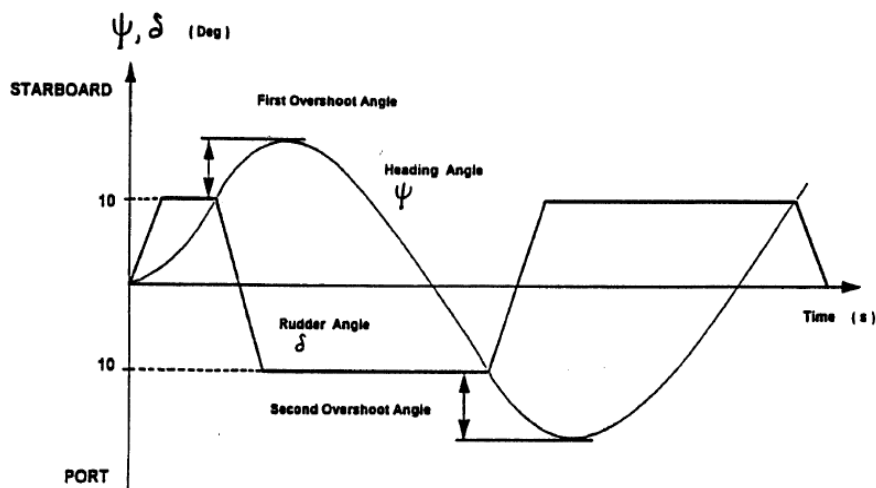
De esta maniobra se derivan los conceptos de numero P de Norbin, que se define como el ángulo de rumbo girado por unidad de ángulo de timón empleado, cuando el buque ha recorrido una distancia igual a la eslora desde que es aplicado en ángulo de timón.



Fuente: PÉREZ y ZAMORA, II congreso internacional de ingeniería oceánica. 2000

⁴ Corresponde al máximo ángulo de rumbo, alcanzado después de la segunda y tercera ejecución respectivamente.

Figura 5. Características obtenidas en la maniobra de zig-zag



Fuente: IMO. Explanatory Notes to the standards for ship manoeuvrability

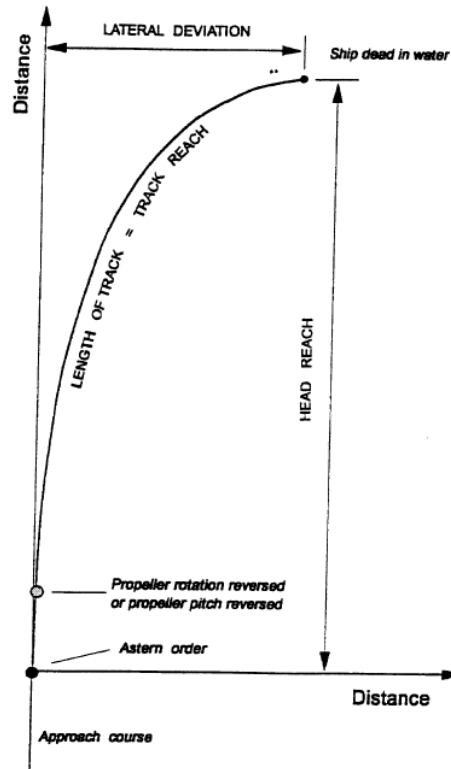
1.4.3 Parada de emergencia.

La prueba de parada de emergencia es usada para expresar las cualidades de maniobrabilidad de emergencia, para determinar el alcance de la pista de un buque desde el momento en que se da una orden de marcha hacia atrás, hasta que el barco se detiene en el agua.

La información obtenida es (ver Figura 6):

- Tiempo de parada
- Distancia desde que se da la orden de marcha hacia atrás hasta que se detiene el buque.
- La desviación lateral, que es la distancia de babor a estribor medida normal al curso inicial del buque.

Figura 6. Definiciones usadas en la prueba parada de emergencia



Fuente: IMO. Explanatory Notes to the standards for ship manoeuvrability

1.5 MEDIDA DE LAS CUALIDADES DE MANIOBRABILIDAD.

Las cualidades de maniobrabilidad pueden evaluarse cuantitativamente ya que están relacionadas directamente con algunas de las magnitudes que se miden en las maniobras definidas anteriormente.

Las relaciones entre dichas cualidades y las magnitudes que mejor las representan son las siguientes:

- Facilidad de evolución ➡ diámetro de giro.
- Estabilidad de ruta ➡ anchura del ciclo de histéresis.
- Facilidad de cambio de rumbo ➡ avance y número P

Tanto el avance como el diámetro de giro salen de maniobras con 35° de ángulo de timón. El número P suele obtenerse de maniobras de zig-zag con ángulos moderados de rumbo y timón, dado que su valor no difiere mucho si se obtiene de una maniobra u otra.

Los datos se almacenan con el fin de evaluar el rendimiento de la maniobrabilidad, además de las medidas generales, mostradas en la tabla 2.

Tabla 2. Medidas de las pruebas de maniobrabilidad recomendadas

	TYPE OF TEST	Heading	Position	Speed	Rudder angle	Revolution	Rate of turn	Torque
1	Turning test	√	√	√	√	√	√	**
2	Z-maneuver test	√	√	√	√	√		
3	Modified Z-maneuver test	√		√	√	√		
4	Direct spiral test	√		√	√		*	
5	Reverse spiral test	√		√	√		*	
6	Pull-out test	√		√	√		*	
7	Stopping test (Crash stop astern test)	√	√	√		√		**
8	Stopping inertia test	√	√	√		√		
9	New coursekeeping test	√	√	√	√			
10	Man-overboard test	√	√	√	√			
11	Parallel course maneuver test	√	√	√	√			
12	Initial turning test	√		√	√			
13	Z-maneuver test at low speed	√		√	√			
14	Accelerating turning test	√	√	√	√	√		
15	Acceleration/deceleration test	√	√	√		√		
16	Thruster test	√	√	√		√		
17	Minimum revolution test			√		√		
18	Crash ahead test	√	√	√		√		**

Fuente: Final report and recommendations to the 22nd ITTC

* Si la tasa de giro no puede obtenerse utilizando una tasa de giro y/o gyrocompass, utilice el rumbo y el tiempo transcurrido para obtener este valor.

** Datos recogidos si el buque está equipado con torquímetro.

1.6 PRUEBAS DE VELOCIDAD Y POTENCIA.

Con la prueba de velocidad y potencia de un buque se pretende verificar el comportamiento del sistema de propulsión, esta prueba incluye la medición de la velocidad del buque, los parámetros de la planta propulsora y todos sus sistemas auxiliares; y los parámetros ambientales que puedan afectar el desempeño de la planta propulsora o del casco del buque.

Las pruebas de velocidad y potencia se realizan para satisfacer los requerimientos contractuales del barco en cuanto a la velocidad y la potencia del eje. La relación entre la velocidad de barco, la potencia del eje, las revoluciones del eje por minuto. Existen pruebas que se conducen para definir las características de velocidad y potencia del barco a un desplazamiento dado, condiciones del propulsor o condiciones dadas de operación. Estas pruebas pueden ser para propósito científico de acuerdo a su complejidad y extensión.

Los miembros de la ITTC se han esforzado por presentar guías y procedimientos para conducir pruebas de velocidad y potencia para pruebas de mar, de igual manera la SNAME ha producido un código para pruebas de mar. SNAME 1989, además se pueden encontrar otras guías en The Japan Ship Research Association (JSRA), Sea Trial Code for Giant Ships (1972) BSRA.

The specialist Committee ha desarrollado recomendaciones acerca de la conducción de pruebas de velocidad y potencia, teniendo en cuenta aspectos técnicos y científicos, lo que permite una mayor explotación de las pruebas.

Antes de realizar la prueba deben reportarse algunas condiciones, que permitirán realizar una evaluación de los resultados de las pruebas con fines científicos, tales condiciones son:

- Condiciones del casco: Fabricante y clase de pintura usada, grosor de la capa de pintura; si el casco está sucio se deben documentar las indicaciones visuales y la fecha de la última vez que estuvo en dique.
- El calado, inclinación y desplazamiento de la prueba debe ser obtenido promediado de la lectura de calado antes de la prueba. El calado e inclinación deben ser lo más cercanas posibles a las condiciones contratadas.

- Condiciones del propulsor.

Se debe diligenciar los datos que se encuentran en la tabla 3.

Tabla 3. Información

Quantity	Task 1	Task 2	Task 3
Ship Hull			
Daft	√	√	√
Trim	√	√	√
Displacement and Load	√	√	√
Hull Condition			
Roughness of shell and buttom paint	√		
Height of welding beads	√		
Waviness of hull	√		
Size, number and position of openings of sea water inlets and outlets	√		
Paint system	√		
Hull appendages and rudder			
Geometry, deviations, roughness	√	√	√
type	√	√	√
Rate of movement		√	√
Propellers			
Geometry, deviations, roughness	√	√	√
Pitch	√		
Direction of rotation	√		
Number of blades	√		
Propeller Shaft			
Geometry	√		
Material	√		
Trial Site			

Water depth	√	√	√
Water temperature	√	√	√
enviromental conditions			
Wind	√	√	√
Waves	√	√	√
Current	√	√	√

Fuente: Final report and recommendations to the 22nd ITTC

1.6.1 Criterios del lugar de prueba

El lugar de pruebas debe estar localizado en aguas con profundidad adecuada, con mínima influencia de corriente y marea y un tamaño suficiente que permita una amplia maniobrabilidad. La mínima profundidad de agua se determina de acuerdo al mayor valor de las ecuaciones:

$$h > 3(BT)^{0.5} \text{ y } h > 2.75 V^2/g$$

h= profundidad en unidades de longitud

B= haz en unidades de longitud

T= calado en unidades de longitud

V= velocidad en el sistema

1.6.2 Condiciones ambientales de la prueba

- Viento: Se debe determinar con un anemómetro y no debe ser mayor a Beaufort 6.
- Ola: El estado de mar debe ser menor que 5, se deben aplicar correcciones si el estado es mayor a 5.
- Temperatura del agua: Se debe determinar con una muestra de agua del lugar de prueba, usando un termómetro calibrado.
- Corriente: Debe medirse la velocidad y dirección de la corriente.

- Temperatura del aire y presión atmosférica: Debe ser medida en el lugar de prueba usando un termómetro y barómetro calibrado.

1.6.3 Selección de la prueba

- Prueba de velocidad y potencia de desplazamiento: Cuyo propósito es determinar el efecto del desplazamiento en las características de velocidad y potencia del buque.
- Pruebas de cabeceo del propulsor: Cuyo propósito es determinar el efecto del cabeceo en el propulsor, en las características de velocidad y potencia del buque.
- Prueba de seguimiento del eje (principalmente para buques navales): El propósito de esta prueba es predecir la capacidad de velocidad y potencia en accidentes.

1.6.4 Medidas durante la prueba

Los datos críticos que deben tomarse son los siguientes; si falta alguno no pueden ser considerados para propósitos científicos.

- Velocidad del buque.
- Torque del eje.
- Revoluciones del eje.

Los segundos datos son usados para una evaluación más precisa del comportamiento del buque durante la prueba.

- Trayectoria del buque.
- Ángulo de timón.
- Rumbo del buque.

Los terceros datos son para aumentar la confiabilidad de los resultados y agregar conocimiento científico al procedimiento.

- Altura de la olas y dirección relativa
- Dirección y velocidad de viento relativa
- Cabeceo
- Rolido
- Cabeceo del propulsor
- Empuje del eje del propulsor
- Profundidad del agua

The 22nd ITTC Trials & Monitoring Specialist Committee, ha determinado realizar medidas de las variables listadas en la tabla 4, con el fin de verificar exitosamente el comportamiento del sistema de propulsión de un buque.

Tabla 4. Lista de variables y equipos de medida

	EQUIPO DE MEDIDA
Trayectoria del buque	GPS
Velocidad	GPS
Torque en el eje	Torqui metro
RPM en el eje	Sensor óptico
Tiempo	Reloj del PC
Profundidad del agua	Ecosonda
Ángulo de timón	Indicador de ángulo de timón
Viento relativo	Anemómetro
Balance/cabeceo	Inclinómetro
Estado de mar	Evaluación de un experto

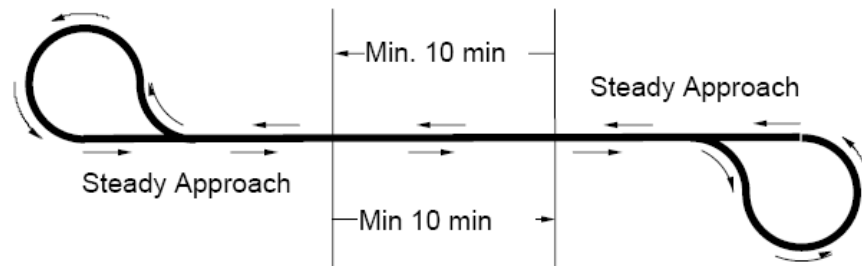
Fuente: Final report and recommendations to the 23rd ITTC

Los requerimientos de velocidad y potencia del buque, para las pruebas, son de acuerdo a lo pactado y especialmente expresado en términos de la velocidad alcanzada de acuerdo a la potencia y revoluciones dadas de la maquina (85% de la tasa máxima), a condiciones ambientales ideales y de carga dadas.

Todas las pruebas deben ser conducidas con doble corrida y cada corrida seguida de un retorno en dirección contraria y a las mismas condiciones, el número de corridas dobles no debe ser menor a tres, el tiempo necesario para cada prueba depende de la velocidad de la maquina, sin embargo SC recomienda que al menos debe durar 10 min.

La trayectoria ideal es la mostrada en la figura 7.

Figura 7. Trayectoria ideal para pruebas de velocidad y potencia



Fuente: ITTC. Recommended Procedures and Guidelines. Full Scale Measurements
Speed and Power Trials, Preparation and Conduct of Speed/Power Trials. 2005

La instrumentación necesaria para medir las variables según IMO e ITTC para cada prueba y la instrumentación utilizada en COTECMAR para conducir las pruebas de mar, se presentan en el siguiente aparte.

2 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Las mediciones de las variables, obtenidas durante las pruebas de mar, se realizan en forma distribuida por medio de sensores de diferentes tipos; el sistema de adquisición de datos, se encarga, precisamente de registrar e integrar dichas medidas, en forma centralizada, por medio de un sistema basado en PC y tarjetas de adquisición de datos Fieldpoint.

Los datos obtenidos a partir del sistema de adquisición de datos, son analizados con el objeto de dar una estimación del estado de maniobrabilidad del buque y el estado del sistema de propulsión.

En este capítulo se encuentra especificada la instrumentación recomendada por ITTC [8] y SC [3], además de la instrumentación usada para conducir las pruebas de mar en COTECMAR, seleccionada según las recomendaciones de tales organizaciones.

2.1 INSTRUMENTACIÓN RECOMENDADA POR ITTC Y SC.

Durante la ejecución de las pruebas de maniobrabilidad, velocidad y potencia, deben registrarse y guardarse los datos medidos desde que inicia hasta que finaliza cada prueba.

Los datos para las pruebas de maniobrabilidad son:

- Fecha
- Hora
- Área de prueba
- Velocidad inicial aproximada y rumbo

- Condición de carga del buque (calado, inclinación, centro de gravedad y altura metacéntrica)
- Profundidad de agua
- Ángulo de timón
- Condiciones ambientales: velocidad de la corriente y dirección relativa, velocidad de viento, velocidad relativa del viento, estado de mar.

Para las pruebas de velocidad y potencia mínimo deben registrarse y guardarse los siguientes datos:

- Posición del buque
- Torque y RPM del eje del sistema de propulsión
- Ángulo de timón
- Rumbo del buque
- Tasa de giro del buque

ITTC recomienda que la técnica, para instrumentar las variables, deba ser capaz de proveer un historial de tiempo de las medidas, durante la operación de las pruebas; la adquisición de los datos permitirá el cálculo del análisis de incertidumbre.

1. *Determinación de la velocidad del buque:* La velocidad del buque es una de las principales magnitudes a medir durante las pruebas de mar, un error en la velocidad tiene un efecto significativo en la curva de velocidad y potencia debido a su relación cúbica. Existen varios métodos para medir la velocidad en forma experimental o analítica (medida de una milla corrida, sistema de radio-localización y sistema de posicionamiento global diferencial), sin embargo ITTC y SC recomiendan el uso del GPS por la posibilidad de escoger un curso sin la restricción de la localización de una estación de referencia, debido a su singularidad de usar una señal de referencia de una red de satélites que giran alrededor de la tierra.
2. *Medida de la potencia del eje del sistema de propulsión:* Este parámetro debe ser medido durante el desarrollo de la prueba y puede hacerse indirectamente midiendo las rpm y la tasa de combustible o presión de los pistones en maquinas diesel o parámetros eléctricos en motores eléctricos;

sin embargo se puede usar un método directo que provee mayor precisión y confiabilidad durante las pruebas de mar, el método combina las medidas de torque y rpm en el eje del sistema de propulsión; el sensor del torquímetro debe una galga extensiométrica, por medio de la cual se detecta la deformación producida por el torque de la carga, de acuerdo a la siguiente relación:

$$Q = \frac{4GJ}{D} \epsilon$$

Donde:

D= diámetro del eje (m)

J= momento de inercia polar (m⁴)

G= modulo de rigidez del material del eje (N/m²)

Q= torque del eje (N-m)

ε= esfuerzo

3. *Medida de la trayectoria del buque:* El GPS permite fijar la posición, por tanto es usado para trazar la trayectoria del buque, fijando las posiciones sucesivas
4. *Medida del rumbo del buque:* Debe ser leído con un girocompás.
5. *Medida del ángulo de timón:* Debe ser medido con un potenciómetro angular.
6. *Tasa de giro:* Se obtiene de acuerdo al cambio de rumbo por segundo durante un giro.
7. *Velocidad angular:* Se determina por medio de un sensor óptico.

De acuerdo a ITTC y SC el sistema de adquisición debe ser capaz de guardar un historial de tiempo de las medidas instrumentadas, con el fin de utilizarlas para el desarrollo de un análisis de incertidumbre. Los datos deben ser adquiridos por un computador, capaz de obtener todas las señales instantáneamente, proveyendo los resultados en tiempo real⁵. La tasa de muestreo de los datos, sugerida por

⁵ Ver manejo de tiempo real en el capítulo 3

ITTC, es de 0.5 – 2 muestras por segundo; los requerimientos de exactitud y tasa de muestreo de los datos se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Tasa de muestreo de datos y requerimientos de exactitud

Parámetros	Maniobra de zig-zag	Círculo evolutivo	Parada de emergencia	Precisión mínima
Tiempo	Continuo	Continuo	Continuo	±1s
Posición	Al menos 5 medidas igualmente espaciadas	Inicialmente y después de un cambio de 45° en el rumbo	Inicialmente y después de 20s	±10 m
Velocidad	5s	10s o un cambio de 30° de rumbo	5s	±0.5 nudos
Rumbo	2s	5s	20s	±0.5°
Configuración del medidor de ángulo de timón	2s	Inicialmente y después de un cambio de 45° de rumbo		±1°
Torque y rpm del propulsor	Inicialmente y después en cada cruce del rumbo	Inicialmente y después de cada 45° de cambio en el rumbo	Inicialmente y después de 5s	±1% de la configuración inicial
Rata de giro	5s	5s	-	±0.05 grados/sg

Fuente: ITTC, Recommended procedures 2002

2.2 INSTRUMENTACIÓN PARA LAS PRUEBAS DE MAR EN COTECMAR.

La instrumentación como tal se refiere a los dispositivos de medición, control y transmisión, existentes en el mercado actualmente, que son usados para solucionar el problema de medición. Un instrumento es en general un dispositivo que transforma una variable física en una forma que permita ser manipulada, leída y observada por un operador, dentro de un proceso de medición, para mantener las especificaciones del producto dentro de los límites establecidos por las exigentes normas de calidad y seguridad vigentes.

Dentro del proceso de medición de las pruebas de mar, COTECMAR se ha acogido a las recomendaciones de instrumentación, examinadas en el aparte anterior; dichas pruebas dependen del tipo de embarcación que sea construida y se pretenda probar o del contrato de modernización o re potenciación del buque; para tal fin la corporación cuenta con los siguientes equipos:

Tabla 6. Equipos actuales para la realización de pruebas de mar.

Equipos de medición	Descripción	Variables a medir
GPS	Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto. Exactitud 10m, resolución 1°, exactitud del compas $\pm 5^\circ$.	Posición, velocidad, rumbo
Tacómetro óptico	Mide la velocidad angular de los ejes del sistema de propulsión, basa su funcionamiento en la reflexión de un haz de luz roja visible que emite.	RPM
TorqueTrak 9000	Sistema de radio telemetría digital para medir torque. Resolución 14 bits.	Torque
Inclinómetro	Instrumento para medir inclinación con respecto a un eje, determinado por la dirección del campo magnético terrestre. Resolución 12 bits.	Escora
		Trimado
RTD	Sensor de temperatura, resistivo.	Temperatura
Higrómetro	Es un instrumento que se usa para medir el grado de humedad del aire.	Humedad
Anemómetro	Es un molinete de tres copas cónicas + generador eléctrico AC, montado en el eje del dispositivo, la frecuencia de la señal de salida, generada, es proporcional a la velocidad del viento. Precisión 0.1m/s	Velocidad del viento
Veleta	Mide la dirección de viento de acuerdo a la variación de un potenciómetro de precisión que es directamente proporcional a la tensión de salida de la veleta.	Dirección del viento
Acelerómetro	Referencia inercial, con tres grados de libertad de orientación, tres acelerómetros para aceleración en 3D,	Orientación Aceleración

(MTi)	tres giros para rata de giro en 3D y tres magnetómetros para campo magnético en 3D. Mide posición en 3D (guiñada, cabeceo y balance).resolución angular 0.05°.	Rata de giro Campo magnético
Field Point FP-1000,1601/100,110	1 Módulo de red, 2 Módulos de adquisición y acondicionamiento de señales análogas, 2 Módulos de adquisición y acondicionamiento de señales para RTDs	
Data-Chart 2000	Despliegue digital programable que posee una memoria RAM y una tarjeta de extensión PCMCIA	

2.3 VARIABLES INSTRUMENTADAS.

Las variables instrumentadas para pruebas de maniobrabilidad, velocidad y potencia son:

- Rumbo
- Posición
- Velocidad
- Guiñada, cabeceo y balance
- Ángulo de timón
- RPM
- Torque
- Velocidad del viento
- Dirección del viento

2.3.1 Rumbo, posición y velocidad

Estas variables se miden con un GPS o un sensor inercial

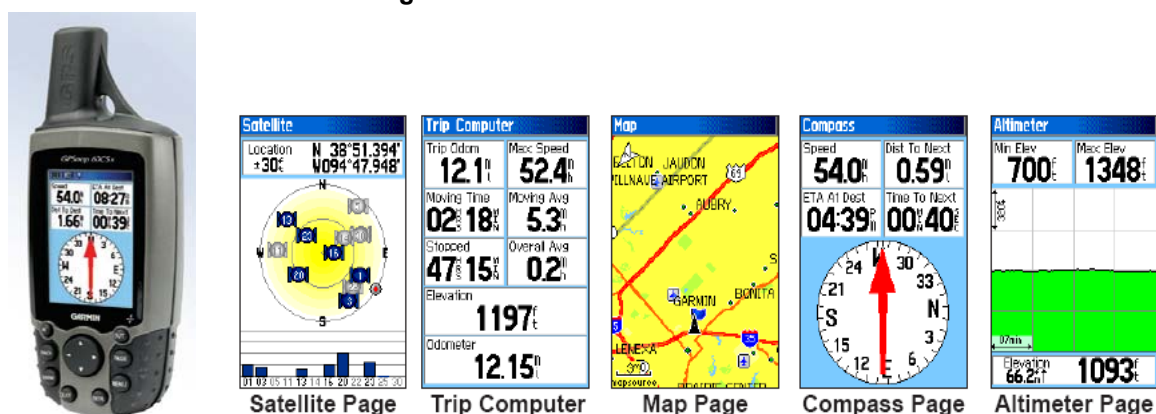
El **NAVSTAR-GPS** (NAVigation System and Ranging-Global Position System) es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), conocido simplemente como **GPS**, que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave. Este sistema de radionavegación está basado en una constelación de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo a 20200km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. El sistema es operado para el Gobierno de los Estados Unidos por su departamento de defensa y es el único sistema de navegación por satélite completamente operativo a la fecha actual.

Cuando se desea determinar la posición de un usuario, el receptor que se utiliza para ello localiza, automáticamente, como mínimo tres satélites de la constelación, de los que recibe las señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. Con base a estas señales el GPS (receptor) calcula su posición midiendo la distancia a los satélites, calculando el tiempo que la señal tarda en llegar al receptor, teniendo en cuenta que la señal viaja a la velocidad de la luz y con algunas correcciones se calculan las tres coordenadas (latitud, longitud y altitud).

Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto en la superficie de la esfera, describiendo una circunferencia con centro en el propio satélite y radio la distancia total hasta el receptor, la intersección de las tres esferas da la posición del usuario, sin embargo como los relojes de los receptores no son atómicos entonces no están sincronizados con los relojes de los satélites, por lo tanto los puntos determinados por 3 satélites no son precisos y debe adicionarse por lo menos la información de un cuarto satélite, luego la precisión del sistema GPS, depende del número de satélites visibles en un momento, de forma tal que la intersección de las esferas no sea un volumen sino un punto.

Con una gran cantidad de satélites puede tenerse una precisión de hasta menos de 2.5m, pero si se usa un GPS con sistema diferencial DGPS llamado SBAS (WAAS-EGNOS-MSAS) la precisión mejora siendo inferior a un metro; estos sistemas no aplican en Sudamérica ya que esta parte del mundo no cuenta con este tipo de satélites geoestacionarios.

Figura 8. GPSPMAP 60CSx Garmin.



El GPS elegido para la ejecución de pruebas de mar en COTECMAR, es GPSMAP 60CSx Garmin (ver Figura 8), utiliza el sistema de corrección DGPS WAAS y EGNOS proporcionadas por un sistemas de satélites diseñados para tal efecto en Estados Unidos y Europa, respectivamente; sin embargo no debe activarse el sistema ya que al no existir estaciones de tierra en Latinoamérica la precisión de la señal en vez de mejorar se degradaría.

GPSMAP integra un chipset SiRF Star III, de alta sensibilidad, un altímetro barométrico y un compás electrónico; la salida es RS232 con estándar de entrada y salida NMEA 0183 versión 3.01, permitiendo la salida en código ASCII y velocidad de transmisión en baudios de 4800.

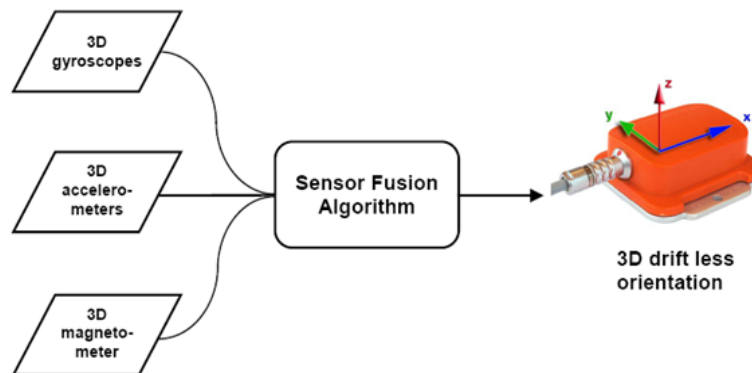
El GPS se conecta al PC por medio de un conversor serial-USB, que crea un puerto serial virtual usado en el instrumento virtual creado en LabVIEW para procesar y registrar los datos medidos por el GPS.

2.3.2 Rumbo, posición, velocidad, rata de giro, guiñada, cabeceo y balance

Las variables medidas por **sensores inerciales**, permiten estudiar los movimientos de un buque en 6 grados de libertad; para ello utilizamos la tecnología de Xsens; el MTi, una unidad de medida inercial que integra sensores inerciales miniatura de tecnología MEMS, 3 giroscopios, 3 acelerómetros y 3

magnetómetros que miden el movimiento, la orientación y la posición en las tres direcciones del sistema de coordenadas (ver Figura 9).

Figura 9. MTi, Unidad de medida inercial.

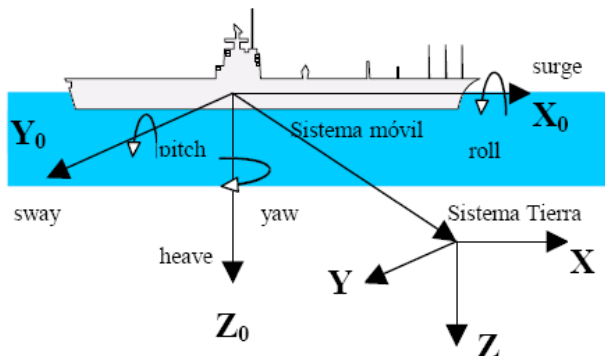


El sistema de medida inercial integrado al sistema de adquisición de datos debe proporcionar en todo momento la posición y orientación del buque. La navegación inercial proporciona una medida de la posición, velocidad y orientación del barco con referencia a un sistema inercial.

Para determinar la posición y orientación se necesita conocer el movimiento sobre las 6 coordenadas independientes (ver Figura 10). Las tres primeras coordenadas corresponden a la posición y movimiento de translación a lo largo de los ejes x, y, z, y las otras tres coordenadas describen la orientación y movimiento rotacional. Para vehículos marinos, los 6 movimientos se definen como: surge, sway, heave, roll, pitch y yaw.

El MTi debe situarse en el buque haciendo coincidir el origen del sistema de coordenadas con el centro de gravedad CG del buque.

Figura 10. Sistema de coordenadas fijo y móvil.



Fuente: Un sistema de medida para ensayos en entornos abiertos con modelos a escala de buques de alta velocidad

El primer sistema ($X_0Y_0Z_0$), es fijo al barco, y por tanto es el que está en movimiento. Se conoce como sistema móvil o body-fixed. El origen O de este sistema de coordenadas es el centro de gravedad, y los ejes coinciden con los ejes de inercia. El movimiento del sistema móvil debe describirse relativo a un sistema de referencia inercial, que en este caso es el sistema Tierra XYZ (earth-fixed).

En la navegación inercial, la posición y orientación del vehículo se describen relativas al sistema inercial, el MTi calcula la orientación de acuerdo al sistema de coordenadas móvil con referencia al inercial, los tres giróscopos miden la posición independientemente de la aceleración.

- X positivo cuando el sistema apunta el norte magnético.
- Y positivo al oeste.
- Z positivo al hacia arriba.

La orientación viene representada por los ángulos de Euler, por cuaterniones o por una matriz de rotación.

Comportamiento característico del MTi para orientación:

Rango dinámico: Todos los ángulos en 3D

Resolución angular: 0.05° RMS

Precisión estática (roll/pitch): <0.5°

Precisión estática (heading): <1.0°

Precisión dinámica: 2° RMS

Taza de actualización: configurable para el usuario, max 120 Hz

La unidad de medida inercial sensa las aceleraciones lineales, rata de giro y campo magnético según las tres direcciones del sistema de ejes de coordenados fijos al sensor (body-fixed).

Comportamiento característico del MTi para aceleración, rata de giro y campo magnético bajo la configuración estándar:

Tabla 7. Rata de giro, aceleración y campo magnético bajo la configuración estándar.

		Taza de giros	Aceleración	Campo magnético	Temperatura
Unidad		[grados/s]	[m/s ²]	[mGauss]	[°C]
Dimensiones		Tres ejes	Tres ejes	Tres ejes	
Escala completa	(unidades)	±300	±50	±750	-55...+125
Linealidad	(% de FS)	0.1	0.5	0.2	<1
Escala del factor de estabilidad	(% 1σ)	-	0.05	0.5	-
Densidad de ruido	(unidades/ $\sqrt{\text{Hz}}$)	0.1	0.002	0.5	-
Error	(grados)	0.1	0.1	0.1	-
Ancho de banda	(Hz)	40	30	10	-

Cuando el sistema esta en reposo registra el valor de la aceleración de la gravedad. De esta forma, cuando el buque está en reposo, la unidad está registrando una aceleración que es el valor de g en ese punto de la Tierra, puesto que al no existir movimiento es la única aceleración que actúa sobre la unidad.

Si no se compensa g, al tener una aceleración no nula, implicará una velocidad y un desplazamiento, cuando en realidad el barco está parado. Por tanto, se debe realizar una compensación ó corrección de g para obtener buenos cálculos.

La posición y velocidad se pueden conocer a partir de un acelerómetro haciendo doble integración, sin embargo el MTi suministra los datos de posición y aceleración, estas variables son objeto de estudio para realizar el análisis de dinámica de buques, por lo tanto, es necesario que podamos movernos en ambos sistemas coordenados, para realizar transformaciones entre los sistemas coordenados, mediante una matriz de transformación, llamada matriz de rotación, que esta en función de los ángulos roll, pitch y yaw.

A partir de la matriz de rotación (2.1) se pueden hallar los valores de posición con respecto al sistema de coordenadas earth-fixed partiendo de body-fixed; para hallar los datos respecto a body-fixed partiendo de earth-fixed debe usarse la transpuesta de la matriz rotación. Como la matriz es adimensional permite transformar aceleración, velocidad o posición en ambos sistemas de coordenadas y los ángulos pueden ser introducidos en radianes o grados, dependiendo de la configuración del programa de pos procesamiento.

$$\begin{bmatrix} C\psi C\theta & -S\psi C\varphi + C\psi S\theta S\varphi & S\psi S\varphi + C\psi S\theta C\varphi \\ S\psi C\theta & C\psi C\varphi + S\psi S\theta S\varphi & -C\psi S\varphi + S\psi S\theta C\varphi \\ -S\theta & C\theta S\varphi & C\theta C\varphi \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$\psi = \text{Yaw} \quad \theta = \text{Pitch} \quad \varphi = \text{Roll}$$

Siendo:

S = seno C = coseno

La transformación se debe hacer de la siguiente manera:

$$r_{earth} = C_{earth}^{body} \times r_{body} \quad (2.2)$$

Al igual que el GPS el MTI mide velocidad, posición y rumbo, ambos instrumentos son utilizados durante las pruebas y la medición de este ultimo valida la del GPS.

2.3.3 Velocidad angular

Las revoluciones por minuto (RPM) es una unidad de frecuencia, usada para expresar la velocidad angular. La velocidad angular de los ejes de propulsión es medida por un par de sensores ópticos ROS-P de Monarch Instrument (ver Figura 11). El sensor basa su funcionamiento en la reflexión de un haz de luz roja visible que emite, una cinta reflectora en el eje de propulsión se encarga de reflejarla con cada revolución transcurrida; el sensor posee un LED verde indicador de las RPM detectadas con cada pulso reflejado, se enciende y apaga a velocidades muy lentas y permanece encendido a altas velocidades.

El sensor óptico detecta los pulsos hasta 90 cm, y hasta un ángulo de rotación de 45°. Los requerimientos de potencia son 5V DC a 30mA, la señal de salida es un pulso TTL de 5-0V DC y su rango de operación es desde 1 hasta 250.000 RPM.

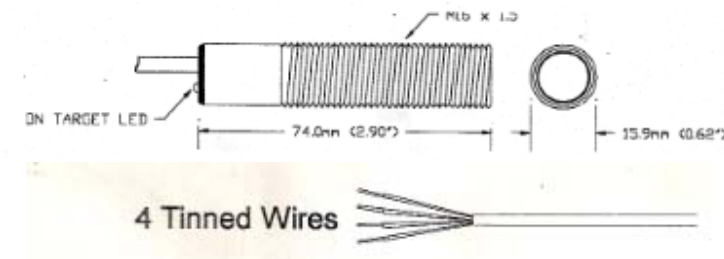
Figura 11. Sensor óptico Monarch Instrument



El sensor tiene tres conexiones eléctricas (ver Figura 12):

- Alimentación eléctrica (+ V)
- Tierra (Com)
- Señal (Sig)

Figura 12. Conexiones Sensor óptico Monarch Instrument



Para poder procesar la información sensada es necesario transformar los pulsos TTL a una señal de tensión lineal de 0-10V DC, para lo cual se usa un convertor de pulsos a tensión P1-EXT (ver Figura 13), en el que se puede seleccionar la entrada y tipo de señal por medio de un DIP switch.

Figura 13. Módulo convertor de pulsos.



La forma de configurar las RPM y modo de frecuencia, en el convertor, se encuentran en las tablas 8 y 9, respectivamente.

Tabla 8. Configuración para RPM

Escala Superior	Switch Number			
	1	2	3	4
RPM				
60	ON	ON	ON	ON
100		ON	ON	ON
150	ON		ON	ON
200			ON	ON
300	ON	ON		ON
1000		ON		ON

1500	ON			ON
2000				ON
3000	ON	ON	ON	
4000		ON	ON	
5000	ON		ON	
7500			ON	
1000 (x10)	ON	ON		
1500 (X10)		ON		
2500 (X10)	ON			
7500 (X10)				

Escala Inferior	Switch Number			
	5	6	7	8
RPM				
0	ON	ON	ON	OFF
50		ON	ON	OFF
100	ON		ON	OFF
1000			ON	OFF
2000	ON	ON		OFF
3000		ON		OFF
4000	ON			OFF
5000				OFF

Tabla 9. Configuración para Frecuencia

Escala Superior	Switch Number			
	1	2	3	4
HZ				
1	ON	ON	ON	ON
2		ON	ON	ON
5	ON		ON	ON
10			ON	ON
20	ON	ON		ON
30		ON		ON
40	ON			ON

50				ON
60	ON	ON	ON	
70		ON	ON	
100	ON		ON	
250			ON	
500	ON	ON		
750		ON		
1000	ON			
2500				

Escala Inferior	Switch Number			
	5	6	7	8
HZ				
0	ON	ON	ON	ON
1		ON	ON	ON
40	ON		ON	ON
50			ON	ON
100	ON	ON		ON
200		ON		ON
500	ON			ON
1000				ON

2.3.4 Torque

El torque es la fuerza que producen los cuerpos en rotación; los motores producen fuerza en un eje que se encuentra rotando, el giro del eje de un motor tiene dos características: el par motor y la velocidad de giro. Por combinación de estas dos se obtiene la potencia, definida así:

$$P = C \times \omega$$

Donde:

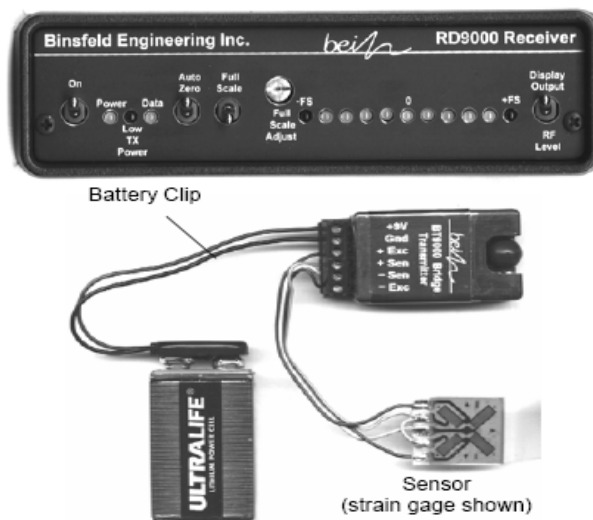
C Es el par motor ("N·m")

ω Es la velocidad angular ("rad/s")

El torque y la potencia son dos indicadores del funcionamiento del motor. Mientras mayor sea el torque máximo de un motor, más fuerte es; un motor tendrá más fuerza que otro cuando su torque máximo sea mayor. Por otro lado la potencia indica la rapidez con que puede trabajar un motor.

Para medir torque, en las pruebas de mar, se utiliza un sistema de radio telemetría digital, TORQUE TRAK 9000 (TT9000), diseñado para transmitir una señal de datos en mili voltios, desde una galga extensiométrica a 20 pies o más, puede ser operado a diferentes frecuencias para transmitir múltiples señales de datos. El Torque trak esta compuesto de dos componentes: Transmisor BT9000 y el receptor RD9000, (ver Figura 14).

Figura 14. Receptor RD9000, transmisor BT9000 y Galga (sensor).



Características técnicas TT9000:

Resolución: 14 bits (\pm full scale = 16384 points)

Error: \pm 0.1%

Respuesta en frecuencia: 0-250Hz

Potencia de entrada del RD9000: \pm 12VDC, 250mA max.

Señal de salida del RD9000: $\pm 10\text{VDC}$

Potencia de entrada del BT9000: 7.5 – 12VDC, 60mA.

Distancia de transmisión: 20 pies o más.

Vida de la batería del BT9000: 12 horas.

Los cálculos de calibración corresponden a la relación entre la señal de entrada del transmisor y el voltaje de salida a full escala del TT9000, estos se basan en parámetros medidos en el dispositivo de medida, parámetros del sensor y la configuración de ganancia del transmisor. Los cálculos de calibración se encuentran en el anexo 1.

La frecuencia del transmisor se puede configurar por medio de switches, en los canales de Radiofrecuencia, los cuales van desde 0–7 canales mientras la frecuencia en el receptor se configura de acuerdo a la frecuencia del transmisor; a continuación se encuentra la tabla 10, de configuración de frecuencia.

Tabla 10. Configuración de Frecuencia.

Número del canal	Frecuencia en MHZ	Selección del canal RF	Selección del canal RF	Selección del canal RF
0	921.37	Abierto	Abierto	Abierto
1	919.87	Cerrado	Abierto	Abierto
2	915.37	Abierto	Cerrado	Abierto
3	912.37	Cerrado	Cerrado	Abierto
4	909.37	Abierto	Abierto	Cerrado
5	907.87	Cerrado	Abierto	Cerrado
6	906.37	Abierto	Cerrado	Cerrado
7	903.37	Cerrado	Cerrado	Cerrado

Para cambiar la configuración de la ganancia del transmisor BT9000 se debe configurar de acuerdo a la siguiente tabla (Tabla 11):

Tabla 11. Configuración de Ganancia

Nivel de Ganancia	Ganancia del transmisor (G_{XMT})	Selección de Ganancia	Selección de Ganancia	Selección de Ganancia
6	8000	-	Cerrado	Cerrado
5	4000	Cerrado	Abierto	Cerrado
4	2000	Abierto	Abierto	Cerrado

3	1000	Cerrado	Cerrado	Abierto
2	500	Abierto	Cerrado	Abierto
1	250	Cerrado	Abierto	Abierto
0	125	Abierto	Abierto	Abierto

El Torque Trak 9000 transmite la señal de torque de una galga extensiométrica; la cual es un dispositivo usado para medir la deformación (tensión) de un objeto. El tipo más común de galga consiste en un forro flexible aislador que apoya un patrón plano metálico. Las galgas se unen a los objeto mediante un adhesivo especializado.

Cuando la galga es sometida a una deformación se produce una variación de su resistencia eléctrica, dependiendo de la dirección de la deformación la resistencia puede aumentar o disminuir, ello se basa en que la resistencia eléctrica de un cuerpo depende de la geometría del mismo; en el caso de un conductor de longitud "L" y sección uniforme "A", la resistencia eléctrica "R" viene dada por:

$$R = \rho * L / A$$

ρ = Resistividad eléctrica

La fuerza a la que esta sometido un material por unidad de área se mide en N/m², y es denominada esfuerzo o tensión mecánica δ .

$$\delta = \frac{F}{A}$$

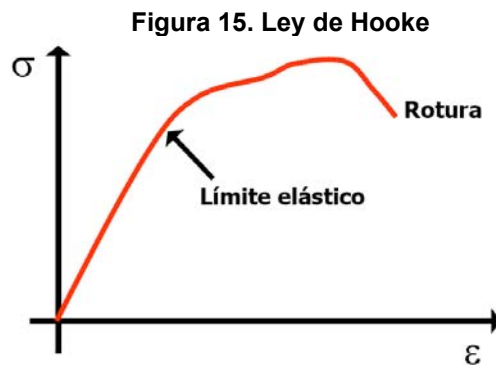
La deformación unitaria ε es la variación relativa de la longitud de un material al ser sometido a un esfuerzo.

$$\varepsilon = \Delta L / L$$

La ley de Hooke define que un material isótropo y homogéneo, si se somete a una fuerza, sin sobrepasar su límite de elasticidad, la deformación unitaria sufrida es lineal con la fuerza aplicada (ver figura 15.)

$$\delta = E * \varepsilon$$

Donde E representa el módulo de elasticidad o módulo de Young; si se supera el límite de elasticidad el material no recupera su forma original (deformación residual)



El cambio de la resistencia medido, generalmente usando un puente de Wheatstone, es relacionado con la deformación unitaria por una cantidad conocida como el factor de la galga.

El factor de galga (GF) define la sensibilidad de una galga y es definido como el cociente entre el cambio fraccional de la resistencia eléctrica y la deformación unitaria ϵ . El factor de galga al igual que la deformación unitaria ϵ es adimensional.

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}$$

Para el acondicionamiento de las galgas el circuito utilizado por excelencia es el puente de Wheatstone. Existen tres tipos de montajes básicos: con una, dos y cuatro galgas. La medida se suele realizar por deflexión, es decir midiendo la diferencia de tensión existente entre los terminales de salida del sensor. Las

principales diferencias de estos montajes se encuentran en la sensibilidad y la capacidad de compensación del efecto de temperatura. Cuando las galgas de iguales características coinciden, los efectos de la temperatura se anulan ya que las afectan a todas por igual.

La salida del puente se expresa como:

$$\frac{E_0}{E} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Donde E_0 es la tensión de salida del puente, E es la tensión de excitación del puente y R_1 , R_2 , R_3 y R_4 son las resistencias de las galgas en el puente. Asumiendo que todas las galgas tiene la misma resistencia inicial y observando que el cambio relativo de la resistencia de una galga de tensión ($\Delta R/R$) es igual al producto del factor de la galga GF y de la deformación unitaria produciendo el cambio en la resistencia ϵ , la salida del puente puede expresarse en términos de la deformación:

$$\frac{E_0}{E} = \frac{GF * \epsilon}{4 + (2GF * \epsilon)}$$

La instalación de las galgas también tiene un procedimiento, primero debe prepararse la superficie, luego adherirse la galga, seguidamente soldarse y finalmente recubrirse con una protección; el procedimiento se encuentra en el anexo 2.

2.3.5 Velocidad y dirección de viento

El viento es el aire en movimiento, el cual se produce en dirección horizontal, a lo largo de la superficie terrestre, la dirección, depende directamente de la distribución de las presiones, pues aquel tiende a soplar desde la región de altas presiones hacia la de presiones más bajas.

La dirección de viento se mide con la veleta NRG #200P (ver figura 16), la cual se conecta directamente a un potenciómetro de precisión localizado en su cuerpo principal; cuando una tensión de excitación se aplica a la veleta se produce una señal de salida que es una tensión análoga directamente proporcional a la dirección de viento.

La señal de salida se incrementa en el sentido de las manecillas de reloj; cuando la tensión de salida es un cuarto de la tensión de excitación (0.625 V), la dirección del viento es al este; si es la mitad (1.25 V) la dirección es al sur; cuando la tensión es tres cuartos de la excitación (1.875 V) la dirección del viento es al oeste; si la tensión es 2.5V la dirección es Noroeste y si es cero voltios la dirección es noreste.

Figura 16. Veleta NRG #200P



La velocidad del viento es medida por un anemómetro NRG#40 (ver figura 17), posee una rápida respuesta tanto a la calma como a las ráfagas de viento, produciendo una señal sinusoidal de salida, sin necesidad de energizarse; la frecuencia de la señal de salida es proporcional a la velocidad del viento

Precisión: 0.1m/s para un rango de 5m/s hasta 25m/s.

Rango de la señal de salida: 0 a 125Hz

Respuesta característica: 0.78m/s

Rango del sensor: 1 a 96m/s

Figura 17. Anemómetro NRG #40



Para poder utilizar la señal de salida del anemómetro como una señal de tensión y poder registrarla por medio de la tarjeta de adquisición de datos, es necesario usar una interface que convierta la señal sinusoidal a una de tensión DC; la interface usada es #SI5100 (ver figura 18), compatible con el anemómetro NRG #40.

Rango del sensor: 0 a 44.7m/s

Rango de la señal de salida: 0 a 58Hz equivalente a 0 a 44.7m/s

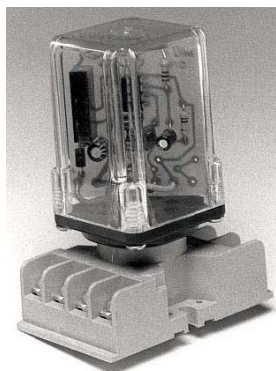
Precisión: ± 0.447 m/s

Tiempo de respuesta: 0.5s

Rango de la señal de salida: 0 a 5VDC equivalente a 0 a 44.7m/s

Alimentación: 12 a 15VDC, 8 a 13mA

Figura 18. Interface #SI5100



Las conexiones se encuentran en la tabla 12:

Tabla 12. Conexiones en la Interface #SI5100

Terminal	Conexión
#1	Velocidad de viento (entrada (+))
#2	Velocidad de viento (entrada (-))
#3	Alimentación (+)
#4	Alimentación (-)
#5	Señal de salida (-)
#6	Señal de salida (+)
#7	No
#8	No

2.3.6 Módulos de adquisición de datos

Field Point es un controlador de automatización programable diseñado para aplicaciones de control industrial que realiza control embebido, registro de datos, operación autónoma y adquisición de datos, utiliza E/S modular para conectarse directamente a sensores y actuadores, ejecuta aplicaciones embebidas en LabVIEW en tiempo real y brinda conectividad a buses industriales como Ethernet y RS232.

El sistema de adquisición de datos utilizado para las pruebas de mar es Field Point 1601/ AI 110 de Nacional Instrument (ver figura 19); esta conformado al menos de un módulo de red y uno o más módulos de entrada y/o salida.

Figura 19. Fieldpoint 1601/ai 110



El módulo FP1601 se conecta, por medio de un cable cruzado, categoría 5, directamente a una red de Ethernet de 10 Mbps o 100 Mbps, la cual detecta la velocidad de la conexión y es capaz de auto configurarse de acuerdo a la velocidad detectada.

Cada FP 1601 requiere 12- 30VDC de alimentación, el módulo de red puede filtrar y regular esta energía y proveer a todos los módulos I/O, sin embargo si hay uno o más módulos cuyo consumo sea mayor que 1 W, la cantidad de módulos I/O debe ser menor que nueve. El cálculo de potencia para los módulos se realiza por medio de la expresión:

$$Power = 4.5 \text{ Watts} + 1.1 * \sum (I/O \text{ Module Consumption})$$

Características técnicas fp1601:

Red de interface: Ethernet 10BaseT y 100BaseTX.

Tasa de comunicación: 10Mbps, 100Mbps.

Rango de alimentación: 12-30VDC

Máximo número de bases de terminales por módulo: 9

Temperatura de operación: -25 hasta +55°C

Cable para los terminales: 16-26 AWG conductor de cobre.

El módulo FP110 de entradas análogas posee las siguientes características (ver figura 20):

Ocho canales de entradas de corriente o tensión análoga.

Ocho rangos para entradas de tensión: 0-1V, 0-5V, 0-10V, ±60mV, ±300mV, ±1V, ±5V y ±10V.

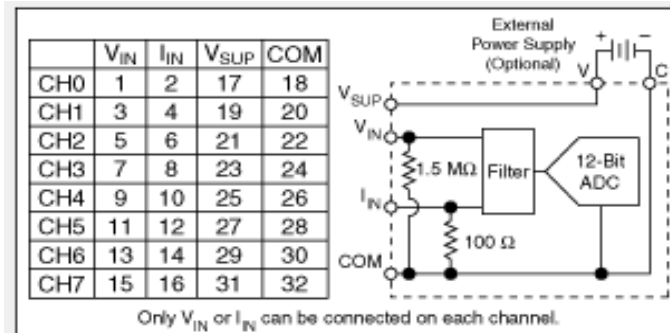
Tres rangos para entradas de corriente: 0-20, 4-20 y ±20mA.

16 bits de resolución

Tres configuraciones de filtros: 50, 60 y 500 Hz

-40 a 70°C de operación.

Figura 20. Configuración de canales FP AI 110



La tarjeta de adquisición de datos posee tres filtros (50, 60 y 500 Hz), los tres filtros para los ocho canales de la FP AI 110, el filtro seleccionado para cada canal determina la frecuencia a la cual se muestrean las entradas, entonces si las ocho entradas están configuradas a:

- 50Hz la tasa de actualización de datos es 1.470 s
- 60Hz la tasa de actualización de datos es 1.230 s
- 500Hz la tasa de actualización de datos es 0.173 s

Si los canales tienen diferentes configuraciones para los filtros entonces se usa la siguiente expresión para calcular la tasa de actualización de datos:

(Número de canales con filtro de 50Hz)X184 ms+ (Número de canales con filtro de 60Hz) X154 ms+ (Número de canales con filtro de 500Hz) X 21.6 ms=update rate.

Las siguientes tablas (13 y 14) muestran las características de las señales de entrada de acuerdo a la configuración de los filtros:

Tabla 13. Características de las señales de entrada de acuerdo a la configuración de los filtros

Rango de entrada nominal		Resolución con los filtros de 50 o 60 Hz activo	Resolución con el filtro de 500Hz activo
Entradas de tensión	±60 mV	3 μV	25 μV
	±300 mV	16 μV	100 μV
	±1 V	40 μV	300 μV
	±5 V	190 μV	1500 μV

	±10 V	380 µV	3000 µV
	0-1 V	20 µV	300 µV
	0-5 V	95 µV	1500 µV
	0-10 V	190 µV	3000 µV
Entradas de corriente	0-20 mA	0.5 µA	15 µA
	4-20 mA	0.5 µA	15 µA
	±20 mA	0.7 µA	16 µA

Tabla 14. Características de las señales de entrada de acuerdo a la configuración de los filtros

Características	Configuración de los filtros		
	50 Hz	60 Hz	500 Hz
Tasa de actualización	1.470 s	1.230 s	0.173 s
Resolución	16 bits	16 bits	10 bits
Ancho de banda para las entradas	13 Hz	16 Hz	130 Hz
Aplica cuando todos los canales están configurados para un mismo filtro			

2.4 DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL EQUIPO PORTÁTIL.

Los errores en los sistemas eléctricos son una fuente común y constante de mal funcionamiento de los equipo, un área principal de errores en dichos sistemas esta en las interconexiones eléctricas, los problemas típicos incluyen terminales flojos, corrosión y contaminación de terminales.

La instalación de los diferentes instrumentos y equipos, cada vez que se ejecuta un ensayo, se convierte en una tarea compleja, tediosa y que consume mucho tiempo, por la cantidad de conexiones que debe realizarse con todos y cada uno de los instrumentos de medición, adquisición y procesado de datos, debido a que estos equipos e instrumentos no hacen parte de los que normalmente se encuentran instalados en los buques.

El equipo portátil es una caja que integra los instrumentos de medida y los componentes del sistema, permitiendo hacer más simples y rápidas, las instalaciones y conexiones que de alguna manera son complejas, ahorran tiempo, optimizan los recursos que se utiliza en las pruebas y permiten su expansión o modificación.

Las correctas conexiones en el equipo portátil harán la diferencia entre una operación provechosa o no, reduciendo interrupciones operacionales como la pérdida de adquisición de datos; mientras que un buen sellado evitará que se dañen las conexiones debido a choques o vibraciones durante el desarrollo de los ensayos.

Para el diseño del equipo portátil se consideraron los siguientes aspectos:

1. Pruebas que se conducirán con el equipo.
2. Conexiones de los instrumentos de medición, adquisición y procesado de datos.
3. Fuentes de alimentación.
4. Forma, distribución y tamaño de los módulos, convertidores y equipos que se encontrarán dentro de la caja.

A continuación la descripción de cada una de las consideraciones tenidas en cuenta para el diseño del equipo portátil.

1. Tener en cuenta las pruebas que se conducirán con el equipo es sumamente importante puesto que de eso depende cuantas y cuales variables deben instrumentarse, cuantos aparatos y fuentes deben instalarse dentro del equipo portátil para determinar la capacidad del mismo; conocer si los sensores requieren algún convertidor o si es necesario que alguno de sus accesorios y/o convertidores se encuentre dentro del equipo portátil. Las variables instrumentadas se encuentran en las tablas 15 y 16, correspondientes a las pruebas de maniobrabilidad y velocidad y potencia.

De acuerdo a lo anterior en el equipo estarán instalados:

- Tres interruptores termo magnéticos bipolares para conexión y protección en AC de las fuentes de alimentación.
- Tres fuentes de alimentación de 5, 12 y 24V DC.
- Tres interruptores termo magnéticos monoplares entre las fuentes de alimentación y la distribución de alimentación de los sensores.

- Bornes porta fusibles para la polaridad positiva de las conexiones y protección de los sensores instalados.
- Bornes de conexión individual para la polaridad negativa de las conexiones eléctricas de los sensores.
- Dos módulos de adquisición de datos y de red, FieldPoint.
- Un módulo conversor de frecuencia a tensión.
- Dos módulos conversores de pulsos a tensión.
- Un extractor.
- Dos receptores RD9000 para medir torque
- Cableado eléctrico.

La disposición de los instrumentos se puede apreciar en el isométrico del equipo portátil en la figura 21.

Figura 21. Isométrico del diseño del equipo portátil

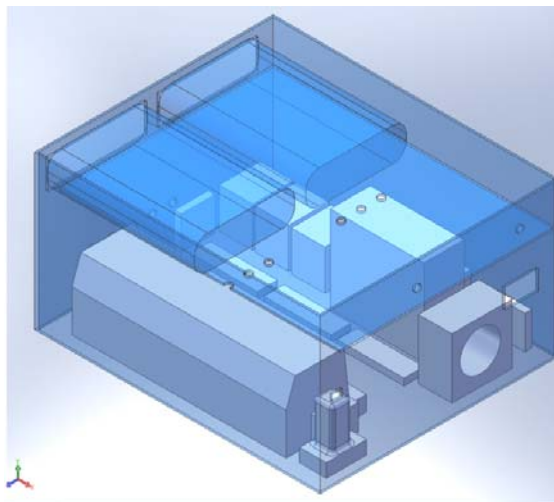


Tabla 15. Medidas de las pruebas de maniobrabilidad recomendadas

	TYPE OF TEST	Heading	Position	Speed	Rudder angle	Revolution	Rate of turn	Torque
1	Turning test	√	√	√	√	√	√	**
2	Z-maneuver test	√	√	√	√	√		
3	Modified Z-maneuver test	√		√	√	√		
4	Direct spiral test	√		√	√		*	
5	Reverse spiral test	√		√	√		*	
6	Pull-out test	√		√	√		*	
7	Stopping test (Crash stop astern test)	√	√	√		√		**
8	Stopping inertia test	√	√	√		√		
9	New coursekeeping test	√	√	√	√			
10	Man-overboard test	√	√	√	√			
11	Parallel course maneuver test	√	√	√	√			
12	Initial turning test	√		√	√			
13	Z-maneuver test at low speed	√		√	√			
14	Accelerating turning test	√	√	√	√	√		
15	Acceleration/deceleration test	√	√	√		√		
16	Thruster test	√	√	√		√		
17	Minimum revolution test			√		√		
18	Crash ahead test	√	√	√		√		**

Fuente: Final report and recommendations to the 22nd ITTC

* Si no puede obtenerse utilizando un gyrocompass, utilice el rumbo y el tiempo transcurrido para obtener este valor.

** Datos recogidos si el buque está equipado con torquímetro.

Tabla 16. Lista de variables y equipos de medida

CANTIDAD FISICA	EQUIPO DE MEDIDA
Trayectoria del buque	GPS
Velocidad	GPS
Torque en el eje	Torquímetro
RPM en el eje	Sensor óptico
Tiempo	Reloj del PC
Profundidad del agua	Ecosonda
Ángulo de timón	Indicador de ángulo de timón
Viento relativo	Anemómetro
Balance/cabeceo	Inclinómetro
Estado de mar	Evaluación de un experto

Fuente: Final report and recommendations to the 23rd ITTC

2. Conexiones de los instrumentos de medición, adquisición y procesado de datos.

1. Conexión para el cable de potencia.

Los conectores de los Instrumentos de medición dependen de la señal que se maneje, el estándar, los cables que utilicen y número de contactos:

2. Los módulos de entradas (FP 100) se comunican con el módulo (FP 1000) con un cable bajo estándar RS-232, que consiste de una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un DTE (Equipo Terminal de Datos) y un ETC (equipo de terminación del circuito de datos). El puerto para RS-232 consiste físicamente en un conector tipo DB25 (de 25 pines), aunque es normal encontrar la versión de 9 pines (DB9), que es la que usa el módulo FP 1000 de National Instrument; (ver Figura 22).

El estándar RS-232 está diseñado para distancias cortas, de unos 15 metros o menos, y para velocidades de comunicación bajas, de no más de 20Kb/s. A pesar de ello, muchas veces se utiliza a mayores velocidades con un resultado aceptable. El estándar puede trabajar en comunicación asíncrona o síncrona y tipos de canal simplex, half duplex o full duplex además, solo soporta conexión punto a punto (2 dispositivos).

Figura 22. Conectores para estándares RS 232 y Ethernet.



Para el otro el módulo (FP 1601), se utiliza el conector RJ 45 (ver Figura 27), usado para conectar redes de cableado estructurado, posee ocho "pines" o conexiones eléctricas, que normalmente se usan como extremos de cables de par trenzado, su aplicación común es su uso en cables de red Ethernet; para lo cual sólo se necesitan los pines 1, 2, 3 y 6.

El estándar Ethernet originalmente desarrollado por Xerox, Digital e Intel en la década de 1970, es el estándar IEEE 802.3, y es el tipo de red más popular en aplicaciones de tecnología informática y redes corporativas.

Ethernet utiliza un protocolo de enlace CSMA/CD (Carrier Sense, Multiple Access, Collision Detect) el cual, cuando una estación está lista para enviar los datos y detecta que la red está libre, publica su trama en la red con la dirección del destinatario. Todas las estaciones escuchan los datos, pero solamente la destinataria responde. Este sistema es capaz de interrumpir la transmisión si detectó una colisión, e intenta retransmitir los datos luego de una espera de tiempo aleatoria.

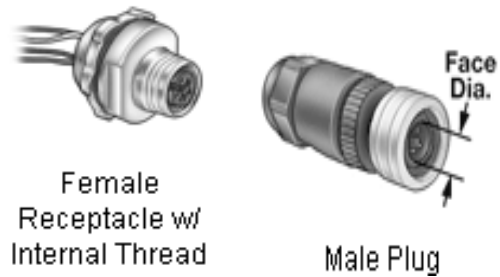
En la especificación estándar IEEE 802.3, Ethernet trabaja a 10 Mb/s, su topología es multimodo, y soporta hasta 1,024 nodos en par trenzado, fibra óptica o cable coaxial. Otras definiciones de Ethernet amplían sus características a 100Mb/s.

3. Teniendo en cuenta que los instrumentos de medición y adquisición de datos poseen máximo 4 conexiones eléctricas se seleccionaron conectores con 4 pines tipo plug roscados de grado militar, instalados en panel o carcasa de características herméticas en condiciones marinas.

Los conectores seleccionados, de McMaster (ver Figura 23), son hechos en bronce niquelado, con protección IP 68, tienen cable 22 AWG para las conexiones de alimentación y señal, trabajan con máximo 4A a 250VAC y a una temperatura de 194°F.

Los conectores son roscados para asegurar las conexiones y evitar que las vibraciones durante las pruebas provoquen pérdida de información por la desconexión de los instrumentos.

Figura 23. Conectores usados en el desarrollo del equipo portátil



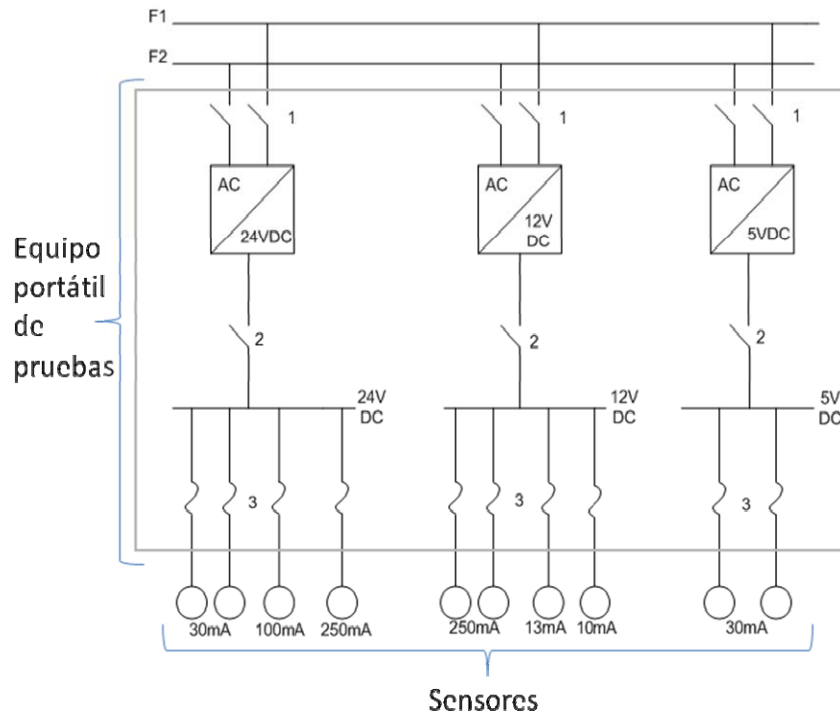
3. Fuentes de alimentación:

El suministro de energía eléctrica para el equipo portátil se toma del buque a 120V AC; a partir del cual se alimentan las fuentes de tensión de los sensores, correspondientes a 24V DC, 12V DC y 5V DC (ver Figura 24).

Las fuentes de tensión para el suministro de energía de los sensores son:

- 24V DC a 500mA; para un consumo de 160mA.
- 12V DC a 600mA; para un consumo de 523mA.
- 5V DC 60mA; para un consumo de 60mA.

Figura 24. Conexiones eléctricas para los sensores.



Donde:

1. Son los interruptores termo magnéticos bipolares.
2. Son los interruptores termo magnéticos mono polares.
3. Son las bornas porta fusibles.

4. Forma distribución y tamaño de los módulos, convertidores y equipos que se encontrarán dentro de la caja.

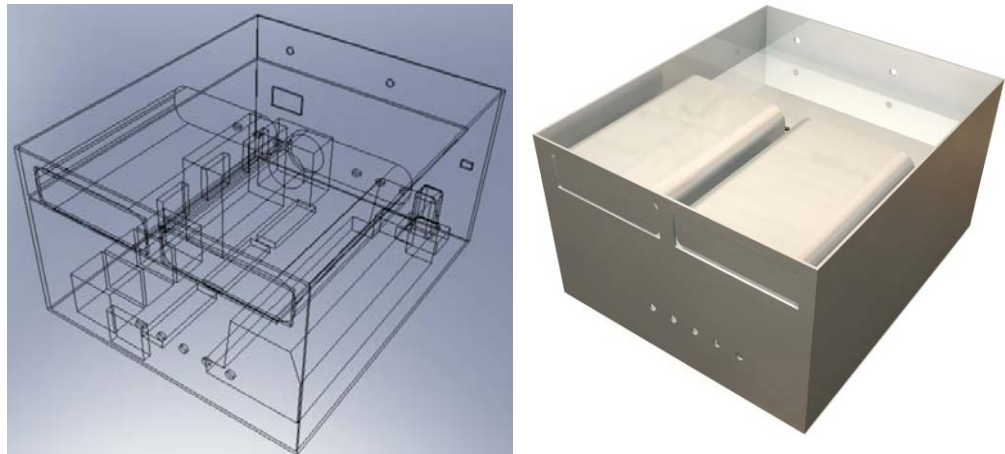
El tamaño de la caja que se selecciono para el diseño y construcción del equipo portátil depende del tamaño y distribución de los convertidores, módulos de adquisición de datos, instalaciones eléctricas y demás instrumentos o accesorios que deban estar dentro de ella (ver tabla 17).

Las dimensiones interiores de la caja son: 42X33X23cm; el modelado de la caja se realizo en el software Solidworks, y se puede apreciar en la figura 25, esta conformada por dos compartimientos, en el primero se encontrarán la conexiones eléctricas, módulos de adquisición de datos, fuentes de alimentación y convertidores, mientras que en segundo compartimiento, los receptores RD9000.

La figura 26 muestra la disposición de los equipos en un plano con las tres vistas y el isométrico.

La tabla 18 especifica cada uno de los instrumentos instalados en el equipo portátil, tales equipos se encuentran distribuidos de acuerdo a las recomendaciones hechas en la IEC 60533⁶ para instalaciones eléctricas y electrónicas en buques, referido a compatibilidad electromagnética.

Figura 25. Diseño y modelado del equipo portátil



⁶ IEC: International Electrotechnical Commission, atiende problemas generales de compatibilidad electromagnética EMC, IEC 60533: estándar básico para instalaciones eléctricas y electrónicas en buques referido a compatibilidad electromagnética.

Figura 26. Disposición general de los instrumentos dentro del equipo portátil

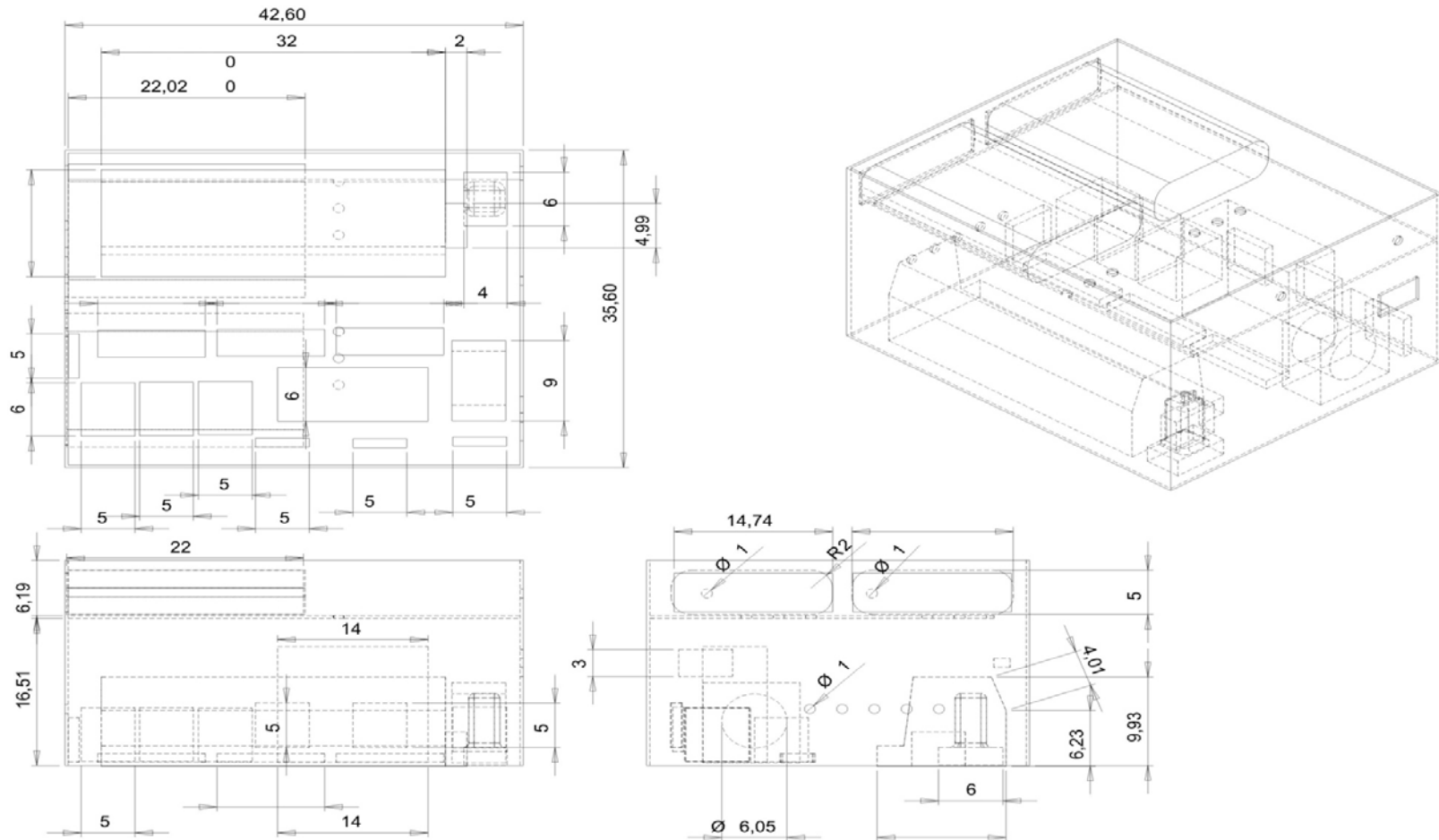


Tabla 17. Tamaño de los instrumentos dentro del equipo portátil

Descripción	Dimensiones (cm)		
	Ancho	Altura	Longitud
Receptores RD9000	14	3.8	19
Fuente de tensión de 24 VDC	5.5	13	12.5
Fuente de tensión de 12 VDC	7.1	9	5.5
Fuente de tensión de 5 VDC	4	7.5	6.5
Módulo de adquisición de datos FP ai 110	11	9.1	10.7
Módulo de red FP1601	11	9.1	10.7
Convertor de pulsos a tensión	1	6	7.5
Convertor de frecuencia a tensión	5	7	5
Extractor	1	7	7

Tabla 18. Especificaciones de los instrumentos dentro del equipo portátil

Descripción	Referencia	Alimentación	Salida (Tipo de señal)	Temperatura	Nomas EMC
Receptores RD9000	Torque trak RD9000	10-18VDC, 250mA	±10VDC	0-70°C	-
Fuente de tensión de 24 VDC	QUINT-PS-100-240AC/24DC/5	100-240VAC	24VDC	-25°C...70°C	CEM 89/336/CEE Emisión de interferencia: EN50081-2 Resistencia a interferencia EN61000-6-2
Fuente de tensión de 12 VDC	STEP-PS-100-240AC/12DC/3	100-240VAC	12VDC	-25°C...55°C	En conformidad CEM 89/336/CEE
Fuente de tensión de 5 VDC	SP-0324 Monarch Instrument	100-240VAC	0-24VDC	-10°C...50°C	EN61326:1998 y las directivas 89/336/EEC
Módulo de adquisición de datos	FP ai 110	24VDC	8 canales de entrada de tensión y corriente ⁷	-40°C...70°C	Emisión: EN 55011 clase A a 10m FCC parte 15A sobre 1GHz. Inmunidad: EN 61326:1997+A2:2001

⁷ Ocho rangos de entradas de tensión: 0-1V, 0-5V, 0-10V, ±60mV, ±300mV, ±1V, ±5V y ±10V. tres rangos de entradas de corriente 0-20, 4-20 y ±20mA

Módulo de red	FP1601	12-30VDC	(Interface de red 10BaseT y 100Base TX Ethernet)	-25°C...55°C	Emisión: EN 5501 clase A a 10 mFCC parte 15A sobre 1GHz Inmunidad: EN 61326:1997+A1:1998
Convertor de pulsos a tensión	P1-EXT Monarch Instrument	18-28VDC	0-10VDC	-10°C...50°C	EN61326:1998 y las directivas 89/336/EEC
Convertor de frecuencia a tensión	#SI5100 Wind Speed Interface Module	12-15VDC	0-5 VDC para 0-44.7 m/s	-40°C...70°C	-
Extractor	DZ-093 Mega Power	12VDC	-	-	-

Distribución de los instrumentos dentro del equipo portátil: Aunque el estándar IEC 60533 Instalaciones Eléctricas y Electrónicas en embarcaciones. Compatibilidad Electromagnética (Electrical and Electronic Installations in Ships Electromagnetic Compatibility) da recomendaciones y requerimientos mínimos para emisión, inmunidad y criterios de operación considerando la compatibilidad electromagnética de equipos eléctricos y electrónicos, además toma como una de sus referencias la resolución IMO (International Maritime Organization) A.813 (19) (1995, requerimientos generales para compatibilidad electromagnética (EMC) para todo equipo eléctrico y electrónico de embarcaciones), se ha utilizado como referencia para la distribución e instalación de los instrumentos dentro del equipo portátil de pruebas de mar en buques.

Se parte de la condición que los equipos a bordo tienen variedad de propósitos y características de operación diferentes, por lo cual, la norma comienza por establecer grupos de equipos de acuerdo al siguiente perfil:

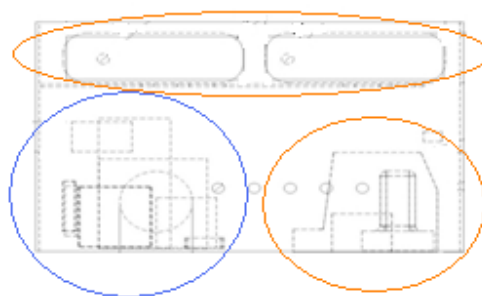
- Grupo A: Radio comunicación y equipos de navegación
- Grupo B: Equipos de generación y conversión de potencia
- Grupo C: Equipos que operan con energía pulsada
- Grupo D: Switchgear Y sistemas de control
- Grupo E: Intercomunicación y equipos de procesamiento de señal
- Grupo F: Sistemas integrados

De acuerdo al estándar IEC 60533 los instrumentos en el equipo se encuentran clasificados en los grupos:

4. Grupo B: Corresponde a las fuentes de tensión.
5. Grupo E: Corresponde a los módulos de red y adquisición de datos además de los módulos conversores de pulsos a tensión y de frecuencia a tensión.

Por lo tanto la distribución de los instrumentos dentro del equipo se encuentra dispuesta como se ilustra en la figura 27.

Figura 27. Distribución de equipos de acuerdo a IEC60533



Donde los equipos resaltados en azul hacen parte del grupo B. y los de rojo al grupo E

Para la implementación del equipo se adquirió la caja 1620 de Pelican Case, de dimensiones interiores 54X41X31cm, la caja es de polipropileno copolímero, lo que hará que el equipo tenga características herméticas, con excelente resistencia química, resistente a los impactos y al calor.

El equipo, además de ser una caja de pruebas, portátil, que soluciona el problema de las conexiones para las pruebas de mar y velocidad y potencia, protegerá los instrumentos, durante su tránsito y pruebas, evitará que en ambientes ásperos y en caso de impacto los equipos se deterioren.

La tabla 19 muestra los instrumentos que contiene el equipo portátil con, con su potencia, eficiencia y calor disipado, respectivamente; a partir de esta información, del valor de la temperatura ambiente, temperatura de trabajo, densidad del aire y calor específico, se puede hallar las CFM (pies cúbicos por minuto) de caudal de aire que se desea evacuar y que para

este caso equivale a 4 CFM. Teniendo en cuenta que La capacidad de un ventilador debe ser por lo general 10% mayor que la calculada, debido a las fugas en el propio sistema o cambios de trayectoria imprevistos en el diseño y que se requieren durante el montaje, se selecciono el ventilador “DZ-093 Mega Power” para evacuar un flujo de aire de 26.5 CFM a 12VDC y 0.2A [24].

El proceso de construcción de la caja, sus conexiones y demás características son similares a las que se observa en la figura 28.

Tabla 19. Componentes disipadores de calor

COMPONENTES DISIPADORES DE CALOR				
ITEM	NOMBRES	POTENCIA [WATT]	EFICIENCIA[%]	CALOR DISIPADO
1	(2) Tx RD 9000 torque	6W	90,0%	1W
2	Fuente de 24VDC	120W	80,0%	24W
3	Fuente de 12VDC	36W	80,0%	7W
4	Fuente de 5VDC	3W	90,0%	0,31W
5	(2) Módulos conversores de pulso	1W	90,0%	0,08W
6	Módulo conversor de frecuencia	0,2W	95,0%	0,01W
7	Módulo FP de adquisición de datos	5W	80,0%	1W
8	Módulo FP de red	0,35W	80,0%	0,07W

Figura 28. Caja Pelican Case, Diseño del equipo portátil



3 PROGRAMAS PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS.

El desarrollo del software de adquisición de datos, para las pruebas de mar, se llevo a cabo por medio de LabVIEW (Laboratory of Virtual Engineering Workbench) versión 8.5. LabVIEW fue usado, inicialmente, para utilizar el computador como un instrumento de medición, cuya gran ventaja es su ambiente de programación y lenguaje grafico (flujo de graficas), en lugar de sentencias (líneas de texto), de forma tal que el flujo de datos programados a través de los nodos en el diagrama de bloques, determina la ejecución y funciones de los VIs, instrumentos virtuales, que son programados como una imitación de instrumentos físicos.

En labVIEW, se puede construir interfaces, utilizando conjuntos de herramientas, que le permitan al usuario interactuar con el programa por medio del panel de control; un VI contiene los siguientes tres elementos:

6. Panel de control: Interface del usuario
7. Diagrama de bloques: Contiene el código grafico que define las funciones del VI.
8. Icono conector: Es la identificación del VI, que le permite usarse dentro de otro VI; lo que es llamado subVI o subrutina en lenguajes de texto.

Los instrumentos virtuales diseñados para recolectar los datos, desde la unidad bajo prueba, permiten al usuario visualizarlos. La instrumentación virtual utiliza hardware y software de sensado para crear flexibles instrumentos para aplicaciones de control y monitoreo.

La arquitectura para el sistema de adquisición de datos, de pruebas de mar, es la siguiente:

- Sensores: detecta las señales físicas y las transforma en eléctricas, además acondiciona estas señales y las transforma en digitales para que se puedan manipular.

- Módulo de red: es la interfaz de sensores, comunica el módulo de sensores y el computador, puede ser cableado o inalámbrico.
- Módulo de procesamiento: software que le permite al usuario tener acceso a las capacidades del instrumento virtual.

3.1 INSTRUMENTOS VIRTUALES PARA LAS PRUEBAS DE MAR.

Con el fin de desarrollar la aplicación, para las pruebas de mar, se crearon dos subVIs y un programa individual que permiten ser utilizados, repetidamente, para cada una de las diferentes pruebas de mar, ya que las variables medidas son casi las mismas para cada una de las pruebas. Se diseñó un subVI para el GPS, que se comunica con el PC por puerto USB; un programa para el MTi, que se comunica con el PC por puerto USB y finalmente un subvi para los sensores que se conectan a la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments, que se comunica con el PC por medio de un módulo de red Ethernet.

3.1.1 *VI de Adquisición, Análisis y Presentación (AAP) de datos del GPS*

El VI del GPS, lee el puerto "com" (virtual) en el que se encuentra el GPS; por lo tanto es necesario digitar el número preciso del com virtual en el que se encuentra conectado al PC, para que el programa sea capaz de leerlo; de igual forma debe digitarse la velocidad de transmisión en baudios, para GPSMAP 60CSx Garmin es 4800. El protocolo que se usa es NMEA 0183.

NMEA 0183 es un protocolo a través del cual los instrumentos marítimos y también la mayoría de los receptores GPS pueden comunicarse los unos con los otros. Ha sido definido, y está controlado, por la organización estadounidense National Marine Electronics Association (NMEA). Los datos son transmitidos a través de sentencias GPGGA, GPGLL, GPGSA, GPGSV, GPRMB, GPRMC, GPRTE, GPVTG, GPWPL, GPBOD, Y GPAPB, con caracteres ASCII, cada sentencia comienza con "\$" y termina con <CR><LF>. El máximo número de caracteres es 82, 79 caracteres entre el comienzo \$ y la terminación <CR><LF>.

La sentencia de la cual se puede extraer la información que se necesita es GPRMC, suministra el tiempo, fecha, posición, rumbo y velocidad, transmitidos a intervalos de tiempo que no exceden los 2 segundos.

```
$GPRMC,hhmmss.ss,A,IIII.II,a,yyyyy.yy,a,x.x,x.x,xxxxxx,x.x,a,a*hh<CR><LF>
```

Donde:

hhmmdd.ss = UTC of position

A = Status (A= data valid, V=navigation receiver warning)

IIII.II,a = Latitude, N/S

yyyyy.yy,a = Longitude, E/W

x.x = Speed over ground, knots

x.x = Rumbo, degrees true

xxxxxx = Date: ddmmyy

x.x,a = Magnetic variation, degrees E/W

a = Mode indicator

Los datos de interés dentro de la sentencia son velocidad en nudos, rumbo y posición en grados, de acuerdo al sistema de medición que en este caso es en cuartas, basado en la rosa de los vientos que divide el horizonte en 3 rumbos, cada uno de los cuadrantes se divide en 8 partes iguales, llamadas cuartas, donde 1 cuarta equivale a $11,25^\circ$ o lo que es lo mismo $11^\circ 15'$.

Los datos que el VI adquiere y almacena son velocidad, rumbo y posición (ver Figura 29). El GPS se conecta al PC por medio de un conversor serial-USB, que crea un puerto serial virtual usado en el VI para reconocer el GPS y poder procesar y registrar los datos medidos por el mismo.

La figura 30 ilustra gráficamente el diagrama de flujo del programa del GPS, el código se encuentra dentro de un lazo While que se ejecuta hasta que reciba la entrada de un valor booleano en particular, que corresponde a la orden de detener

la ejecución del programa, el código resaltado en el círculo rojo corresponde a la configuración del puerto serial desde, donde se leen los datos del GPS, la configuración se realiza por medio del VI “VISA configure serial port”, allí se configura:

- VISA resource name:
- Enable termination chart
- rata de baudios
- Bits de datos
- Bits de paridad
- Timeout

Luego encuentra una estructura secuencial que simplemente define el tiempo de muestreo.

El círculo azul resalta un nodo de propiedad y dos Vis, el código se encuentra dentro de una estructura CASE, tiene dos subdiagramas, que se ejecutan de acuerdo a un valor booleano.

- El nodo de propiedad obtiene los datos que luego leerá el VI VISA read
- VISA read: lee los bits de datos.
- Match Pattern: busca una expresión que comienza con unos caracteres específicos, en este caso \$GPRMC, como empieza la trama con la información útil que desea extraerse del GPS.

El círculo verde resalta el código dentro de una estructura CASE, correspondiente al procesamiento de la información recibida del GPS y que se ejecuta, solo si se ha detectado la trama que empieza por \$GPRMC, el código empieza con la división de datos de acuerdo a la información requerida para lo cual se usan los Vis:

- String subset: Entrega un substring de acuerdo al offset y longitud digitada.
- Decimal string to number: Convierte los caracteres numéricos en string a un entero decimal.

En la figura 31 se muestra con un poco más de detalle, dentro de los círculos rojos, las transformaciones que deben realizarse a los datos de latitud, longitud, velocidad y tiempo, con el fin guardarlos en un archivo .txt y presentarlos en el panel de control, por medio de los Vis “write to measurement file y waveform charts”, respectivamente.

Figura 29. VI para AAP de datos del GPS



Figura 30. Diagrama de bloques del VI del GPS

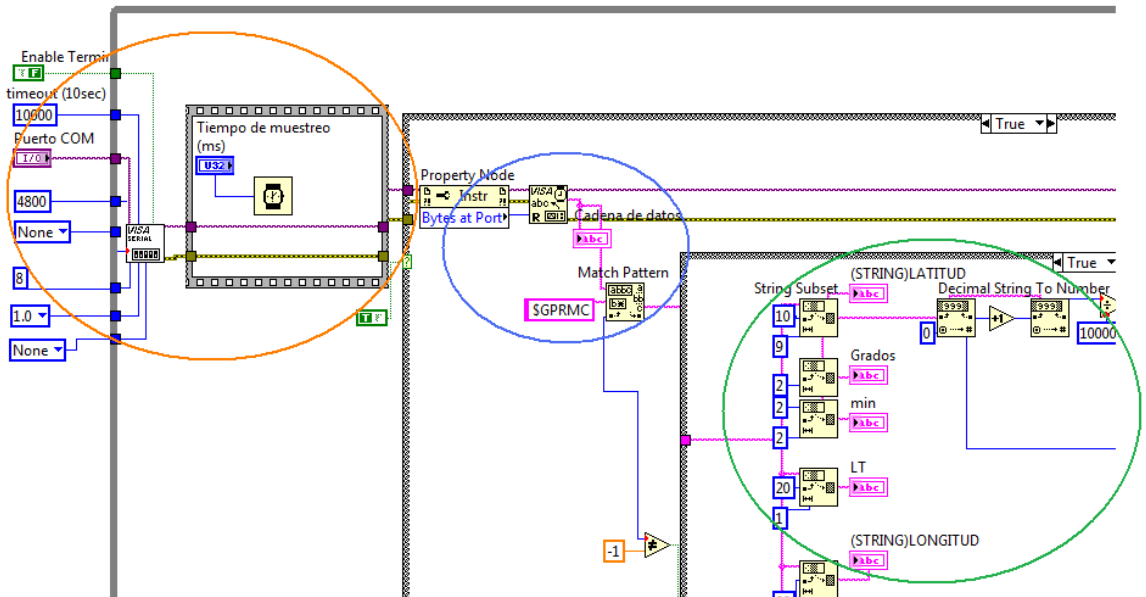
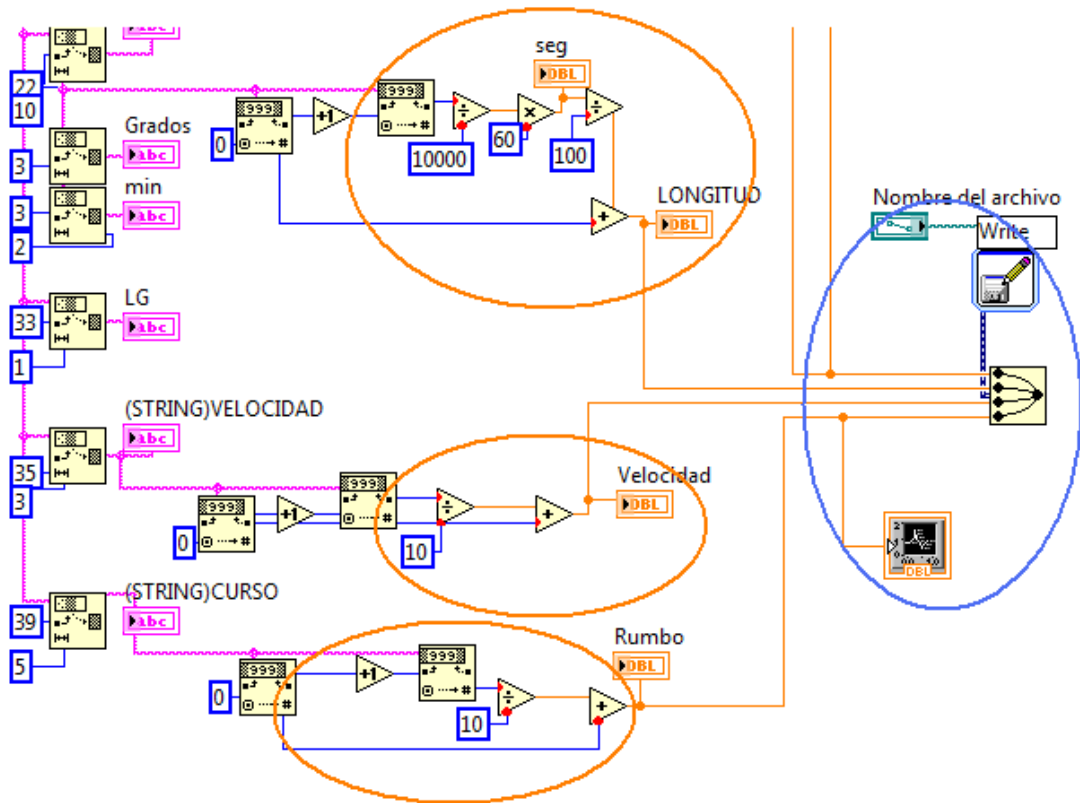


Figura 31. Diagrama de bloques del VI del GPS



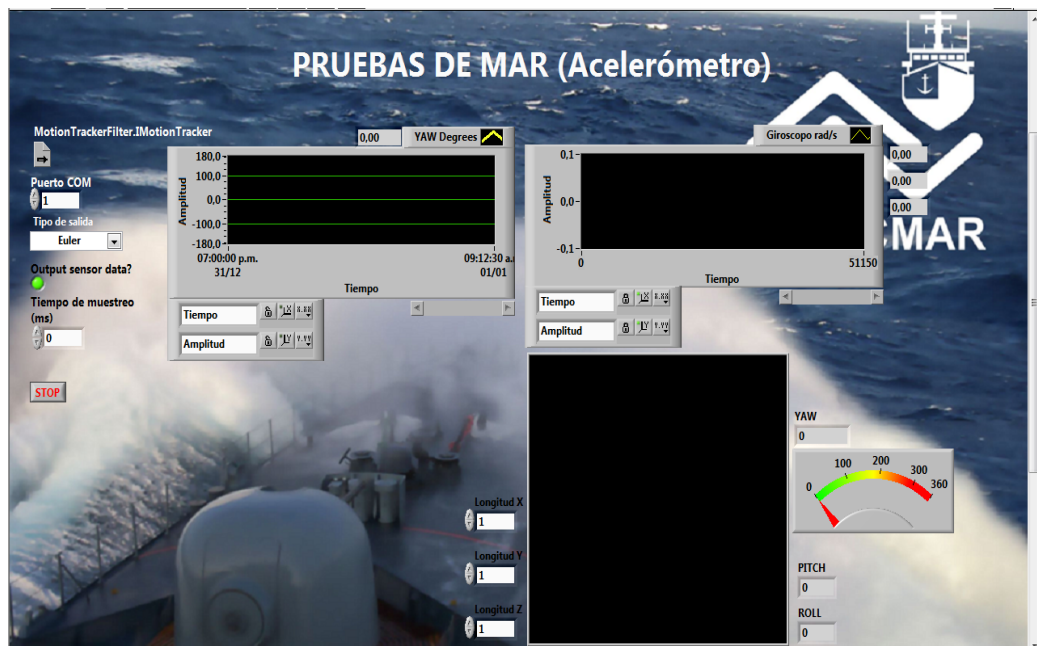
3.1.2 Programa de AAP de datos del MTi

El programa del MTi (ver Figura 32), es el resultado de modificaciones y características agregadas sobre una aplicación ejemplo de National Instrument, que distribuye Xsens, para ejecutar el dispositivo. Al igual que con el VI del GPS, en este programa debe digitarse el puerto "com" donde es reconocido el dispositivo en el PC; el programa lee, adquiere y guarda los datos; en el panel de control se puede visualizar la grafica de la trayectoria del buque, la tasa de giros en los tres ejes coordenados, los indicadores digitales de heading, rata de giro en los tres ejes coordenados y los movimientos del buque recreados en un objeto 3D.

Además de esta aplicación también se creó una para pos procesamiento, que permite realizar la transformación de los datos tomados y almacenados en un sistema coordinado a otro, con el fin de realizar estudios de dinámica de buques.

El VI toma los datos del archivo .txt, realiza las operaciones con estos para llenar la matriz de rotación y poder realizar la multiplicación de matrices que permite transformar los datos en el otro sistema coordenado (body y/o heart fix).

Figura 32. Programa de AAP para datos del MTi

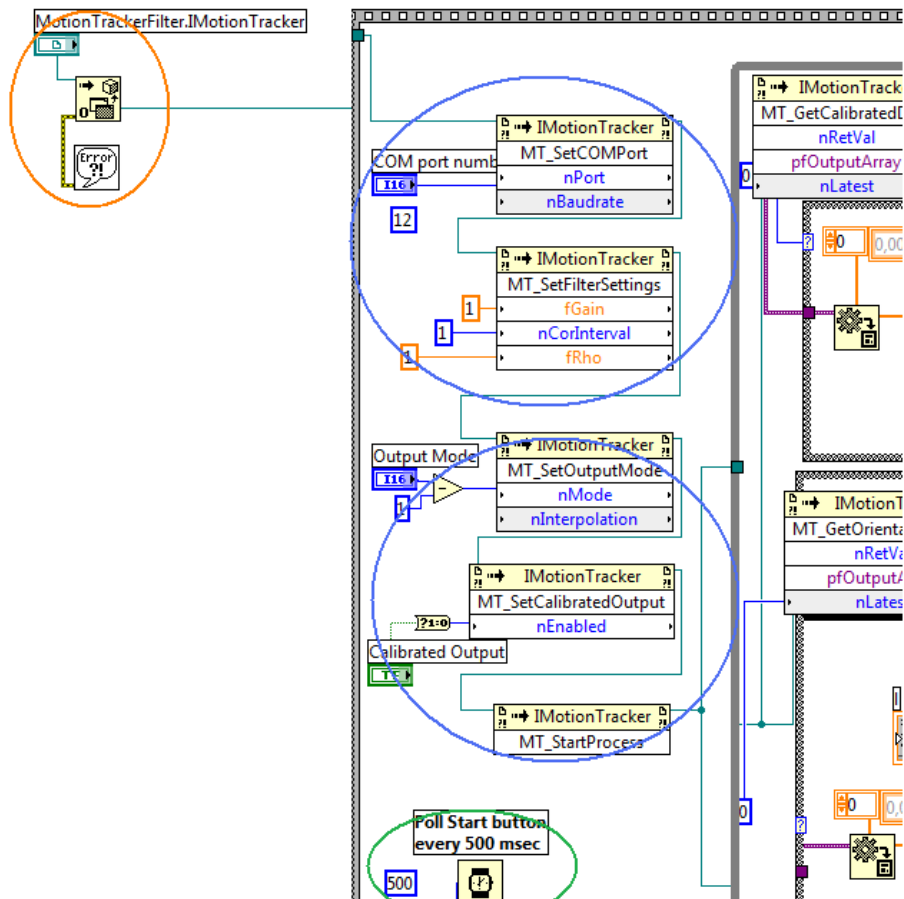


La figura 33, muestra el diagrama de flujo del programa, se encuentra dentro de una estructura secuencial, para esta aplicación solo se ejecuta una secuencia; fuera de ella y resaltado en rojo se encuentra “Automation open”, un VI de la herramienta activex que permite acceder a la aplicación o entrada del dispositivo, MTi.

Dentro de la estructura secuencial, resaltado en círculos azules se encuentran los “invoke node” que permiten acceder y configurar los métodos de control del número de puerto, modos de salida del sensor, salida de datos calibrados⁸, e inicio del procesamiento de datos. En el círculo verde se resalta el VI que controla el tiempo de adquisición de las muestras.

⁸ 8 salidas correspondientes a la aceleración en los tres grados de libertad, velocidad angular en los tres grados de libertad, campo magnético en los tres grados de libertad y temperatura

Figura 33. Diagrama de bloques del programa del MTi



La figura 34 muestra un ciclo while que ejecuta en paralelo dos estructuras case; dentro del ciclo while y fuera de las estructuras case se encuentran dos invoke node que le permiten a las estructuras case acceder a los datos calibrados y de orientación. Dentro de la primera estructura case, resaltado en un círculo violeta se encuentra la adquisición y procesamiento de los datos calibrados, por medio de los siguientes Vis:

- Variant to data: Se encarga de agrupar datos variables, escritos con diferentes compiladores y los traduce de forma tal que LabVIEW los entienda.
- Index array: Retorna un elemento de un arreglo de n dimensiones, en este caso los elementos que retorna son los valores de aceleración en los tres

grados de libertad, velocidad angular en los tres grados de libertad, campo magnético en los tres grados de libertad y temperatura.

- Bundle: Agrupa los valores de aceleración, velocidad angular y campo magnético, en los tres grados de libertad, en tres diferentes cluster, para luego visualizar los tres grupos de tres señales en su respectivo waveform chart.
- Write to measurement file: escribe y guarda los datos en un archivo.txt.

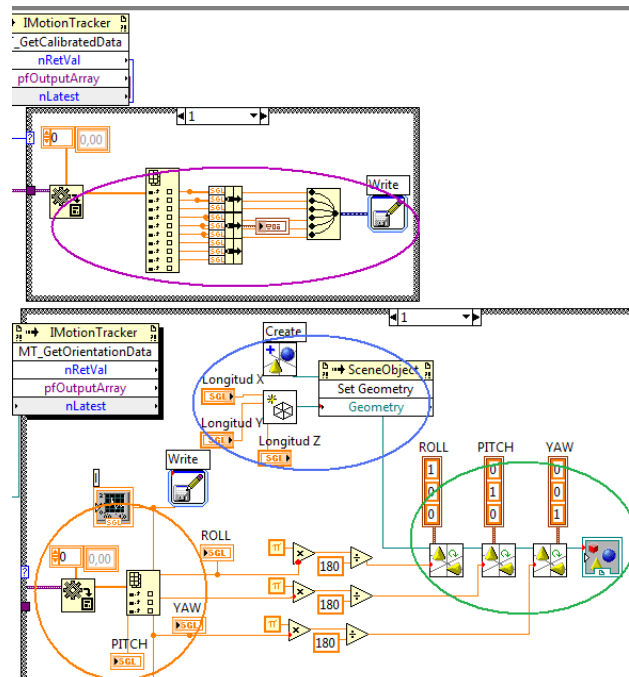
En la estructura case paralela, se encuentra resaltado en un círculo rojo los Vis variant to data e index array, cuya finalidad es exactamente la misma que tiene en el case de los datos calibrados, pero ahora se utiliza para el procesamiento de los datos de orientación.

El diagrama de bloques en el círculo azul, tiene como fin crear un objeto en 3d que recree los movimientos angulares del buque mientras navega, los VIs utilizados son:

- NI-3D picture control: Ivlb Create Box.vi: Aplica una geometría a un objeto en 3D, en este caso un cubo, también permite configurar las dimensiones.
- NI-3D picture control: Ivlb Create Object.vi: Área un objeto en 3D.
- Invoke node: Permite al NI-3D picture control: Ivlb Rotate Object.vi acceder a la geometría y configuración del objeto en 3D.

El círculo verde resalta al VI “NI-3D picture control: Ivlb Rotate Object.vi” utilizado para recrear el movimiento del buque, se utilizan tres VIs, donde las entradas son los datos de posición angular, en los tres grados de libertad, que sensa el MTi.

Figura 34. Diagrama de bloques del programa del MTi



3.1.3 VI de AAP para los datos de la tarjeta Field Point

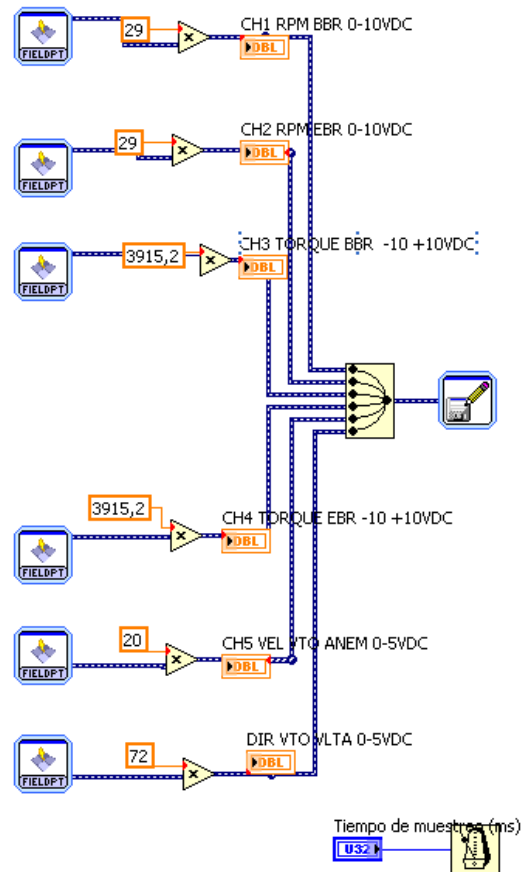
El VI para los sensores que se conectan a la tarjeta de adquisición de datos de National Instrument (ver Figura 35), adquiere y guarda los datos medidos por los sensores de velocidad angular, torque, velocidad y dirección de viento; la construcción de este VI depende en gran manera de que se tenga los drivers de los módulos Field Point compatibles con la versión de LabVIEW 8.5, que en este caso es el Field Point 6.01; el modulo de red y los canales de las entradas deben estar correctamente configurados en el MAX de National Instrument; la configuración debe guardarse como un archivo .iak.

La figura 36 muestra el diagrama de bloques del subVI para la adquisición de datos tomados por medio de las tarjetas FP, este subVI posee un VI de configuración Fieldpoint por cada canal donde se este tomando datos en la tarjeta de adquisición, el subVI, posee además las transformaciones para visualizar los datos en el panel de control en las unidades correspondientes, ya que la tarjeta recibe los datos en tensión; también tiene el VI "write to measurement file" para escribir y guardar los datos en un archivo.txt.

Figura 35. Vi de AAP para datos de la tarjeta Field Point.



Figura 36. Diagrama de bloques del Vi de la tarjeta Field Point.



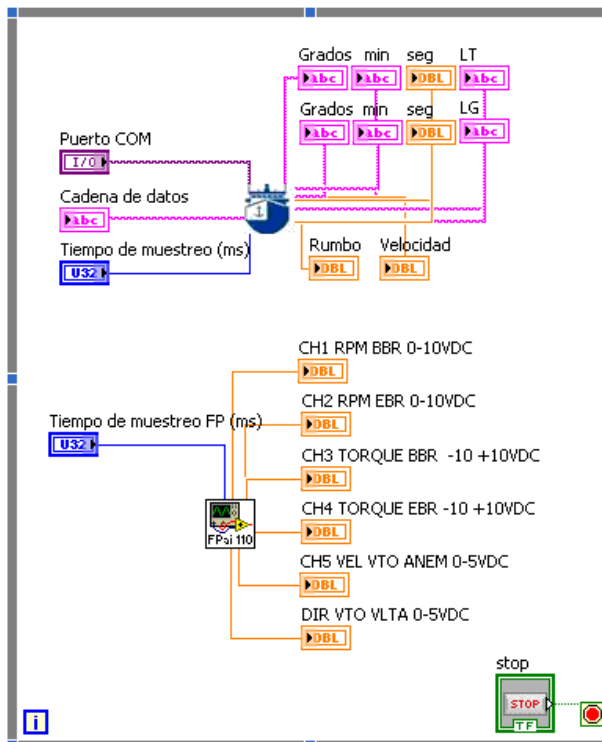
Los VIs del GPS y Field Point se utilizan como subVIs dentro de un VI principal, desde donde se monitorean las pruebas (ver Figura 37).

La figura 38 muestra el diagrama de bloques con los VIs correspondientes a los subVIs del GPS y FP dentro de un ciclo While, que se ejecuta hasta que reciba la entrada de un valor booleano en particular, que corresponde a la orden de detener la ejecución del programa.

Figura 37. VI Principal para conducción de pruebas de mar.



Figura 38. Diagrama de bloques del VI Principal



3.1.4 Manejo de tiempo

El concepto de tiempo real indica que se puede llevar el control de eventos que ocurren en el mundo real dentro de un tiempo especificado; entonces, dependiendo de la aplicación que se este trabajando, puede que este corriendo o no en tiempo real; según esto cuando se ve un gráfico que muestra una variable en función del tiempo, de forma tal que en el panel de control aparece la medida actual de la variable, se dice que es un gráfico de tiempo real. Es decir, en el panel de control se va graficando lo que sucede en este momento, y no solamente datos históricos pasados. Este concepto es válido en sistemas en los cuales un retraso de tiempo que va desde algunos milisegundos hasta unos diez segundos no es importante, sin embargo cuando se habla de sistemas de Control RT (Tiempo Real), el concepto cambia.

Una definición válida para RT es: Respuesta de Tiempo Real es la capacidad de un sistema de responder a un evento de manera determinística, confiable, y garantizada dentro de un período de tiempo determinado. LabVIEW corriendo bajo Windows no garantiza correr en tiempo real, pues el tiempo de ejecución varía según muchos factores como solicitudes de interrupción, entradas de teclado y ratón, uso de disco, programas corriendo detrás, comunicaciones de red, etc.

Se puede mejorar la respuesta del PC deshabilitando todos los otros programas y drivers, e incluso desconectando los periféricos. Finalmente se puede escribir drivers más efectivos que accedan directamente al hardware, pero aún así, Windows tiene la capacidad de apropiarse de la aplicación de LabVIEW, aunque ésta corra con nivel de alta prioridad, de modo que todavía no se garantiza la ejecución en tiempo real. Por estas razones, Windows no es un sistema operativo de tiempo real. Si se desea trabajar en tiempo real se puede hacer sobre linux o bien trabajar con tarjetas de adquisición de datos que trabajen en tiempo real como por ejemplo las Compact FieldPoint de National Instrument.

Para nuestra aplicación trabajamos sobre Windows y con tarjetas de adquisición de datos FieldPoint ai 110/1601, que no trabajan en tiempo real. El muestreo de datos en LabVIEW esta determinado por la tasa de muestreo de las tarjetas de adquisición, si además se programa una tasa de muestreo en el VI, los datos serán muestreados y registrados de acuerdo a esta última, esto permitirá al procesador del computador realizar otras tareas, de forma tal que el rendimiento del mismo no disminuya.

Los datos registrados por el GPS y MTi se muestrean cada segundo y cada 8.3ms respectivamente, además se configura una tasa de actualización de datos en el VI de cada 500ms. Los filtros de configuración de la tarjeta de adquisición de datos son 50, 60 y 500 Hz para un tiempo de actualización de datos de 1.470s, 1.230s y 0.173s respectivamente, además los datos se registran en el VI cada 500ms lo que permite adquirir 2 muestras por segundo y cumplir con la norma sugerida por ITTC⁹.

⁹ ITTC, Recommended procedures 2002

4 INCERTIDUMBRE DE MEDIDA

Medir es la primera etapa que nos lleva a controlar y eventualmente a mejorar. Si no podemos medir algo no podemos entenderlo, si no podemos entenderlo no podemos controlarlo, si no podemos controlarlo no podemos mejorarlo; sin embargo, de nada sirve que al medir, tengamos la última tecnología y más precisa, si la información que estamos obteniendo del sistema de adquisición no es confiable. La incertidumbre de medición significa duda en la validez del resultado de una medición y al calcularla podemos estimar, dentro de un intervalo de valores, en el cual se encuentra el valor verdadero de la medición, que tanto se ha dispersado el mensurando del valor verdadero.

El valor de la incertidumbre es el primer índice de la calidad de una medida, que es tanto mayor cuanto menor es aquella. El Comité Internacional des Poids et Mesures (CIPM), la más alta autoridad en metrología en el mundo, al reconocer la importancia del cálculo y expresión de la incertidumbre, sugirió al Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) que abordara el problema con laboratorios nacionales e hiciera una recomendación.

Este capítulo establece los principios y requisitos para la evaluación y expresión de incertidumbre de acuerdo a recomendaciones INC-1(1980) del Grupo de Trabajo para la Expresión de Incertidumbre, delegado por el CIPM; recomendaciones del Grupo Asesor Técnico en metrología (TAG 4), compuesto por seis organizaciones¹⁰ que colaboran con la International Organization for Standardization (ISO); interpretaciones del Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM); recomendaciones del Centro Nacional de Metrología (CENAM) por medio su guía para estimar la incertidumbre de la medición y finalmente de acuerdo a la Guía Técnica Colombiana GTC 51.

La imperfección natural de la realización de las mediciones, hace imposible conocer con certeza absoluta el valor verdadero de una magnitud, por tanto toda medida lleva implícita una incertidumbre. Las mediciones se deben realizar con la menor incertidumbre posible, pero esto implica la utilización de instrumentos de gran exactitud y por lo tanto más costosos.

¹⁰ International Electrotechnical Commission (IEC), CPIM, International Organization of Legal Metrology (OIML), International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), International Federation of Clinical Chemistry (IFCC).

4.1 CONCEPTOS METROLÓGICOS

Medición es un conjunto de operaciones que se realiza con el objetivo de determinar el valor de una magnitud específica, llamada mensurando.

La **magnitud específica** es el objeto de medición que puede distinguirse cualitativamente o determinarse cuantitativamente.

Exactitud de medición es la cercanía con la cual la lectura de un instrumento se aproxima al valor verdadero de la variable medida (es una medida de las dimensiones de los errores sistemáticos).

Precisión es una medida de la repetibilidad de una observación, o sea, dado un valor fijo de una variable, la precisión es una medida del grado con el cual mediciones sucesivas difieren una de la otra, independientemente de lo cerca que se encuentra del valor verdadero (es una medida de las dimensiones de los errores aleatorios).

Repetibilidad (de los resultados de mediciones) es el grado de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas de un mismo mensurando, llevadas a cabo totalmente bajo las mismas condiciones de medición.

Reproducibilidad es el grado de concordancia entre los resultados de las mediciones de un mismo mensurando, llevadas a cabo haciendo variar las condiciones de medición.

Sensibilidad es la relación entre la variación de la lectura y la variación de la magnitud medida, es decir la respuesta del instrumento al cambio de la entrada.

Resolución o distinción de dos lecturas que se diferencian en menos de una división o dígito, es la cantidad más pequeña que se puede medir o discriminar, es decir el cambio más pequeño en el valor medido para el cual el instrumento responderá. Puede expresarse por dos términos, porcentaje de la lectura o la cantidad de dígitos fijos del error; el valor de la precisión y resolución normalmente no coinciden.

Trazabilidad es la propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón de estar relacionado a referencias establecidas, generalmente patrones

nacionales o internacionales, por medio de una cadena continua de comparaciones, todas ellas con incertidumbres establecidas.

Patrón es un aparato de medición o sistema de referencia, destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o varios valores de una magnitud para servir de referencia. Los patrones pueden ser internacionales (reconocidos por acuerdo internacional) y nacionales (reconocidos por acuerdo nacional).

Resultado de una medición es una aproximación o estimado del valor de un mensurando, que esta asociado a una variabilidad, el resultado de una medición se considera completo solo si se acompaña con de una debida estimación de su variabilidad.

Un procedimiento de medición tiene imperfecciones que dan lugar a que el resultado de medición sea diferente del valor verdadero de la magnitud particular que se mide. Esa diferencia se conoce como error de la medición, los errores se pueden clasificar como:

Equivocación o error son normalmente aparentes, ya que se encuentran lejos de los valores esperados, se detectan repitiendo la medida o el cálculo.

Errores sistemáticos son más difíciles de detectar ya que son reproducibles, se cometen de una misma manera cada vez que se mide, no se manifiestan como fluctuaciones aleatorias en los resultados de las mediciones; como el mismo error esta involucrado en cada medición no puede eliminarse repitiendo las mediciones varias veces; a menudo es el resultado de un fallo en la instrumentación o provienen de una consistencia matemática insuficiente, estos errores pueden eliminarse solo después de realizar cuidadosas calibraciones y análisis de todas las posibles correcciones o repitiendo el cálculo por otros medio.

Errores aleatorios son los más comunes, son errores accidentales, aparecen como fluctuaciones al azar en los valores de mediciones sucesivas. Son debido a la inevitable limitación de la calidad de los instrumentos o a pequeños errores que escapan al control del observador. Viene determinado por el hecho de tomar sólo una muestra de una población para realizar inferencias. Puede disminuirse aumentando el tamaño de la muestra o puede eliminarse parcialmente si se refina el equipo o el método analítico y repitiendo las medidas. La ausencia de error aleatorio se denomina precisión.

El resultado de una medición debe expresarse con su error absoluto y/o relativo.

Error absoluto es directamente la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero, ahora tal valor verdadero no puede asegurarse que exista, pero cuanto más cercano al valor verdadero se quiera llegar, será más el esfuerzo y el costo del instrumento utilizado.

Error relativo: cuando se quiere comparar dos errores de dos magnitudes medidas muy diferentes, el error absoluto no es suficiente. Por lo tanto se define el error relativo que se expresa como porcentaje. Debido a la imposibilidad de conocer el valor verdadero, a veces se usa un valor verdadero convencional que puede determinarse con otro instrumento mucho más exacto respecto al utilizado en la medición. En la práctica generalmente con los datos del fabricante uno puede determinar el error absoluto.

Dado que un mensurando no puede ser especificado completamente, la especificación incompleta conduce a una incertidumbre del resultado de la medición que tiene que ser estimada de alguna manera.

Se debe tener clara diferencia entre error e incertidumbre, error es definido como la diferencia entre un resultado individual y el **valor** convencionalmente verdadero de una medida. Incertidumbre toma forma de un **rango** y no puede ser usado para corregir el resultado de una medición, luego no debe ser interpretado como la representación de un error. Por ejemplo el resultado de una medición luego de aplicar una corrección (por los errores sistemáticos) puede estar muy cerca, al valor del mensurando (entonces tener un error despreciable) y aun así tener una gran incertidumbre, debido a los instrumentos utilizados en la medición; de tal forma que la incertidumbre del resultado de una medición no debe ser confundida con el error desconocido remanente.



4.2 FUENTES DE INCERTIDUMBRE

El análisis de incertidumbre de los datos de pruebas, es llevado a cabo con el objeto de evaluar el nivel de confiabilidad en los resultados de las pruebas de mar y tener unas estadísticas asociadas con las pruebas de buques en COTECMAR.

En cuanto a los documentos, en los que me puedo apoyar al hablar de incertidumbres de medida, puedo mencionar la GUM, "Guía para la expresión de la incertidumbre de medida", publicada por primera vez en 1993 en nombre de siete organizaciones internacionales de normalización y metrología: BIPM, IEC, IFFC, ISO, IUPAC, IUPAP y OIML. Este documento establece normas generales para la evaluación y la expresión de la incertidumbre de medida que pueden aplicarse en la mayoría de los campos de mediciones físicas.

El resultado de una medición después de la corrección por efectos sistemáticos reconocidos es, aún, solo una estimación del valor del mensurando debido a la presencia de incertidumbres por efectos aleatorios y de correcciones imperfectas de los resultados por efectos sistemáticos; en la práctica existen muchas fuentes de incertidumbre en una medición, tales como:

- Definición incompleta de la magnitud a medir
- Realización imperfecta de la definición de la magnitud a medir.
- Muestreo no representativo.
- Conocimiento inadecuado de los efectos de las condiciones ambientales sobre la medición o imperfecta medición de las condiciones ambientales.
- Errores personales en la lectura de los instrumentos (análogos).
- Resolución finita del instrumento o del umbral de discriminación.
- Valores inexactos de los patrones de medición.
- Valores inexactos de las constantes y de otros parámetros obtenidos de fuentes externas y usadas en la medición.

- Aproximaciones y suposiciones incorporadas en el método y en procedimiento de medición.
- Variaciones en las observaciones repetidas de la magnitud a medir bajo condiciones aparentemente idénticas.

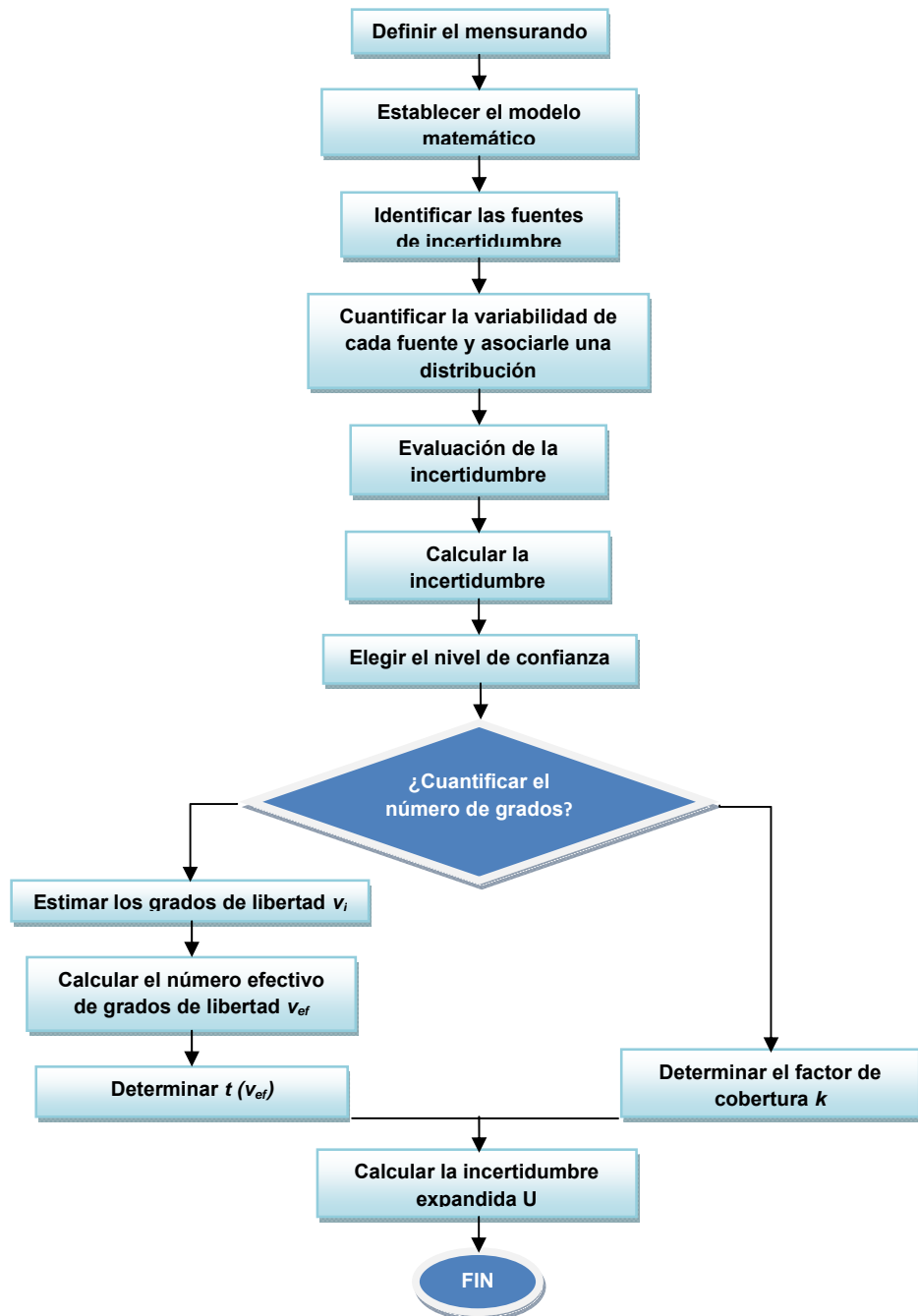
No es recomendable desechar alguna de las fuentes de incertidumbre por la suposición de que es poco significativa, sin una cuantificación previa de su contribución, es preferible la inclusión de un exceso de fuentes, que ignorar alguna entre las cuales pudiera descartarse alguna importante.

4.3 METODOLOGÍA PARA CALCULAR LA INCERTIDUMBRE

Conforme a la GUM se llevan a cabo seis pasos para encontrar la incertidumbre de una medición.

1. Elaboración de un modelo matemático de la medición: consiste en expresar matemáticamente la relación entre el mensurando y los argumentos de que depende: $Y = f(x_1 \dots x_n)$
2. Identificación de las fuentes de incertidumbre.
3. Evaluación de la incertidumbre estándar.
4. Determinación de la incertidumbre estándar combinada.
5. Determinación de la incertidumbre expandida.
6. Expresión de resultados.

4.4 DIAGRAMA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN



4.5 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Se distinguen dos métodos principales para cuantificar las fuentes de incertidumbre. EL METODO DE EVALUACION TIPO A, está basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones y EL METODO DE EVALUACION TIPO B, comprende todas las demás maneras de estimar la incertidumbre.

Ambos tipos de evaluación están basados en distribuciones de probabilidad, la única diferencia es que en la TIPO A se estima la distribución basándose en mediciones repetidas, obtenidas del mismo proceso de medición, mientras las del TIPO B supone una distribución con base en la experiencia o información externa.

4.5.1 Evaluación de las incertidumbres tipo A

Cuando una medición se repite en las mismas condiciones, puede observarse una dispersión o fluctuación. Para una serie de medidas efectuadas en condiciones de repetibilidad, compuesta de n medidas ($n > 1$) independientes, el valor estimado \bar{x} del valor verdadero de la magnitud X, esta dado por la media aritmética de los valores individuales medidos x_i ($i=1, \dots, n$):

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (4.1)$$

La dispersión de los resultados de la medición x_i se expresa por su *desviación estándar experimental*:

$$s_{x_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.2)$$

La *incertidumbre estándar* $U(x_i)$ de x_i se obtiene mediante el cálculo de la desviación estándar experimental de la medida:

$$U(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.3)$$

4.5.2 Evaluación de las incertidumbres tipo B

La evaluación tipo B de incertidumbre se realiza usando información externa u obtenida por experiencia, las fuentes de información pueden ser:

- Resultado de medidas anteriores.
- Experiencia o conocimiento de general del comportamiento y las propiedades del sistema de medición.
- Especificaciones del fabricante.
- Datos suministrados por certificados de calibración.
- Incertidumbre asignada a valores de referencia obtenidos de la literatura técnica y los manuales.

Los métodos de tipo B se fundamentan en la forma de la distribución de probabilidad y/o en los límites de variación de las variables de entrada. las distribuciones que aparecen más frecuentes son:

- a) *Distribución normal*: los resultados de una medición repetida por una o más magnitudes de influencia que varían aleatoriamente, generalmente siguen una distribución normal. La incertidumbre indicada en certificados de calibración se refiere generalmente a una distribución normal.
- b) *Distribución rectangular*: en una distribución rectangular cada valor en un intervalo dado tiene la misma probabilidad o sea la función de densidad de probabilidad es constante en este intervalo; en general cuando solo hay conocimiento de los límites superior e inferior del intervalo de variabilidad de la magnitud de entrada, se supone como una distribución rectangular.
- c) *Distribución triangular*: si además del conocimiento de los límites superior e inferior hay evidencia de que la probabilidad es más alta para valores en el centro del intervalo y se reduce hacia los límites, es más adecuado estimar la incertidumbre en una distribución triangular.
- d) *Otras distribuciones*: pueden encontrarse distribuciones como la U, en el que los extremos del intervalo presentan los valores con probabilidad máxima. También se encuentran distribuciones triangulares con el valor máximo en un extremo.

Los valores de las incertidumbres originales como incertidumbres estándar para cada distribución son:

- a) *Distribución normal*: la ec. (4.3) representa la incertidumbre estándar, sin embargo cuando se dispone de una incertidumbre expandida U, como las presentadas en certificados de calibración, se divide U entre el factor de cobertura k, obtenido directamente o partir de un nivel de confianza dado.

$$U(x_1) = \frac{U}{k} \quad (4.4)$$

- b) *Distribución rectangular*: la magnitud de entrada tiene una distribución rectangular con el limite superior α_+ y el limite inferior α_- , la incertidumbre estándar se calcula por:

$$U(x_1) = \frac{\alpha_+ - \alpha_-}{\sqrt{12}} \quad U(x_1) = \frac{a/2}{\sqrt{3}} \quad (4.5)$$

- c) *Distribución triangular*: la incertidumbre estándar se calcula como:

$$U(x_1) = \frac{a/2}{\sqrt{6}} \quad (4.6)$$

Se determina que equipos influyen en la determinación total de la incertidumbre (Medidor Patrón, Resolución, Deriva) y para cada uno se determina una incertidumbre B, siendo este valor único en todo el proceso. Tomamos una distribución rectangular, asumiendo los límites de error como el intervalo de distribución y de esta forma la incertidumbre debida al patrón es:

$$U_{STB} = \frac{E_{EPM}}{\sqrt{3}} \quad (4.7)$$

Donde E_{EPM} es la exactitud del patrón.

La incertidumbre tipo B está dada por el fabricante en el respectivo certificado de calibración y/0 en las especificaciones técnicas.

Para efectos de cálculo, en cuanto a la incertidumbre tipo B, asumimos una distribución de probabilidad rectangular porque se tiene el intervalo de límites de precisión del patrón. (Sin embargo y de acuerdo a la guía BIPM-ISO este caso es

equivalente al de una distribución t - Student con un número infinito de grados de libertad)

Incertidumbre por resolución:

$$U_{STB} = \frac{Res/2}{\sqrt{2}} \quad (4.8)$$

Donde Res es la resolución.

4.5.3 Incertidumbre estándar combinada

El resultado de la comparación y combinación de las contribuciones de incertidumbre, de todas las fuentes, con distribuciones diferentes, es llamada *incertidumbre estándar combinada* $U_c(y)$.

La contribución $U_i(y)$ de cada fuente de incertidumbre combinada depende de la incertidumbre estándar $U(x_i)$ de la propia fuente. $U_i(y)$ se determina por el producto de $U(x_i)$ y coeficiente de sensibilidad C_i (o factor de sensibilidad):

$$U_i(y) = C_i * U(x_i) \quad (4.9)$$

El coeficiente de sensibilidad describe que tan sensible es el mensurando con respecto a las variaciones de la magnitud de entrada; se puede calcular a partir de una relación funcional, si el modelo matemático para el mensurando $Y=f(x_1, \dots, x_N)$ describe la influencia de la magnitud de entrada x_i , el coeficiente de sensibilidad C_i se calcula por la derivada parcial de f con respecto a x_i :

$$C_i = \left. \frac{\partial f(x_1, \dots, x_N)}{\partial x_i} \right|_{x_1 \dots x_N} \quad (4.10)$$

- a) *Propagación de la incertidumbre para magnitudes de entrada no correlacionadas*: la incertidumbre combinada $U_c(y)$ se calcula por la suma geométrica de las contribuciones particulares y es conocida como *ley de propagación de incertidumbre*:

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N U_i^2(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^N [C_i * U(x_i)]^2} \quad (4.11)$$

Cuando la magnitud de entrada, es afectada por varias fuentes de incertidumbre, la incertidumbre combinada se puede calcular de las siguientes dos formas:

$$U_j(x_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^{M_i} [U_j(x_i)]^2} \quad U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N C_i \sum_{j=1}^{M_i} [U_j(x_i)]^2} \quad (4.12)$$

- b) *Propagación de la incertidumbre para magnitudes de entrada correlacionadas:* para magnitudes correlacionadas la incertidumbre se calcula así:

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} * U(x_i) \right]^2 + \sum_{i,j=1, i \neq j}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} * \frac{\partial f}{\partial x_j} * U(x_i) * U(x_j) * r(x_i, x_j)} \quad (4.13)$$

Donde $r(x_i, x_j)$ es el factor de correlación entre las magnitudes de entrada x_i y x_j .

4.5.4 Incertidumbre expandida

Aunque la INC-1(1980) y las recomendaciones 1(CI-1981) y 1(CI-1986) del CIPM, que aprueba a la INC-1(1980), apoyan el uso de la incertidumbre estándar combinada, para expresar cuantitativamente la incertidumbre en el resultado de una medición, en la segunda de las recomendaciones de el CIPM ha solicitado el uso de la incertidumbre estándar combinada para informar el resultado de todas las comparaciones internacionales y de los comités consultivos. Sin embargo en algunas aplicaciones cuando la salud y seguridad están involucradas o por conveniencia del usuario se requiere expresar el resultado de las mediciones en términos de un nivel de confianza dado; donde la medida de incertidumbre que cumple con tal requisito es la *incertidumbre expandida U*.

La incertidumbre estándar combinada $U_c(y)$ representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mensurando que contiene el valor verdadero con una probabilidad p de 68% aproximadamente, bajo la suposición de que los posibles valores del mensurando siguen una distribución normal; con la incertidumbre expandida U se asegura una probabilidad p mayor (p es llamado nivel de confianza y puede ser elegido a conveniencia), que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre por un factor k , llamado factor de cobertura.

La incertidumbre expandida U se consigue multiplicando la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura.

$$U = k \cdot U_c(y)$$

(4.14)

Por lo tanto para una cantidad y y medida, el resultado de la medición será:

$$y - U \leq Y \leq y + U$$

El entorno acotado alrededor del valor y se define como *intervalo de confianza*, el cual tiene un nivel de confianza asociada al factor de cobertura (ver tabla 20)

20. Relación del factor de cobertura k con la probabilidad p

k	Probabilidad p
0.6745	0.5000
1.0000	0.6828
1.6450	0.9000
1.9600	0.9500
2.0000	0.9545
3.0000	0.9972
2.5800	0.9900
3.0000	0.9970

A menudo el nivel de confianza se elige como un número entero de desviaciones estándar en una distribución normal; por ejemplo en una distribución normal $k=1$ corresponde a $p=68.28\%$, $k=2$ a $p=95.45\%$, en una distribución rectangular $p=57.7\%$ si $k=1$.

Factor de cobertura k : se elige con base al nivel de confianza requerido para el intervalo $y - U$ a $y + U$, en general k tomará valores entre 2 y 3, sin embargo debe quedar claro que al multiplicar $U_c(y)$ por una constante no se añade nueva información, sino que se presenta a la información en forma diferente. La recomendación INC-1(1980) no especifica como deberá establecerse la relación entre p y k .

4.5.5 Distribución t -Student

Permite validar conclusiones estadísticas a partir de pequeñas cantidades de datos ($n < 25$). Puede considerarse como una aproximación a la distribución normal, de hecho para una población de datos mayor a 30 la diferencia entre ambas es despreciable. En algunas aplicaciones suele reemplazarse el factor de cobertura k por la letra t como coeficiente de Student, en la tabla 21 se observan los valores de la constante t correspondientes al coeficiente de Student para diferentes números de mediciones y niveles de confianza; por ejemplo para 20 mediciones y niveles de confianza del 90%, se tiene un t Student de 2.093 que difiere del factor de cobertura para ese mismo nivel de confianza ($k=1.9600$).

Tabla 21. Constante t para diferentes números de mediciones.

Número de mediciones	Nivel de confianza			
	90%	95%	99%	99.5%
2	6.314	12.706	63.657	127.320
3	2.920	4.303	9.925	14.089
4	2.353	3.182	5.841	7.453
5	2.132	2.770	4.604	5.598
6	2.015	2.571	4.032	4.773
7	1.943	2.447	3.707	4.317
8	1.895	2.365	3.499	4.029
9	1.860	2.306	3.355	3.833
10	1.833	2.262	3.250	3.690
11	1.812	2.228	3.169	3.581
12	1.796	2.201	3.106	3.497
13	1.782	2.179	3.055	3.428
14	1.771	2.160	3.012	3.372

15	1.761	2.145	2.977	3.326
16	1.753	2.131	2.947	3.286
17	1.746	2.120	2.921	3.252
18	1.740	2.110	2.898	3.222
19	1.734	2.101	2.878	3.197
20	1.729	2.093	2.861	3.174

La distribución de T de student se caracteriza por un parámetro ν llamado número de grados de libertad, el cual equivale al factor de cobertura y puede considerarse como una medida de la incertidumbre de una magnitud dada; entre mayor sea ν la estimación de incertidumbre será más confiable.

El número efectivo de grados de libertad ν_{ef} del mensurando comprende el número de grados de libertad ν_i de cada fuente de incertidumbre.

Los grados de libertad se calculan por medio de la ecuación:

$$\nu_{ef} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_i \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad (4.15)$$

Donde ν_i es el número efectivo de grados de libertad de cada contribución cuyo valor se obtiene aplicando las siguientes reglas:

$\nu_i = n-1$ para evaluación de incertidumbre tipo A, siendo n el número de mediciones.

$\nu_i = \infty$, para evaluación de incertidumbre tipo B, asumiendo la distribución rectangular.

Si el valor de ν_{ef} resultante no resulta entero, se considera como el entero menor más próximo.

Luego de manera rigurosa la incertidumbre expandida, se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$U = t(\nu_{ef}) * U_c(y) \quad (4.16)$$

4.6 EXPRESIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La GTC 51 recomienda que cuando se informa el resultado de una medición y la medida de la incertidumbre es la incertidumbre estándar combinada, se debe comunicar el resultado numérico de la medición de la siguiente manera (se supone que la magnitud cuyo valor se esta informando es una masa patrón m_s de 100 g; las palabras que se encuentran en paréntesis pueden ser omitidas si $U_c(y)$ se define en cualquier parte del documento que informa el resultado):

- $m_s = 100,021\ 47$ g con (una incertidumbre estándar combinada) $U_c(y) = 0,35$ mg.
- $m_s = (100,021\ 47 \pm 0,00035)$ g, donde el numero que sigue al símbolo \pm es el valor numérico de (la incertidumbre estándar combinada) $U_c(y)$.

Cuando se informa el resultado de una medición y la medida de la incertidumbre es la incertidumbre expandida U , se debe comunicar el resultado numérico de la medición de la siguiente manera (Las palabras que se encuentran en paréntesis pueden ser omitidas si U , $U_c(y)$ y k son definidas en cualquier parte del documento que informa el resultado):

- $m_s = (100,021\ 47 \pm 0,00079)$ g, donde el numero que sigue al símbolo \pm es el valor numérico de (una incertidumbre expandida) U , determinada a partir de $U_c(y) = 0,35$ mg y $k = 2,26$, basada en la distribución t para $\nu = 9$ grados de libertad, y define un intervalo estimado para tener un nivel de confianza de 95%.

4.6.1 Tolerancia del valor de una magnitud y la incertidumbre de medición

El concepto de tolerancia determina la base de la producción en serie, de tal forma que al estar especificada asegure la intercambiabilidad de elementos análogos en conjuntos más complejos sin alterar la funcionalidad de los mismos.

Tolerancia de una magnitud es el intervalo de valores en el que debe encontrarse dicha magnitud para que se acepte como válida.

Cada vez que hay que decidir si el valor concreto de una magnitud esta dentro de la tolerancia, es necesario medir y si la medida de comprobación no se asegura con la calidad necesaria (incertidumbre) aquella decisión puede ser errónea.

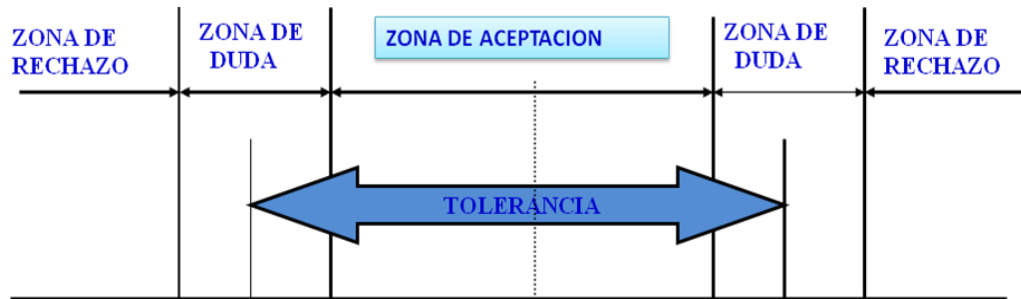
Cuando el intervalo de incertidumbre esta contenido en el intervalo de tolerancia, se esta en condiciones de afirmar que el valor del mensurando es admisible. Cuando los intervalos de incertidumbre y de tolerancia son disjuntos, hay seguridad en rechazar el mensurando. Cuando los intervalos de incertidumbre y tolerancia se solapan en parte, es decir, cuando poseen una parte común y otra no común la determinación de aceptación o rechazo es dudosa.

Luego un criterio de seguridad consiste en rechazar cualquier mensurando en situación dudosa. Esto equivale a definir como intervalo de decisión para los valores medidos el correspondiente a: $T-2U$ (tolerancia efectiva), limitando el valor del cociente de ambos intervalos (tolerancia e incertidumbre) en medidas dimensionales, suele ser frecuente considerar admisible:

$$3 \leq T/2U \leq 10$$

Luego el valor del mensurando válido se encontrará en el intervalo o zona de aceptación como se muestra en la figura 39

Figura 39. Tolerancia del valor de una magnitud



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En el momento de diseñar, lo primero que se debe tener claro es la metodología que se va a emplear, puede usarse una metodología Top-Down que va desde lo más general a lo más específico y en la marcha permite realizar innovaciones; sin embargo para diseñar el equipo portátil partí de los antecedentes, resultados y trabajos previos realizados en COTECMAR, por lo tanto para el diseño del equipo la metodología seleccionada y utilizada fue la Down-Top, pues gran parte de los requerimientos ya estaban planteados, se debía partir de un sistema de sensado existente e implementar el equipo de pruebas de acuerdo a las necesidades y capacidades requeridas.

Los programas de procesado de información para la adquisición de datos, fueron diseñados y construidos sobre LabVIEW, por que ofrece un ambiente de trabajo amigable, puede interactuar con otros programas de análisis y procesamiento de información como Matlab y además permite escalar las aplicaciones de acuerdo a las necesidades y requerimientos existentes y los que surjan.

A partir de las recomendaciones, para el análisis de incertidumbre de medida, realizadas por la GUM, CENAM, ISO y la GTC 51, el trabajo presenta una metodología, principios y requisitos requeridos para realizar el estudio de incertidumbre en los datos obtenidos durante las pruebas de mar. La información de pruebas es utilizada para validar los modelos de buques diseñados por COTECMAR y evaluar su desempeño y navegabilidad en general, por lo tanto la información proveniente del sistema de adquisición de datos debe ser confiable y el estudio de incertidumbre permite estimar que tan confiable es la información y por supuesto el sistema de adquisición de datos.

Cuando las pruebas de mar son conducidas, con viento y corriente es necesario realizar correcciones, con el objeto de obtener la trayectoria que en condiciones adecuadas de prueba, tendría el buque; a partir de las pruebas realizadas en la ARC Caldas se puede concluir que no es suficiente realizar una maniobra de

círculo evolutivo, con un cambio de rumbo de 540° mínimo sino que debe ser 720°, para poder realizar correcciones por viento y corriente.

Actualmente se realizan pruebas de mar utilizando siete sensores que toman los valores de las variables medidas en el tiempo, durante las pruebas; el equipo portátil permite escalar el sistema de pruebas hasta dieciséis variables utilizando una tarjeta de adquisición de datos FieldPoint, adicional.

Los instrumentos que se encuentran distribuidos dentro del equipo portátil, cuentan con los certificados de conformidad en emisiones e inmunidad EM. La distribución se ha realizado conforme a la **IEC 60533** además, dentro del equipo sólo se encuentran dos grupos de instrumentos (Intercomunicación y equipos de procesamiento de señal y conversión de potencia) lo que hace menos susceptible al equipo de tener problemas por compatibilidad electromagnética.

5.2 RECOMENDACIONES

Crear una base de datos, puede ser estática, para almacenar los datos de pruebas, históricos, para usarlos posteriormente para comparar el desempeño y comportamiento de buques, semejantes, tomar decisiones y realizar proyecciones.

Utilizar un software de modelado que integre el trabajo de varios tipos de software, como Excel, Matlab, LabVIEW, que permita sacarle mayor provecho a la información arrojada por las pruebas de mar, por ejemplo utilizar la herramienta Model Center de Phoenix Contac, que es una plataforma o ambiente visual para la integración de procesos, que apoya el diseño y las técnicas de exploración de diseños para encontrar el mejor.

Hacer del equipo portátil una herramienta autónoma en cuanto al suministro de energía eléctrica, de forma tal que no requiera conectarse a la energía eléctrica del buque sino que tenga su propia fuente de energía.

Crear una hoja de cálculo o software que permita realizar el cálculo de incertidumbre de medida a partir de los valores de las variables medidas y de los datos que suministra el fabricante.

BIBLIOGRAFIA

- [1].IMO. Standar for Ship Manoeuvrability. Resolution MSC. 137(76), 2002.
- [2].SNAME. Guide for Sea Trials. Technical and Research Bulletin N° 3-47, 1989.
- [3].THE SPECIAL COMMITTEE ON TRIALS AND MONITORING. Final report and recommendations to the 22nd ITTC. 2005.
- [4].MANOEUVRING COMMITTEE. Final Report and Recommendations to the 24th ITTC. 2005.
- [5].INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio de Tesis y Otros Trabajos de Grado NTC 1486. 2002.
- [6].IMO. Explanatory Notes to the standards for ship manoeuvrability. MSC/Circ.1053, 2002.
- [7].PÉREZ, Francisco y ZAMORA, Ricardo. Influencia en los parámetros generales del buque en sus características de maniobrabilidad. En: Memorias II congreso internacional de ingeniería oceánica. s.n. 2000. 17p.
- [8].ITTC. Recommended Procedures. Full Scale Measurements Manoeuvrability, Full Scale Manoeuvring Trials Procedure. 2002.
- [9].ITTC. Recommended Procedures and Guidelines. Full Scale Measurements Speed and Power Trials, Preparation and Conduct of Speed/Power Trials.2005.
- [10]. ITTC. Recommended Procedures and Guidelines. Full Scale Measurements Speed and Power Trials, Analysis of Speed/Power Trial Data.2005.
- [11]. THE SPECIAL COMMITTEE ON SPEED AND POWERING TRIALS. Final report and recommendations to the 23rd ITTC. 2002.

- [12]. ISO 19019. INTERNATIONAL STANDADARD. Sea-going vessels and marine technology — Instructions for planning, carrying out and reporting sea trials. 1 ed. 2005-04-15.
- [13]. <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/d/id/3170#toc1>
- [14]. IGME. Errores, Medidas y Ajustes.
- [15]. RONCONI, Adrian E. Medición y Error. Cátedra de instrumentos y mediciones. Universidad Nacional de Quilmes
- [16]. MARTINEZ, Roberto. Errores en instrumentos analógicos y digitales. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.
- [17]. MORENO, Angel J. metodología para el cálculo de la incertidumbre. Centro nacional de metrología, Laboratorio de impedancia.
- [18]. FELICI, Marcos y ZAMANILLO, Germán. La forma de comunicar el resultado de una medición. Universidad Nacional de Rio Cuarto Facultad de Ingeniería.
- [19]. FELICI, Marcos y ZAMANILLO, Germán. Cálculo de la incertidumbre. Universidad Nacional de Rio Cuarto Facultad de Ingeniería.
- [20]. FELICI, Marcos y ZAMANILLO, Germán. Como se propagan las incertezas de las estimaciones. Universidad Nacional de Rio Cuarto Facultad de Ingeniería.
- [21]. SCHMID, Wolfgang A y LAZOS M, Ruben. Guía para estimar la incertidumbre de la medición. CENAM. El Marqués, Qro. Mexico, mayo 2000.
- [22]. GTC 51. Guía técnica Colombiana.
- [23]. MARBÁN, Rocío y PELLECCER C, Julio A. Metrología para no metrólogos. Segunda edición. 2002.
- [24]. HERNANDEZ, Eduardo y HERNANDEZ G, Eduardo. Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración. 2002.

ANEXOS

ANEXO 1: CÁLCULO DE CALIBRACIÓN DEL TORQUE TRAK

C1: Torque on Round Shafts

Step 1: Calculate Full Scale Torque, T_{FS} (ft-lb) that corresponds to the maximum system output of 10.0V.

For a solid steel shaft, use this simplified equation:

$$\frac{(755.17 \times 10^3 \text{ ft-lb/in}^3)(D_o^3)}{(GF)(G_{XMT})} = T_{FS} \text{ (ft-lb)}$$

For all other shafts use the more general equation:

$$\frac{(V_{FS})(\pi)(E)(4)(D_o^4 - D_i^4)}{(V_{EXC})(GF)(N)(16)(1+\nu)(G_{XMT})(D_o)(12)} = T_{FS} \text{ (ft-lb)}$$

Legend of Terms	
D_i	Shaft Inner Diameter (in) (zero for solid shafts)
D_o	Shaft Outer Diameter (in)
E	Modulus of Elasticity (30×10^6 PSI steel)
GF	Gage Factor (specified on strain gage package)
G_{XMT}	Telemetry Transmitter Gain (user configurable, typical is 2000 for ± 500 microstrain range; See Appendix E)
N	Number of Active Gages (4 for torque)
T_{FS}	Full Scale Torque (ft-lb)
V_{EXC}	Bridge Excitation Voltage = 5 volts
V_{FS}	Full Scale Output of System = 10 volts
ν	Poisson's Ratio (0.30 for steel)

For metric applications with D_o and D_i in millimeters and T_{FS} in N-m the general equation is:

$$\frac{(V_{FS})(\pi)(E)(4)(D_o^4 - D_i^4)}{(V_{EXC})(GF)(N)(16000)(1+\nu)(G_{XMT})(D_o)} = T_{FS} \text{ (N-m)}$$

Where $E = 206.8 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$.

Example: Given a solid steel shaft with
 D_o (shaft diameter, measured) = 2.5 inches
 GF (gage factor from gage package) = 2.045
 G_{XMT} (BT9000 gain based on jumpers) = 2000

$$T_{FS} = \frac{(755.17 \times 10^3 \text{ ft-lb/in}^3)(2.50 \text{ in})^3}{(2.045)(2000)} = 2,885 \text{ ft-lb}$$

so 10.0 V output at the RD9000 indicates 2,885 ft-lb of torque or 288.5 ft-lb/volt.

Step 2: Trim the Full Scale Output: If desired, the full scale output voltage of the RD9000 can be trimmed so that the voltage output corresponds to an even round number torque level, e.g. 100 ft-lb/volt. First, calculate the trimmed voltage value (V_{TRIM}) that corresponds to the round number (trimmed) torque level (T_{TRIM}). Note: T_{TRIM} must be greater than T_{FS} calculated above.

$$V_{TRIM} = \frac{(T_{FS})(V_{FS})}{T_{TRIM}}$$

Legend of Terms	
T_{FS}	Full Scale Torque (ft-lb)
T_{TRIM}	Trimmed Torque (ft-lb)
V_{FS}	Full Scale Output of System = 10 volts
V_{TRIM}	Trimmed Output of System

Example: The full scale torque (T_{FS}) has been calculated to be 2,885 ft-lb, for 10 volts. However the user would like to scale the system output to an adjusted torque (T_{TRIM}) of 4,000 ft-lb for 10 volts. (Note that $T_{TRIM} = 4,000$ is greater than $T_{FS} = 2,885$.)

$$\frac{(2,885 \text{ ft-lb})(10 \text{ volts})}{(4,000 \text{ ft-lb})} = V_{TRIM} = 7.21 \text{ volts}$$

Step 3: Adjust the Full Scale Output to equal V_{TRIM} on the RD9000.

- a) Flip the **Full Scale** switch up on the front of the RD9000. (This produces a full scale positive voltage output.)
- b) Connect a voltmeter to the **Output** terminals on the rear panel of the RD9000 to read the full scale output voltage.
- c) Turn the **Full Scale Adjust** screw on the front of the RD9000 until the voltmeter reads 7.21 volts.

The system is now calibrated so that 4,000 ft-lb equals 10 volts (i.e. the gain of the system is 400 ft-lb/volt).

In summary:

Before adjusting full scale output:

$$2,885 \text{ ft-lb} = 10 \text{ volts} \quad (288.5 \text{ ft-lb/volt})$$

After adjusting full scale output:

$$4,000 \text{ ft-lb} = 10 \text{ volts} \quad (400 \text{ ft-lb/volt})$$

ANEXO 2: INSTALACIÓN DE GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

1 Preparación de la superficie.

El objetivo de la preparación del material es crear una superficie limpia, libre de imperfecciones físicas mayores y químicamente apropiadas.

- **Limpieza burda.** Se debe eliminar todo tipo de pintura, corrosión, oxidación o cualquier otro contaminante que pueda haber para el área de adhesión (más un área de tolerancia) de las galgas.
- **Suavizar la superficie.** Cualquier tipo de protuberancia, canales, o imperfección mecánica debe ser eliminada por un proceso de pulido, limado, cepillado o lo que sea necesario para el caso.
- **Eliminar grasas.** Este procedimiento se requiere para eliminar todo tipo de aceites, grasas, contaminantes orgánicos y residuos de productos químicos solubles. La elección del agente de limpieza depende de la naturaleza del contaminante y si la superficie puede ser deteriorada por el limpiador. Entre las opciones más comunes están el tolueno, acetona, alcohol isopropílico, desengrasante en aerosol, baños líquidos agitados ultrasónicamente, métodos desengrasantes por vapor, tricloroetileno y otras sustancias químicas más especializadas.

Para áreas grandes usar primero un polvo limpiador abrasivo en polvo. Habiendo hecho esto, se debe enjuagar la superficie con agua de tal manera que al terminar se deje una capa continua de sólo agua sobre la superficie. Ésta se debe secar con papel o con calor. El procedimiento de limpieza consiste en empapar una gasa en el agente limpiador y lavar la superficie cubriendo inicialmente un área mayor a la deseada.

- **Lijado.** La adhesión entre dos superficies depende del área de las superficies que se cubre con el adhesivo. Un buen pulido fino de las superficies aumenta la adhesión porque aumenta el área de contacto efectiva. Para lijar la superficie se debe tomar en cuenta que sea un papel de lija apropiado para el material y de un grado adecuado. Para acero se usa un grado 80 a 180 y para aluminio un grado 220 a 360. Para evitar hacer canales en el material este procedimiento debe hacerse en movimientos circulares y de preferencia usando primero un papel de lija más grueso y después uno más fino.

- **Limpieza fina.** Cualquier residuo de lija, material o polvo generado en el proceso anterior debe ser eliminado cuidadosamente. Se pueden usar los mismos métodos usados en el punto “Eliminar grasas”. Tome cada gasa empapada con pinzas de punta finas o 'tweezers' y pásela por la superficie una sola vez. Este procedimiento debe ser repetido una y otra vez hasta que la gasa no muestre señas de decoloración al pasarla por la superficie.

La superficie debe dejarse seca y libre de residuos de gasa. Debe cuidar no soplar o respirar cerca de la superficie y evitar tocarla.

- **Marcar la superficie.** La superficie del espécimen donde se van a aplicar las galgas debe marcarse ligeramente para poder alinear las galgas según la deformación que se desea medir. Utilícese un lápiz 4H para aluminio y un bolígrafo para acero para hacer unas ligeras marcas en la periferia del lugar de aplicación de las galgas. Tenga presente que las galgas contienen también señales de alineación.
- **Alcalinidad óptima.** Si es el caso, la superficie debe ser tratada para poner su valor de alcalinidad de 7 a 7.5 pH. Se aplica un neutralizador líquido libremente sobre la superficie limpia, se talla y seca con gaza o con palillos con punta de algodón. Tallar y secar debe hacerse siempre en una sola dirección y sin reusar el algodón o gaza.

Si los procedimientos anteriores se han seguido con atención y cuidado, la superficie esta ya lista para que las galgas se adhieran. A partir de este momento las galgas deben ser adheridas tan pronto sea posible para minimizar contaminación.

2 Adhesión de las galgas.

- **Posicionamiento de la galga.** Tome la galga con unas pinzas finas y colóquela en una superficie químicamente limpia con la superficie de adhesión hacia abajo. Si va a usar terminales para soldar se recomienda colocarlas a 1.6 mm del límite de la galga y alineadas en el centro. Tome un pedazo de cinta adhesiva de unos 10 ó 15 cm de largo y póngala sobre la galga y terminal de tal manera que queden centradas en la cinta. Levante la cinta cuidadosamente en un ángulo de aprox. 45° de la superficie, trayendo consigo la galga y terminal adheridas.

- **Alineación de la galga.** Posicione la cinta con la galga y terminal en el espécimen de tal manera que las marcas de alineación coincidan con las marcas del espécimen y pegue firmemente un extremo de la cinta. Si la alineación no coincidiera a satisfacción, levante la cinta de un extremo manteniendo un ángulo igual o menor a 45° hasta despegar la cinta completamente. Repita el procedimiento de alineación hasta quedar satisfecho. Para técnicos principiantes se recomienda usar cinta adhesiva especializada para estas aplicaciones ya que ésta no deja residuos de adhesivo cuando se despega.
- **Preparación final.** Levante la cinta con la galga en un ángulo agudo hasta que la terminal quede aproximadamente 1 cm libre. Doble la cinta sobre si misma y pegue el otro extremo sobre la superficie del espécimen de tal manera que la galga y terminal queden expuestas en una superficie plana con la parte a adherirse hacia arriba.
- **Aplicación del adhesivo.** Levante la cinta del lado que ha sido doblada sobre si misma. Tomando la cinta sin jalar ni doblar. Aplique una o dos gotas de adhesivo en la unión de la cinta con el espécimen a aproximadamente 1 cm. de la periferia de la galga con terminal. Esto permite que la polimerización instantánea del adhesivo al contacto con el espécimen no provoque imperfecciones en la homogeneidad y uniformidad de la película de adhesivo.
- **Adhesión.** Inmediatamente desdoble la cinta para quedar a aproximadamente 30° de la superficie del espécimen con la galga y terminal haciendo un 'puente' sobre el lugar de instalación. Mientras se sostiene la cinta con una ligera tensión, aplique una presión deslizante con sus dedos y un pedazo de gasa que vaya oprimiendo la galga y terminal sobre su posición y alineación deseadas. Use una presión firme al 'recostar' la galga sobre su posición ya que se requiere una película muy delgada y uniforme de adhesivo para resultados óptimos.
- **Aplicación de presión.** Inmediatamente después de la acción deslizante y ya con la galga en su posición y alineación correctas, aplique una presión firme con el dedo pulgar sobre la galga y terminal. Esta presión se debe ejercer por lo menos por espacio de un minuto. En condiciones de humedad baja (menos de 30% de HR) o en temperaturas menores a 20°C la presión debe extenderse a varios minutos, dependiendo de las condiciones.

Cuando se tienen galgas de tamaño grande o superficies no uniformes puede requerirse de un dispositivo mecánico para aplicar la presión, por lo que también se requiere aplicar presión por más tiempo. El calor del dedo humano ayuda a una rápida polimerización del adhesivo. Espere por lo menos dos minutos para quitar la cinta después de retirar la aplicación de presión.

- **Retirar la cinta.** La galga y terminal ya deben estar firmemente adheridas al espécimen. Para retirar la cinta, jálela directamente sobre sí misma de forma continua y lenta para evitar ejercer fuerzas innecesarias sobre la galga. Realmente no es necesario retirar la cinta inmediatamente después de la instalación y puede permanecer como protección mecánica hasta que se vaya a proceder a soldar.

3 Procedimientos para soldar.

- **Herramienta y técnica para soldar.** Se debe cuidar que la punta del cautín sea de terminación plana o tipo desarmador plano y que se solde usando la parte plana. Se debe cuidar que se tenga una temperatura adecuada en el cautín y que NO se haga contacto con la terminal de la galga por más de un segundo.
- **Procedimiento para soldar.** Este procedimiento debe realizarse con cuidado para evitar cualquier eventual daño a la galga. Como paso previo a soldar cables a las galgas los cables a soldar y las terminales deben ser recubiertos de soldadura para obtener una mejor transferencia de calor y una soldadura más rápida y nítida. En el caso de tener galgas extensiométricas no encapsuladas, antes de soldar se debe cubrir el área de la galga con cinta adhesiva, dejando la mitad de las terminales de la galga expuestas para soldar. Procure usar un cautín con temperatura controlada. Temperaturas muy altas tienden a oxidar la punta y a evaporar instantáneamente la pasta de soldar lo cual hace la operación más difícil. Se recomienda fijar el cable a soldar con una cinta adhesiva también para tener los cables a soldar en el lugar correcto y dispone de ambas manos para soldar. Coloque el cautín a un ángulo de 30° o menor sobre la terminal de la galga y cable y al mismo tiempo alimente aproximadamente 3mm de

soldadura. Al terminar levante simultáneamente la punta del caudín y la soldadura. La soldadura debe ser de la que contiene flujo antioxidante en su interior. El procedimiento de soldado de cada terminal debe durar aproximadamente 1 segundo. La soldadura debe quedar como un pequeño montículo sobre la terminal y la punta del cable y debe tener un aspecto suave y brillante. Deben evitarse picos y soldaduras opacas.

4 Recubrimientos de protección.

Barniz de recubrimiento. La instalación completa debe protegerse mediante recubrimientos especializados. El tipo y técnica de recubrimiento depende de la aplicación y el ambiente de uso del sensor. En general se requiere de al menos un barniz protector y podría llegar a requerirse una capa de silicón o cera para protección mecánica y contra humedad respectivamente.