



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA**

## **TESIS**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE LOCALIZACIÓN  
Y COMUNICACIÓN SATELITAL PARA DISPOSITIVO PORTATIL DE  
MONITOREO DE EMBARCACIONES DE FLOTA MENOR EN EL  
SURESTE DE MÉXICO.”**

PARA OPTAR AL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

PRESENTA:

**ING. ELIEL ISAÍ CHAN DZIB**

ASESOR:

**DR. JESÚS SANDOVAL GÍO**

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO.

26 DE FEBRERO DE 2012

## TABLA DE CONTENIDO

Tabla de contenido .....	0
Índice de Tablas .....	5
Índice de Figuras .....	6
1. PRESENTACIÓN .....	1
1.1. Introducción. ....	1
1.2. Planteamiento del problema. ....	2
1.3. Objetivos. ....	4
1.3.1. Generales.....	4
1.3.2. Específicos.....	4
1.4. Justificación. ....	5
1.5. Estado del Arte.....	6
1.5.1. SISMEP .....	7
1.5.2. TITAN Sentinel.....	8
1.5.3. SAILOR 6150 mini-C Maritime System.....	10
1.5.4. Skywave IDP-780 Flex .....	11
2. Marco Teórico.....	13
2.1. Introducción .....	13
2.2. Generalidades de las comunicaciones satelitales .....	13
2.3. Clasificación de los satélites de acuerdo a su órbita .....	14
2.3.1. Geosíncronos.....	14
2.3.2. No geosíncronos .....	15
2.4. Servicios de comunicación de datos .....	16
2.4.1. IRIDIUM .....	17

2.4.2.	INMARSAT.....	18
2.4.3.	ORBCOMM (Banda VHF- Very High Frequency) .....	21
2.5.	Banda VHF y UHF .....	22
2.5.1.	Características de la banda UHF.....	23
2.6.	Métodos de Múltiple Acceso.....	24
2.6.1.	Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA).....	25
2.6.2.	Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) .....	26
2.6.3.	Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA) .....	27
3.	Descripción de componentes.....	29
3.1.	Generalidades.....	29
3.2.	Proveedor de comunicación de datos vía satélite.....	29
3.3.	Módulo Micro-controlador.....	30
3.4.	Módulo transceptor .....	32
3.5.	Módulo GPS.....	36
4.	Desarrollo de algoritmos.....	37
4.1.	Módulo Micro-controlador.....	37
4.1.1.	Generalidades de desarrollo. ....	37
4.1.2.	Comunicación RS232-UART .....	39
4.1.3.	Envío de información vía GSM.....	39
4.1.4.	Secuencia de envío de datos vía red GSM .....	42
4.1.5.	Envío de datos vía satélite .....	43
4.1.6.	Direccionamiento de embarcación. ....	43
4.1.7.	Reinicio de sistema transceptor.....	53
4.1.8.	Mensajes especiales .....	53

4.2.	Módulo Transceptor satelital .....	54
4.2.1.	Generalidades de desarrollo .....	54
4.2.2.	Definición de trama de transmisión de información. ....	55
4.2.3.	Configuración de entradas y salidas.....	56
4.2.4.	Prevención de ciclado indeseado en DMR-800D OEM .....	60
4.2.5.	Algoritmo de DMR-800D OEM .....	60
5.	Pruebas .....	62
5.1.	Generalidades.....	62
5.2.	Módulo Transceptor satelital .....	62
5.2.1.	Evaluación de desempeño de nivel de señal.....	62
5.2.2.	Nivel mínimo de señal para transmisión y recepción .....	65
5.2.3.	Evaluación de alimentación eléctrica.....	68
5.1.	Módulo Micro-controlador.....	70
5.1.1.	Evaluación de direccionamiento .....	70
5.1.2.	Desempeño de cómputo en algoritmo de direccionamiento	74
6.	Resultados .....	77
6.1.1.	Resultado I.....	77
6.1.2.	Resultado II.....	79
6.1.3.	Resultado III.....	79
6.1.4.	Resultado IV.....	80
7.	Conclusiones y recomendaciones .....	84
7.1.1.	Conclusiones.....	84
7.1.2.	Recomendaciones.....	85
8.	Anexos .....	86

1.1.	Código desarrollado en MATLAB para estimaciones .....	86
1.2.	Circuito de pruebas de modem DMR-800D OEM.....	88
1.3.	Prueba de hardware DMR-800D OEM .....	90
1.4.	Prueba de vibración a SIM holder GSM .....	94
1.5.	Imágenes relevantes del proyecto.....	103
9.	Bibliografía y Referencias .....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Servicios que ofrece INMARSAT.....	20
Tabla 3.1 Características del PIC18F6627 de Microchip (26).....	31
Tabla 3.2 Características técnicas del DMR800D OEM de Skywave Communications Inc.....	35
Tabla 4.1 Cuantificación de caracteres para la trama de comunicación vía GSM.....	41
Tabla 4.2 Valores de simulación para simplificación de proceso de cómputo.....	50
Tabla 4.3 Diseño de multiplexado de entradas digitales .....	57
Tabla 4.4 Configuración de salidas digitales del modem DMR800D OEM.....	58
Tabla 5.1 Mediciones de nivel de señal satelital tomadas en fechas a azar. ....	64
Tabla 5.2 Mediciones de mínimo señal de transmisión y recepción de datos satelitales .....	66
Tabla 5.3 Mediciones de nivel de señal y sus bloqueadores físicos de señal satelital .....	67
Tabla 5.4 Medición de corriente que el sistema de transmisión satelital demanda	70
Tabla 5.5 Mediciones realizadas en distintas coordenadas al azar.....	72
Tabla 5.6 Medición de orientación respecto al objetivo a localizar .....	74
Tabla 5.7 Desempeño del micro-controlador sin comunicación RS232 .....	76
Tabla 5.8.....	76
Tabla 6.1 Resultados de monitoreo de posición vía satélite.....	81
Tabla 6.2 Monitoreo de embarcación vía GSM .....	82
Tabla 8.1 Resumen de comportamiento de sim holder .....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de dispositivo del SISMEP. ....	8
Figura 1.2 Vista funcional del sistema TITAN Sentinel. ....	10
Figura 1.3 Componentes del sistema SAILOR 6150. ....	11
Figura 1.4 Sistema IDP-780 de SkyWave Mobile Communications Inc. ....	12
Figura 2.1 Mapa de cobertura de satélites INMARSAT. ....	19
Figura 2.2 Visualización de las distintas técnicas de acceso múltiple. ....	25
Figura 2.3 Conceptualización del sistema de codificación TDMA. ....	26
Figura 2.4 Proceso de codificación y decodificación por medio de CDMA. ....	27
Figura 2.5 Conceptualización del método de acceso por división de frecuencia. ....	28
Figura 3.1 Configuración de pines del PIC18F6627. ....	32
Figura 3.2 DMR 800D OEM. ....	33
Figura 3.3 Presentación de GPS NEO-6M. ....	36
Figura 4.1 Diagrama de flujo para sistema de comunicación UART por software. ....	39
Figura 4.2 Estructura de trama de comunicación vía GSM ....	41
Figura 4.3 Diagrama de flujo para envío de mensaje vía GSM ....	43
Figura 4.4 Grafica de equivalencia de grados a kilómetros ....	51
Figura 4.5 Calculo de distancia en sobre la superficie de la tierra. ....	52
Figura 4.6 Entradas/salidas de módulo DMR800D OEM. ....	57
Figura 4.7 Configuración de hardware para salidas digitales de DMR800D OEM. ....	59
Figura 4.8 Diagrama de flujo para el algoritmo implementado en módulo transceptor satelital. ....	61
Figura 5.1 Elementos usados durante las pruebas de operación común ....	63
Figura 5.2 Condiciones climáticas durante la realización de las pruebas. ....	65
Figura 5.3 Obstáculos colocados para bloquear la señal satelital. ....	68
Figura 5.4 Baterías evaluadas en prueba de capacidad de alimentación ....	69
Figura 5.5 Serie de puntos tomados como muestras en prueba de algoritmo de direccionamiento de embarcación. ....	71

Figura 6.1 Elementos de operación normal.....	77
Figura 6.2 Variación del nivel de señal dependiendo de cada muestra tomada en varios días en forma aleatoria. ....	78
Figura 6.3 Comportamiento del nivel de señal durante el día.....	78
Figura 6.4 Error de medición en función de la distancia. ....	79
Figura 8.1 Diseño de tarjeta de pruebas para modem DMR800D OEM.....	89
Figura 8.2 Tarjeta finalizada para pruebas .....	89
Figura 8.3 Componentes del sistema de prueba .....	90
Figura 8.4 Cable conversor RS232-USB para DMR800D OEM. ....	91
Figura 8.5 Tarjeta de pruebas para DMR800D OEM .....	92
Figura 8.6 Conexión de cable de pruebas para DMR800D OEM .....	93
Figura 8.7 Serie de puntos tomados como muestras .....	95
Figura 8.8 Modelos de SIM holders probados.....	95
Figura 8.9 Mediciones de aceleración (A) y desplazamiento(B) en una lancha	96
Figura 8.10 Mediciones en de campo realizadas correspondiente al comportamiento de velocidad.....	97
Figura 8.11 Perfil de aceleraciones durante el transcurso de la prueba de vibración al sim holder1. ....	98
Figura 8.12 Perfil de aceleraciones del sim holder 2. ....	98
Figura 8.13 Perfil de aceleraciones de sim holder 3 durante la prueba de vibración. ....	99
Figura 8.14 Perfil de frecuencias para sim holder 1 durante la prueba de vibración. ....	99
Figura 8.15 Perfil de frecuencias del sim holder 2 durante el desarrollo de la prueba de vibración.....	100
Figura 8.16 Perfil de frecuencias para el sim holder 3 durante la realización de pruebas de vibración.....	101
Figura 8.17 Perfil de desplazamiento para el sim holder 1 durante la prueba de vibración. ....	101

Figura 8.18 Perfil de desplazamiento para el sim holder 2 durante la prueba de vibración. ....	102
Figura 8.19 Perfil de desplazamiento para el sim holder 3 durante la prueba de vibración. ....	102
Figura 8.20 Gabinete diseñado para el dispositivo KAXAN-HA.....	104
Figura 8.21 Embarcación a la que se le instaló un dispositivo de monitoreo KAXAN-HA.....	105
Figura 8.22 Dispositivo KAXAN-HA instalado en embarcación de pesca artesanal. ....	106
Figura 8.23 Cooperativa de pescadores en el puerto de Champotón Campeche.	107

# 1. PRESENTACIÓN

## 1.1. Introducción.

El presente documento plantea una propuesta de solución al problema del diseño de un dispositivo de comunicación de datos vía satélite para embarcaciones de flota menor, que de ahora en adelante podrá nombrarse como KAXAN-HA (en proceso de patente).

En el capítulo uno se desarrolla la introducción, el planteamiento del problema que incluye las motivaciones para el desarrollo del presente tema de tesis, la justificación del presente tema de tesis así como los objetivos respectivos y en la parte final de este capítulo se presenta el estado del arte de los dispositivos de monitoreo vía satelital para embarcaciones pesqueras.

Posteriormente en el capítulo dos se presenta el marco teórico de los sistemas de comunicaciones de datos satelitales, sus alcances así como sus respectivas limitaciones; además los conocimientos básicos para comprender el funcionamiento de los sistemas GPS.

Se prosigue a desarrollar en el capítulo tres una descripción de los componentes seleccionados para satisfacer los requerimientos relacionados con el presente tema de tesis del proyecto así como las razones por las que se seleccionaron dichos componentes.

Continuando con la secuencia de diseño, se presenta el desarrollo de los algoritmos necesarios para el funcionamiento del dispositivo diseñado (KAXAN HÁ) así como la justificación de dichos algoritmos en el capítulo cuatro.

Se explican las pruebas realizadas a los módulos de los dispositivos así como pruebas de los algoritmos diseñados, esto con el fin de evaluar el funcionamiento y verificar su correcto desempeño en el capítulo cinco y posteriormente, en el capítulo

seis se presentan los resultados obtenidos del presente trabajo de tesis así como la evaluación de las aplicaciones del sistema KAXAN HÁ.

En el capítulo siete se establecen las conclusiones obtenidas del desarrollo del presente proyecto así como del análisis de los resultados obtenidos en comparación con los objetivos planteados al inicio del presente documento.

Por último en el capítulo ocho podemos encontrar los anexos que incluyen circuitos de diseño, procedimientos de prueba de hardware, pruebas de vibración, etc.

## **1.2. Planteamiento del problema.**

En la actualidad es indiscutible el nivel de importancia que la actividad pesquera ha adquirido tanto en el ámbito social como económico, sin embargo, como en todas las actividades humanas de explotación de recursos ambientales que se convierten en fuentes importante de ingresos, se corre el riesgo de sobreexplotación si no existen la normatividad y control adecuado de las condiciones económicas de los individuos participantes en tal actividad, ya que estos frecuentemente incurren en actividades ilícitas como la pesca ilegal de especies en veda y la invasión de zonas protegidas; en nuestro país, debido a la actividad del ser humano sobre las poblaciones de los recursos marinos se observa una alta disminución de productividad pesquera, poblaciones altamente explotadas y deterioro de hábitats (1).

En cuanto a las condiciones en las que se desarrolla la actividad pesquera de la flota artesanal, se puede observar que los pescadores integrantes de esta flota, no cuentan con los accesorios tecnológicos que les garanticen un nivel aceptable de seguridad ya que frecuentemente ejecutan sus actividades a distancias de aproximadamente 50km de la costa es decir zonas en las que la cobertura celular no es suficiente lo que resulta en un riesgo ante cualquier imprevisto que ocurra, pero lo

mas alarmante es que el número de embarcaciones integrantes de la flota artesanal sigue en aumento, por ejemplo en 2010, más del 85 por ciento de las embarcaciones de pesca motorizadas del mundo medían menos de 12 metros de eslora total. Estas embarcaciones predominaban en todas las regiones, especialmente en el Cercano Oriente y en América Latina y el. En torno al 2 por ciento de todas las embarcaciones de pesca motorizadas eran buques de pesca industrializados de más de 24 metros (con un tonelaje bruto [GT] de algo más de 100 GT) y esta fracción era mayor en la región del Pacífico y Oceanía, Europa y América del Norte (2). En base a esto, el presente proyecto pretende desarrollar un dispositivo, capaz de favorecer a los pescadores pertenecientes a la flota menor así como a los departamentos encargados de la protección y vigilancia de los recursos pesqueros proveyendo seguridad e información de la situación ambiental del medio marino.

El proyecto se implementará en la región sureste del país, integrando estados que se ubican en zonas costeras del Golfo de México, Banco de Campeche y Caribe Mexicano. Regiones donde la pesca representa una fuente importante de alimentos, empleo y divisas. El proyecto se desarrollará en dos etapas de un año cada una. Durante el primer año (del 1 de marzo de 2011 al 31 de diciembre) se prepara la infraestructura de comunicaciones y manejo de datos, el diseño del dispositivo de adquisición y comunicación de datos. En esta etapa se contratarán los sistemas de comunicaciones y se precisarán las necesidades de información, así mismo se desarrollarán los sistemas de visualización y manejo de datos con los diversos usuarios. El segundo año contempla la prueba del sistema prototipo en determinadas zonas de la Península de Yucatán, incluyendo la capacitación de los operadores y usuarios, finalmente se procederá a la instalación de los equipos en los grupos de embarcaciones que constituyen el programa piloto. El proyecto lo ejecutaran el CINVESTAV Mérida, la Universidad Riviera y estudiantes de posgrado del Instituto Tecnológico de Mérida; dicho proyecto tiene como nombre “Desarrollo de Infraestructura Tecnológica de Sistemas de Adquisición y Comunicación de Información Geoespacial para el Sector Pesquero de México”, financiado por

CONACYT (FORDECYT 143329). La Unidad Mérida del CINVESTAV tiene una amplia historia de trabajo en el campo de las ciencias pesqueras, de manejo de herramientas y datos geoespaciales así como en el campo de las ciencias sociales aplicadas al manejo costero; la Universidad Riviera cuenta con una amplia capacidad e el desarrollo de sistemas de comunicación y aplicaciones computacionales y por último, el Instituto Tecnológico cuenta con una amplia experiencia en el diseño y desarrollo de aplicaciones de ingeniería en el medio industrial.

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. General.**

Diseñar e implementar un sistema de comunicación de datos vía satélite, GSM y localización global para dispositivos de monitoreo y comunicación de embarcaciones marinas integrantes de la flota menor en la Península de Yucatán con la prioridad de recolección de información de variables ambientales y de posición, añadiendo un sistema de seguridad para los tripulantes de dichas embarcaciones y de esta forma satisfacer los requerimientos de comunicación de datos vía satelital para el proyecto “Desarrollo de Infraestructura Tecnológica de Sistemas de Adquisición y Comunicación de Información Geoespacial para el Sector Pesquero de México”, financiado por CONACYT (FORDECYT 143329).

#### **1.3.2. Específicos.**

Seleccionar componentes de comunicación satelital e implementar funciones de operación para un dispositivo de comunicación y monitoreo en las que se incluyan variables ambientales como son temperatura, salinidad, posición GPS así como una comunicación bidireccional, para embarcaciones marinas de flota menor de los estados de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo vinculado al proyecto “Desarrollo de infraestructura tecnológica de sistemas de adquisición y comunicación

de información geoespacial para el sector pesquero de México” que cuenta con apoyo de CONACYT con clave 143329.

Este dispositivo será construido en una sola pieza y tendrá capacidades de comunicación bidireccional, resistente al medio marino, de bajo consumo e independencia de energía, comunicación satelital y GSM, fácilmente instalable a las embarcaciones, bajo mantenimiento y fácil operación, puerto NMEA y botón de auxilio, GPS para registrar y enviar datos de las posiciones geográficas visitadas por la embarcación, la hora y la fecha de registro, clave de identificación y posibilidades de enviar y recibir señales/mensajes de alarma para la seguridad de las embarcaciones y de su tripulación.

#### **1.4. Justificación.**

El tema de impacto ambiental del hombre hacia la tierra ha sido ampliamente estudiado, esto debido a que en años recientes se ha observado un enorme cambio climático producido por los contaminantes y la depredación de los ecosistemas naturales, por lo que son necesarias la aplicación de medidas para para contribuir a la regulación de las actividades perjudiciales al medio ambiente, en base a esto surge la necesidad del monitoreo de las actividades pesqueras como una alternativa para el estudio del rumbo y planificación de la explotación de los recursos pesqueros; igual de importante es el conocer el estado de las variables ambientales como son: temperatura y salinidad para la estimación del comportamiento de los contaminantes causantes de una destrucción masiva de las especies marinas como es el fenómeno de la marea roja.

Durante los últimos 50 años, el suministro mundial de productos pesqueros destinados al consumo humano ha superado el crecimiento de la población mundial; actualmente, el pescado constituye una fuente esencial de alimentos nutritivos y proteínas animales para gran parte de la población mundial. Además, este sector

proporciona medios de vida e ingresos, tanto directa como indirectamente, a una parte considerable de la población mundial. El pescado y los productos pesqueros se encuentran entre los productos alimenticios más comercializados a nivel mundial, con un volumen de comercio por un valor que alcanzó nuevos máximos en 2011, y se espera que siga una tendencia de crecimiento (2).

El sistema a desarrollar beneficiará a los pescadores integrantes de la flota artesanal, a la autoridad reguladora de las actividades pesqueras en el sector artesanal y al sector investigador biológico. Por una parte los pescadores se beneficiarán del hecho de que su nivel de seguridad aumentará al tener este dispositivo instalado en sus embarcaciones por lo que podrán ser localizados y asistidos aún en zonas en las que no exista cobertura de comunicación celular esto debido a que por su tamaño y peso, estas embarcaciones tienen mayor probabilidad de accidentes; y por otro lado la autoridad reguladora de las actividades de pesca se beneficiará del hecho de tener acceso a la localización de las embarcaciones que cuenten con este dispositivo en cualquier momento que desee y de esta forma detectar violaciones a zonas protegidas o restringidas para tomar las acciones adecuadas ante tal situación; por ultimo el sector investigador biológico de beneficiará del hecho de contar con sistemas de monitoreo de variables ambientales en embarcaciones que tengan instalados estos dispositivos.

### **1.5. Estado del Arte.**

El presente apartado tiene la finalidad de presentar los dispositivos actuales de monitoreo y comunicación para embarcaciones marinas, principalmente las pertenecientes a la flota menor pero añadiendo sistemas de monitoreo para embarcaciones pesqueras en general para lograr un mayor mercado comercial esto debido a que no hay gran variedad de dispositivos de monitoreo para embarcaciones pequeñas ya sea por el costo o por restricciones de tamaño.

### 1.5.1. SISMEP

El SISMEP(Sistema de Localización y Monitoreo Satelital de Embarcaciones Pesqueras) es un sistema administrado por la Dirección General de Inspección y Vigilancia de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Implementado en México con el objetivo de contribuir en la adopción de medidas de ordenamiento pesquero y el aprovechamiento responsable de recursos pesqueros, así como complementar las acciones de seguimiento, control y vigilancia de las actividades extractivas, y apoyar con información de la ubicación de las embarcaciones a las instancias y dependencias competentes encargadas de salvaguardar la vida humana en el mar (3). Según la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) el SISMEP se defino como:

“Es el conjunto de equipos (hardware) y programas de uso (software) necesarios y en operación para brindar el servicio que será suministrado y que conforman el Sistema de Localización y Monitoreo Satelital de embarcaciones Pesqueras. El Sistema de Seguimiento Satelital está orientado a complementar las acciones de investigación, seguimiento, vigilancia y control de las actividades extractivas de pesca, así como las medidas de ordenamiento pesquero” (4).

Entre los usuarios de este sistema se encuentran los concesionarios y permisionarios que realicen actividades de pesca, excepto deportivo-recreativa, en embarcaciones pesqueras con motor estacionario (intraborda), potencia nominal superior a 80 Hp (caballos de fuerza), con cubierta corrida y eslora superior a 10.5 metros, que operen en aguas de jurisdicción federal del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe, dentro de la Zona Económica Exclusiva, así como para aquellas embarcaciones de bandera mexicana que realicen actividades de pesca en Alta Mar.

El sistema consiste en un sistema transceptor, un panel de control que contiene un botón de emergencia sí como un sistema de alimentación de batería como podemos observar en la figura 1.1 (5).



Figura 1.1 Esquema de dispositivo del SISMEP.

### 1.5.2. TITAN Sentinel

Desarrollado por la compañía XANATOS MARINE Ltd. Cuyas oficinas centrales se localizan en Canadá con sucursales alrededor del mundo como son: Alabama, Louisiana, California, Massachusetts, Florida, Washington, Indonesia, Tailandia, Nigeria, British Columbia. Esta empresa brinda servicios de monitoreo de embarcaciones a empresas privadas que cuentan con recursos materiales de alto valor y por lo tanto es necesaria su localización en tiempo real.

TITAN Sentinel ha sido específicamente diseñado para proporcionar un conocimiento del medio marítimo para puertos de pequeño y mediano tamaño u otras autoridades que se ven en la necesidad de seguimiento de embarcaciones en sus aguas pero que no puede permitirse un gasto excesivo en el desarrollo del mismo que es muy común hoy en día.

Con una abundancia de características es fácil la integración del dispositivo a las embarcaciones. Algunas de las muchas funciones con las que cuenta el software integrado en TITAN Sentinel son: La integración del sensor, gráficos de alta calidad y vectorial como plataforma, vigilancia de colisión, almacenamiento de historial y mucho más.

TITAN Sentinel combina datos de varios sensores externos que proporcionan un sistema de visualización integrado, que permite a nuestros usuarios tener un único punto de ver de una manera claramente establecidos. Los sensores utilizados pueden ser implantados por separado o colectivamente y que incluiría AIS, ARPA / Radar y CCTV.

Con Sentinel TITAN obtener todos los datos relevantes sobre los buques AIS dentro del alcance. Usted puede "ver" los barcos y obtener información textual sobre cada buque equipado de manera apropiada. Tan pronto como un objetivo entra dentro del alcance del transponder AIS TITAN Sentinel comienza a mostrar información sobre esa nave. Esta información incluye: nombre del barco, MMSI, señal de llamada, distancia, demora, Tipo de barco, eslora y manga, Posicionamiento Antenas, la Latitud y Longitud buques, el rumbo COG, SOG, ROT, Estado del Buque (En curso, en el ancla, etc.) como podemos observar en la figura 1.2 la vista funcional general del sistema (6).

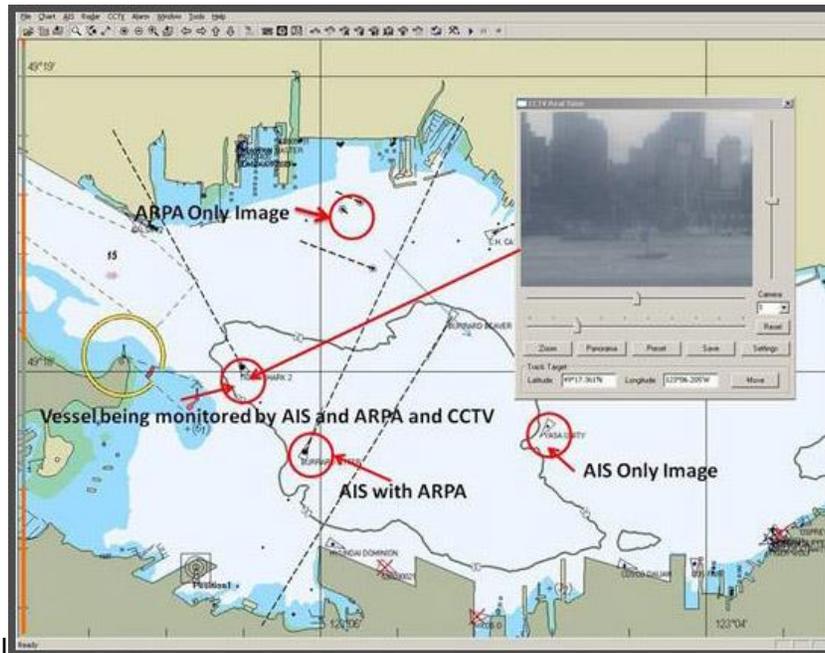


Figura 1.2 Vista funcional del sistema TITAN Sentinel.

### 1.5.3. SAILOR 6150 mini-C Maritime System

El sistema es un terminal único, autónomo y sellado, que aloja tanto la antena y el transceptor. Este enfoque de diseño ha demostrado ser resistente y fiable, especialmente para el uso a bordo de las duras condiciones de un buque de pesca profesional, cuenta con un módulo GPS y antena moni-direccional fijo, lo que es posible conocer la posición incluso en las condiciones más adversas.

El SAILOR 6150 mini-C cuenta con la confianza de socorro marítimo de Inmarsat-C, no importa a donde vaya o lo salvaje del mar, al pulsar el botón de socorro se activa un mensaje de prioridad de socorro transmitida automáticamente a la estación de auxilio más cercana.

Otra característica del SAILOR 6150 mini-C Socorro es que ofrece una serie de funciones avanzadas de rastreo. Con la función de geocercas puede dividir las áreas pertinentes al mar en una serie de zonas geográficas, lo que significa que puede definir zonas especiales de interés en la presentación de informes a intervalos

definidos, así como recibir una alerta cuando la embarcación está fuera de su zona designada.

Mensajes de dos vías; Con el SAILOR 6150 mini-C es fácil de enviar varios tipos de mensajes de texto. Sólo tiene que conectar un PC al terminal y ya está listo para recibir llamadas de grupo o enviar informes de captura en todo momento. También puede intercambiar mensajes de correo electrónico, fax, SMS y mensajes especiales a otros usuarios de Inmarsat-C, en la figura 1.3 observamos los componentes integradores del sistema SAILOR 6150 (7).



Figura 1.3 Componentes del sistema SAILOR 6150.

#### 1.5.4. Skywave IDP-780 Flex

Al usar la red satelital de IsatData Pro, la serie IDP de terminales satelitales y satélite-celular ofrece a los clientes una conexión rápida e inteligente entre los propietarios y los bienes en cualquier parte del mundo, mediante la eficiencia de las redes celulares junto con la amplitud fiable y omnipresente de redes de satélites.

SkyWave Mobile Communications es un proveedor global de comunicaciones de datos inalámbricos para aplicaciones Máquina a Máquina (M2M) del mercado. El nuevo IDP-780 serie de terminales destinado a aplicaciones móviles terrestres por

satélite y ofrece una amplia carga de pago y la capacidad de SIM dual (8) por lo cual puede proporcionar comunicaciones de menor costo sin sacrificar la cobertura.

Este bajo costo es posible debido a que estos terminales utilizan redes de telefonía móvil cuando y donde estén disponibles y sean capaces de cambiar automáticamente a la IsatData Pro servicio satelital cuando el servicio celular no está disponible o es poco fiable.

El IDP-780 tiene la capacidad de soportar un entorno flexible de programación, permitiendo a los clientes a desarrollar sus propias aplicaciones a bordo.

Otras características son que incluyen GPS integrados, múltiples entradas / salidas, interfaces serie, dual SIM, y la opción de último grito de la batería.

Además, el IDP-780 se cuenta con un puerto con el protocolo CANbus activado y por lo tanto puede soportar una variedad de aplicaciones tales como seguimiento de vehículos, sensores, control de telemetría del comportamiento del conductor y del motor, podemos observar la configuración de hardware del sistema (9) en la figura 1.4.



Figura 1.4 Sistema IDP-780 de SkyWave Mobile Communications Inc.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Introducción**

El proyecto sobre el cual hemos trabajado involucra en buena parte la comunicación satelital, por lo tanto, es de suma importancia la selección de la banda de transmisión vía satélite, banda recepción vía satélite, el proveedor de la comunicación de datos así como las características eléctricas y físicas del módulo de comunicación satelital. Para tomar una buena decisión se plantan en la presente sección, los conceptos fundamentales necesarios para la comprensión del contenido general del trabajo.

### **2.2. Generalidades de las comunicaciones satelitales**

A lo largo de la historia de la humanidad la comunicación ha jugado un papel realmente importante, es una de las necesidades primarias del ser humano e imprescindible en el proceso de sobrevivencia de la especie y por lo tanto en el desarrollo tecnológico. Según (10) la seguridad en la navegación ha sido una preocupación primordial para todos los marineros y propietarios a través de la historia debido a la fuerza enorme de la naturaleza. Durante muchos siglos, los marineros navegaban sin información sobre la navegación y las condiciones meteorológicas en el mar.

La forma esferoide de la tierra imposibilita el envío de señales de radio directamente de un punto determinado a otro punto sin línea de vista, una solución sería enviar datos aprovechando la reflexión en las capas de la atmósfera, sin embargo, al usar este método se limita el ancho de banda de las transmisiones debido a que las propiedades de la atmósfera no permiten la reflexión a todas las frecuencias; otra opción consiste en colocar estaciones repetidoras a gran altura a

los que se les llama satélites artificiales, un satélite es un repetidor de ondas de radio en el cielo. Un sistema de satélite consiste de un transponder (en el satélite), modem (transmisor y receptor de la señal del satélite) y una estación terrestre que proporciona las facilidades para transmisión y recepción.

## **2.3. Clasificación de los satélites de acuerdo a su órbita**

Los expertos en satélites utilizan cuatro términos básicos para describir las diversas altitudes, que son los que son: Geosíncronos y No-Geosíncronos, a continuación presentaremos las características de cada una de las órbitas. A continuación se platicará sobre las características de estos.

### **2.3.1. Geosíncronos**

Los satélites GEO se encuentran a 35848 kilómetros sobre el ecuador terrestre y parecen estar siempre sobre el mismo lugar vistos desde la superficie del planeta debido a que tienen el mismo periodo de rotación que la tierra. Tiene la ventaja de que esta órbita necesita menos satélites para cubrir la totalidad de la superficie de la tierra, ya que un solo satélite puede cubrir países enteros (11), y con solo 3 satélites es posible obtener una cobertura casi global con excepción de los polos, sin embargo tienen la desventaja de un retraso mayor en la recepción de la señal que cualquier otra órbita de satélites.

Estos satélites tienen una trayectoria circular, con una velocidad angular igual al de la tierra. En consecuencia, permanecen en una posición fija con un punto específico en la tierra. Una ventaja es que están disponibles todo el tiempo dentro de su cobertura. Una desventaja de este tipo de satélites es que requiere de un equipo de propulsión a bordo para poder mantenerse en una órbita que dura 24 horas. El satélite permanece casi estacionario con respecto a una estación terrestre específica. Consecuentemente, no se requiere equipo para rastreo en las estaciones terrestres, además no hay necesidad de cambiar de un satélite a otro, cuando giran por encima, y por lo tanto no hay rupturas en la transmisión por los tiempos de conmutación, los satélites geosíncronos de alta altitud pueden cubrir áreas de tierra

mucho más grandes que los satélites de baja altitud. Pero las desventajas son que introducen tiempos de propagación más largos, es decir el tiempo de transmisión es más grande que los de órbita baja, además de requerir alta potencia de transmisión y receptores más sensibles debido a las distancias mayores. Se requieren maniobras espaciales de alta presión para la colocación de los satélites geosíncronos en órbita y mantenerlos mediante motores de propulsión, pero precisan menos satélites para cubrir la totalidad de la superficie terrestre.

### **2.3.2. No geosíncronos**

Los satélites orbitales no sincrónicos, giran alrededor de la tierra en un patrón elíptico o circular de baja altitud. Si el satélite está girando en la misma dirección que la rotación de la tierra y a una velocidad angular superior que la de la tierra, la órbita se llama progrado. Si el Satélite se encuentra girando en la dirección opuesta a la rotación de la tierra o en la misma dirección pero con una velocidad menor que la rotación angular de la tierra, la órbita se llama retrógrada.

En consecuencia, los satélites no sincrónicos se encuentran alejándose continuamente o cayendo a la tierra y no permanecen estacionarios en relación a ningún punto en particular de la tierra. Por lo tanto los satélites no sincrónicos se tienen que usar cuando están disponibles lo cual puede ser un periodo corto de tiempo, además se necesitan equipos complicados para el rastreo a los satélites desde las estaciones terrestres sin embargo no necesitan motores de propulsión a bordo del satélite.

Los satélites no geosíncronos se clasifican en MEO (Medium Earth Orbit) y LEO (Low Earth Orbit), que a continuación presentamos.

### **3.2.1. MEO**

Los satélites de órbita terrestre media se encuentran a una altura de entre 10075 y 20150 kilómetros. A diferencia de los GEO, su posición relativa respecto a la superficie no es fija. Al estar a una altitud menor, se necesita un número mayor de

satélites para obtener cobertura mundial, pero la latencia se reduce substancialmente. En la actualidad no existen muchos satélites MEO, y se utilizan para posicionamiento.

### **3.2.2. LEO**

Las órbitas terrestres de baja altura poseen un ancho de banda relativamente excelente y una latencia reducida debido a que se encuentran a bajas alturas (12). Los LEO orbitan generalmente por debajo de los 5035 kilómetros, y la mayoría de ellos se encuentran mucho más abajo, entre los 600 y los 1600 kilómetros.

Tres tipos de LEO manejan diferentes cantidades de ancho de banda. Los LEO pequeños están destinados a aplicaciones de bajo ancho de banda (de decenas a centenares de Kbps), como rastreadores personales, e incluyen a sistemas como ORBCOMM. Los grandes LEO pueden manejar rastreadores personales, servicios de telefonía móvil y algo de transmisión de datos (de cientos a miles de Kbps). Los LEO de banda ancha (también denominados megaLEO) operan en la franja de los Mbps y entre ellos se encuentran TELEDESIC, CELESTRI, SKYBRIDGE.

Además de conocer las órbitas de los satélites artificiales es necesario conocer las compañías que ofrecen comunicación a través de estos satélites, para esto presentamos en la siguiente sección las compañías que ofrecen comunicación a través de sus satélites.

## **2.4. Servicios de comunicación de datos**

Existen multitud de sistemas satelitales, en esta ocasión solamente hablaremos de 3 en particular: IRIDIUM, INMARSAT, ORBCOMM, debido a que son los sistemas más utilizados en alrededor del mundo. A continuación presentamos un breve resumen de las características de dichas redes de satélites.

### **2.4.1. IRIDIUM**

Iridium es una constelación de 66 satélites diseñada por Motorola (13) que giran alrededor de la Tierra en 6 orbitas bajas LEO a una altura aproximada de 780 Km de la tierra. Cada una de las 6 órbitas consta de 11 satélites equidistantes entre sí (14). La constelación Iridium es muy útil para proveer servicios de Telecomunicación Satelital Móvil con cobertura global. El sistema tiene como objetivo proveer comunicación de voz y datos utilizando dispositivos portables en áreas fuera de cobertura de los sistemas de comunicación tradicional como telefonía fija o celular. El sistema IRIDIUM opera en el rango VHF (14).

La constelación Iridium fue diseñada por Motorola para proveer servicios de Telecomunicación Satelital Móvil (TSM) con cobertura global. El sistema tiene como objetivo proveer comunicación de voz y datos utilizando dispositivos portables en áreas fuera de cobertura de los sistemas de comunicación tradicional como telefonía fija o celular.

Este servicio, que está prohibido por razones políticas en Corea del Norte y Sri Lanka, fue puesto en funcionamiento el 1 de noviembre de 1998 y quebró financieramente el agosto de 1999. Actualmente las soluciones de Iridium, que fue comprada y relanzada por nuevos socios, se utilizan activamente en mercados verticales como los petroleros, mineros, ecoturismo y militar.

Iridium lanzó el año 2009 el servicio OpenPort, orientado principalmente al segmento marítimo, el cual permite transmisiones de datos de hasta 128 Kbps con cobertura global. El costo actual de la terminal Openport es aproximadamente 5.500,00 USD y el costo de transmisión/recepción de datos aproximadamente 5,00 USD x Megabyte. A finales del año 2009 Iridium tenía ya vendidas 1000 terminales Openport. Se estima que el sistema Iridium actualmente sobrepasa los 300.000 usuarios.

## 2.4.2. INMARSAT

INMARSAT (International Maritime Satellite Organization) es una organización internacional formado por 54 países (15), que opera un sistema mundial de comunicaciones móviles por satélite. En un principio, se fundó para mejorar las comunicaciones marítimas con objeto de incrementar la seguridad en el mar. Actualmente, además de suministrar servicios de telefonía y transmisión de datos a embarcaciones y plataformas marítimas, aporta también servicios para la comunidad aeronáutica y para los móviles terrestres, cuenta con cobertura global a excepción de los polos (16) como es posible observar en la figura 2.1. El sistema INMARSAT opera en el rango UHF (17).

INMARSAT permite desde enlaces de alta velocidad en operaciones de minería remotas, hasta controlar las maniobras de rescate en algún accidente marítimo; en definitiva, INMARSAT (así como otras organizaciones que proveen comunicaciones globales vía satélite) sienta las bases para el desarrollo y el crecimiento económico de todo el mundo. Además, con el lanzamiento de su tercera generación de satélites, que incorpora lo último en comunicaciones digitales y tecnología multi-haz, así como el desarrollo del proyecto ICO de telefonía móvil vía satélite, Inmarsat permitirá establecer comunicaciones en nuestro proyecto desde cualquier punto de la superficie terráquea a excepción de los polos. En la tabla 2.1 podemos conocer los servicios de transmisión y recepción de datos que ofrece INMARSAT (18).

## Mobile Satellite Communications Worldwide Coverage Map

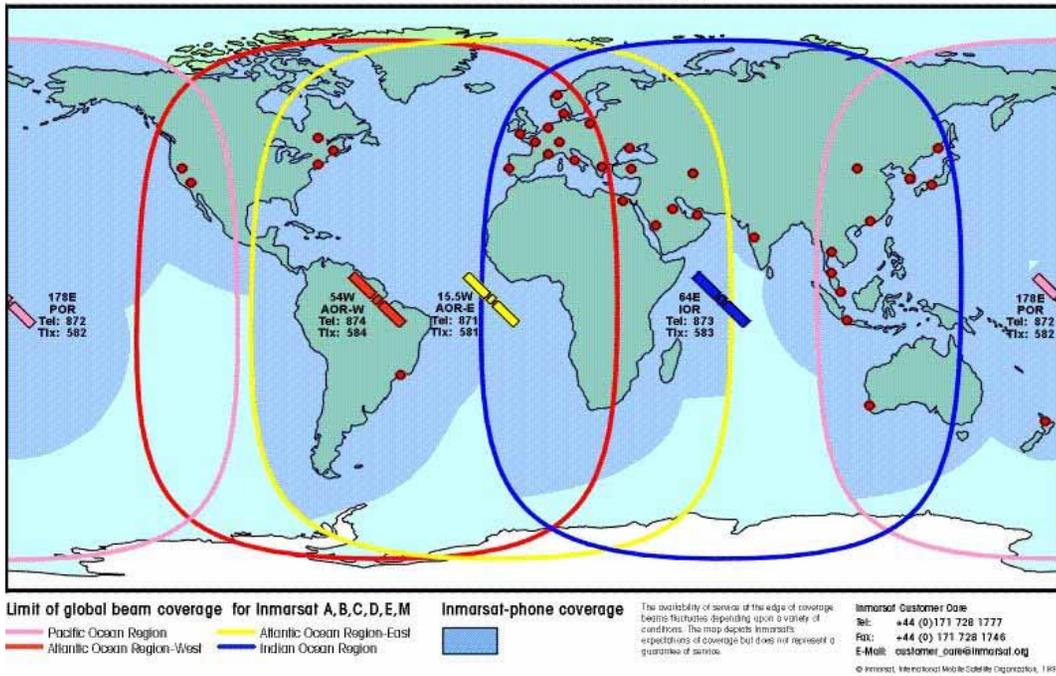


Figura 2.1 Mapa de cobertura de satélites INMARSAT.

Tabla 2.1  
Servicios que ofrece INMARSAT.

Servicios de INMARSAT		
Estándar	Servicios	Versión
Inmarsat-A	Telefonía, fax, télex y datos a 9.6 kbps datos hasta 64 kbps (HSD*). servicio analógico	marítima terrestre
Inmarsat-B	Telefonía, fax grupo 3, télex datos hasta 64 kbps (HSD-high speed data). servicio digital	marítima terrestre
Inmarsat-C	datos a baja velocidad	marítima terrestre
Inmarsat-D/D+	mensajería: unidireccional (Inm-D) bidireccional (Inm-D+)	global
Inmarsat-E	emergencia	global
Inmarsat-M	telefonía, fax grupo 3, datos	marítima terrestre
Inmarsat-P/Mini-M	telefonía, fax grupo 3, datos	global
Inmarsat-Aero	telefonía, fax, datos	aéreo

Para elegir entre los servicios que ofrece INMARSAT, es necesario tomar en cuenta los requerimientos de transmisión de datos específicos de nuestra aplicación, es decir: se requiere contar con información de posición del sistema cada determinado tiempo y de manera esporádica se requiere comunicación de mensajes alfanuméricos de manera bidireccional. Es posible observar que el servicio adecuado para nuestro proyecto es la banda INMARSAT-D+, ya que cuenta con mensajería bidireccional con cobertura global.

## **INMARSAT D+**

Inmarsat-D/D+ ofrece un servicio global de comunicaciones de datos utilizando equipos del tamaño de un reproductor de CD, entró en 1997 en funcionamiento y ofrece ya un servicio bidireccional. Completamente integrado con GPS, es ideal para seguimiento, búsqueda, intercambio de pequeños mensajes y aplicaciones SCADA, puede almacenar y mostrar hasta 40 mensajes de hasta 128 caracteres cada uno. En la dirección base a móvil se ofrecen los siguientes servicios:

- Tono: la base envía un tono entre cuatro niveles de prioridad: prioritario, urgente, normal y no crítico.
- Caracteres numéricos: mensajes de hasta 32 caracteres numéricos o especiales (+, (, X) acompañados con el tono de prioridad.
- Datos: mensajes de hasta 2000 bits junto con la señal de tono. Los datos son transparentes al sistema Inmarsat y su contenido debe estar definido dentro una aplicación del sistema extremo a extremo. El contacto debe hacerse a través del servicio provisto para establecer si esta característica está incorporada dentro de la aplicación bajo consideración.
- Llamada a grupos: el servicio provee la capacidad de enviar mensajes a un grupo de móviles. El móvil requerido deberá disponer de un identificador de grupo además del identificador personal. El móvil receptor no enviará reconocimiento a una llamada de grupo a menos que la aplicación extremo a extremo así lo haya definido.

### **2.4.3. ORBCOMM (Banda VHF- Very High Frequency)**

ORBCOMM es un sistema comercial constituido por una constelación de 36 satélites (19) localizados a aproximadamente 970 km de altitud (20), cuenta con cobertura mundial con el 95% del tiempo conectado con cada usuario (21). El Sistema ORBCOMM es un sistema de comunicación de datos de dos vías, de conmutación de paquetes, de amplia cobertura. Las comunicaciones desde y hacia el

comunicador (SC) a los Gateway ORBCOMM, se realiza a través de una constelación de satélites de órbita baja. El Sistema ORBCOMM, operan en el sector de VHF (Very High Frequency), en el rango del espectro de frecuencias que están aproximadamente a 150 MHz (20). Todas las comunicaciones con el Sistema ORBCOMM deben pasar a través del Gateway ORBCOMM (22). Un Gateway consiste de un Centro de Control de Gateway (GCC), donde se encuentran el software de administración y monitor del tráfico de mensajes, y un Gateway de Estación Terrena (GES), el cual entrega el enlace entre la constelación de satélites y el GCC.

Existen tres elementos del servicio básico que los sistemas ORBCOMM son capaces de entregar:

1. Reporte de datos: Un reporte de datos es el servicio elemental básico para que un SC genere un breve reporte, un paquete sencillo contiene un total menor o igual a 6 bytes de información definida por el usuario.
2. Mensajes: Un Mensaje es el servicio elemental básico para que una secuencia más larga de datos sea transferida. El largo del mensaje es típicamente menor a 100 bytes.
3. Comandos: Este es el servicio básico para comandos cortos, un solo paquete contiene un total menor o igual a 5 bytes de información definida por el usuario.

## **2.5. Banda VHF y UHF**

Esta sección es de primordial importancia debido a que las bandas de frecuencia poseen ciertas características particulares los que las hace adecuadas para ciertas aplicaciones y no adecuadas para otras. Se plantearán las principales características de las bandas UHF y VHF.

### **2.5.1. Características de la banda UHF**

- Menor probabilidad de interferencia con señales de otros equipos de radiofrecuencia, dispositivos digitales, computadoras o cualquier otro equipo electrónico debido a que generalmente emiten ondas de radio menores que las frecuencias en la banda UHF en comparación con la banda VHF.
- Menor atenuación por la lluvia (23) que la banda VHF.
- Menor espacio disponible para la colocación de transceptores, porque debido a que las frecuencias son altas, las longitudes de onda son pequeñas y por lo tanto las antenas son pequeñas y por consiguiente los sistemas de UHF son buenas opciones en situaciones donde las antenas más pequeñas y menos visibles sean muy importantes, como cuando los transmisores deban ocultarse en el cuerpo. UHF también puede ser preferible si deben usarse antenas de alto rendimiento para extender el rango.
- Por último si los equipos inalámbricos se van a usar en situaciones donde es probable que haya otros sistemas inalámbricos presentes, se recomiendan los sistemas de UHF. Esto es porque hay más frecuencias disponibles, reduciendo las probabilidades de interferencia.

### **5.2. Ventajas de la banda de frecuencias VHF**

El hecho de transmitir en la banda VHF tiene la ventaja de que la vida de la batería para los transmisores inalámbricos casi siempre es mejor que para las unidades de UHF similares y respecto a la vida útil de un sistema, los ahorros en los costes en consumo podrían ser muy significativos. Para las instalaciones inalámbricas más grandes, el coste de las antenas, los cables, los divisores de antenas y los pre-amplificadores normalmente es mucho menor en los sistemas de VHF y el rendimiento es generalmente aceptable para cortas distancias (24); El costo extra del equipo de UHF se debe a la necesidad de usar componentes más caros de ultra-alta frecuencia, el mayor número total de componentes requeridos y a la necesidad de técnicas de construcción más costosas.

En resumen, hay una gran diversidad de situaciones donde los sistemas de VHF proporcionarán un excelente rendimiento a precios substancialmente más bajos que para los sistemas de UHF comparables, sin embargo, hay ciertas situaciones en las que los sistemas de banda UHF serán la opción lógica.

## **2.6. Métodos de Múltiple Acceso**

Imaginemos una escena en donde existen varias parejas de personas comunicándose en un mismo cuarto con el mismo timbre de voz, se observa que es imposible separar cada una de las ideas comunicadas a un cierto receptor por un emisor determinado, esto mismo es lo que ocurre con las comunicaciones satelitales, es necesario realizar una distinción para poder comunicar a un gran número de usuarios alrededor del mundo.

Para realizar esto se han diseñado varios sistemas de multiplexado, que básicamente lo que se pretende es realizar la comunicación de varias estaciones terrestres (LES) con un mismo satélite sin interferir en la transmisión de datos, entre los distintos modelos encontramos: TDMA (Time Division Múltiple Access), CDMA (Code Division Múltiple Access), FDMA (Frequency Division Multiple Access). En la Figura 2.2 se observa la conceptualización de dichos métodos (25).

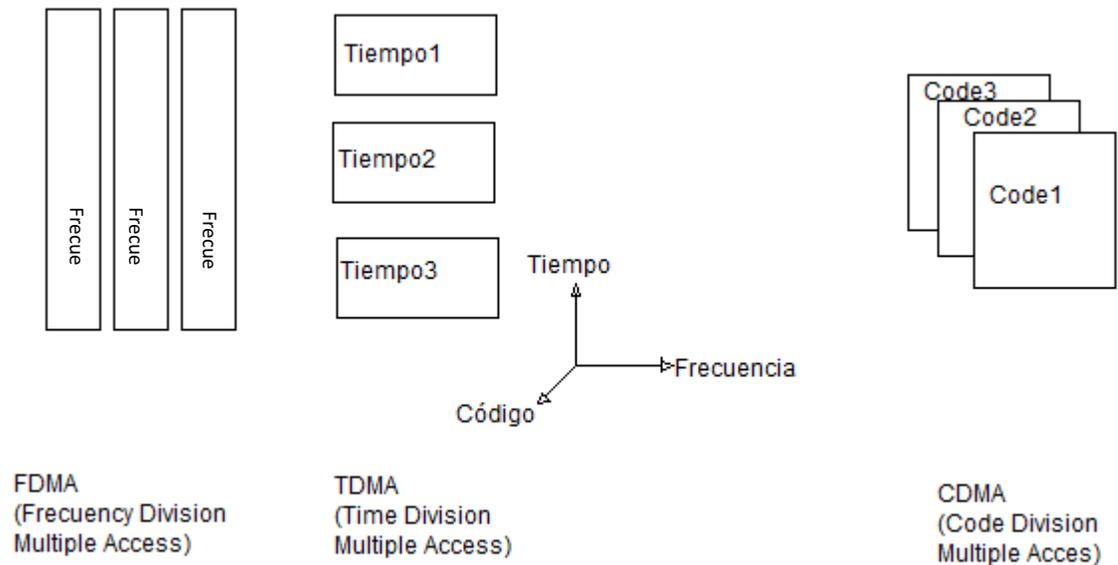


Figura 2.2 Visualización de las distintas técnicas de acceso múltiple.

### 2.6.1. Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA).

Es común que las estaciones terrestres de comunicación (LES) bajo TDMA se encuentren todos en la misma frecuencia y emplean completamente en ancho de banda del canal de radiofrecuencia, si embargo es más complicado de controlar que los otros sistemas de acceso múltiple (11), por medio de este método, se evita la interferencia entre varias estaciones que se encuentran en la misma frecuencia sincronizando las transmisiones de manera que no se activen 2 al mismo tiempo, es decir a cada estación se le asigna un periodo de tiempo de transmisión específica, durante este intervalo de tiempo pueden transmitir de la forma que quiera la estación y una vez acabado el tiempo ya no puede trasmitir ya que le tocará a otra estación y tendrá que esperar a que de nuevo tenga la oportunidad. Observe figura 2.3 para mayor comprensión (17).

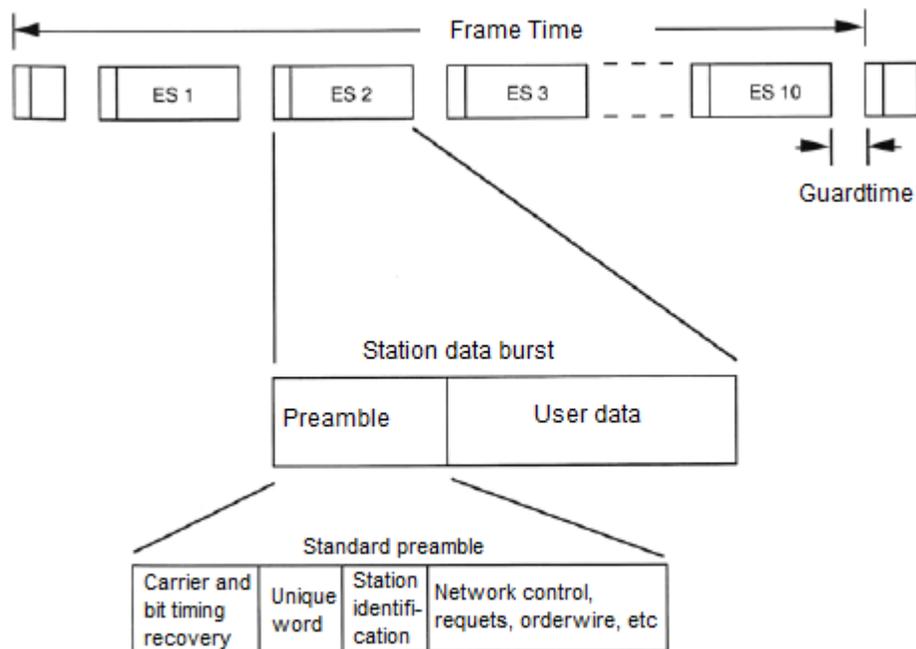


Figura 2.3 Conceptualización del sistema de codificación TDMA.

### 2.6.2. Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)

También llamado técnica de acceso múltiple de espectro expandido, debido a que el ancho de banda de la señal emitida es mayor que la señal de datos del usuario. Básicamente esta técnica consiste en aplicar una función XOR entre la señal emitida por el usuario y una señal que identifica al usuario y mediante esta señal ID es posible extraer la señal del emisor, existen 2 tipos de CDMA: CDMA síncrono y CDMA asíncrono.

En el CDMA síncrono se aprovecha la propiedad de ortogonalidad de los vectores, ya que a cada usuario se le asigna una señal ortogonal a otros usuarios y de esta manera es posible extraer los datos enviados por cada usuario del resto de información de otros emisores.

El CDMA asíncrono surge del problema de que en las comunicaciones surgen retardos excesivos que son muy difíciles de controlar y que el CDMA síncrono no

logra manejar. La diferencia radica en que la señal añadida a la trama de datos del usuario es una secuencia pseudoaleatoria, es decir que aparentemente no tienen secuencia lógica sin embargo si se aplican algoritmos se pueden llegar a dichas secuencias. En este tipo de multiplexado la contribución de los demás usuarios aparece como ruido en la señal del emisor de interés, a este ruido se le conoce como MAI (Multiple Access Interference). La ventaja de este tipo de multiplexado radica en que debido a que las secuencias son aparentemente aleatorias con un ancho de banda amplio provoca que sean difíciles de detectar en caso de que algún extraño quisiera conocer los datos enviados ya que aparentemente se encuentra captando ruido, la conceptualización de este método se presenta en la figura 2.4 (17).

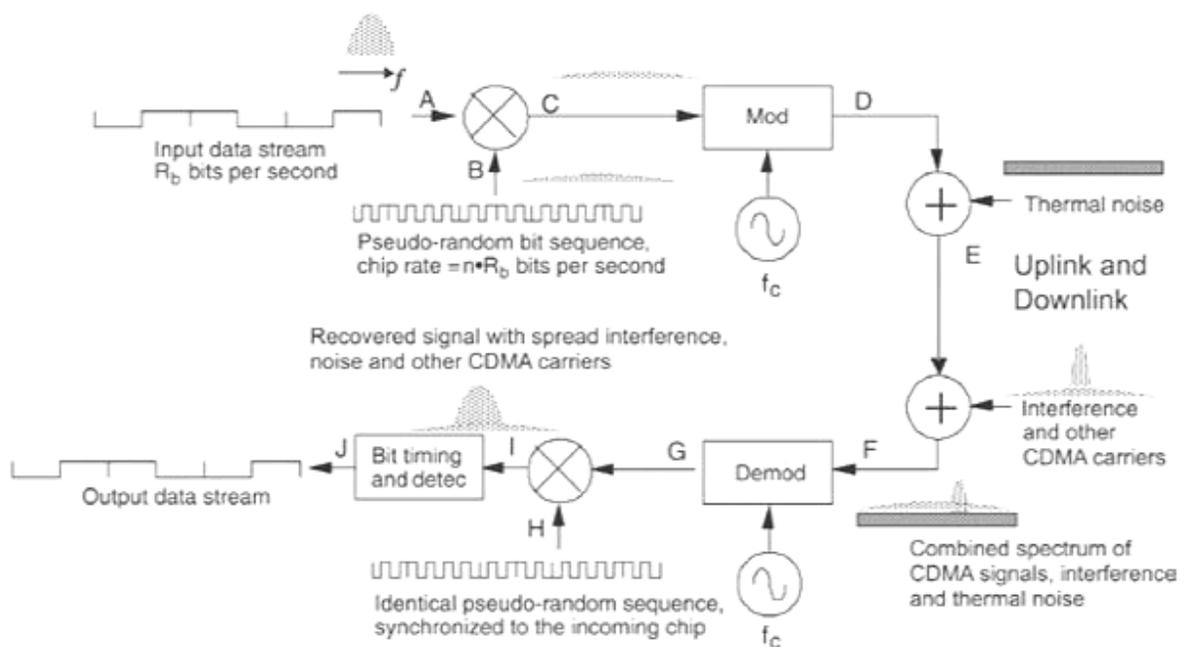


Figura 2.4 Proceso de codificación y decodificación por medio de CDMA.

### 2.6.3. Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)

En este método, el acceso al sistema de recepción se realiza dividiendo el espectro de frecuencias, asignando a cada emisor una frecuencia determinada,

posteriormente en el receptor se aplican filtros de frecuencia para separar la señal de cada usuario de acuerdo a las frecuencias asignadas (17) como podemos observar en la figura 2.5.

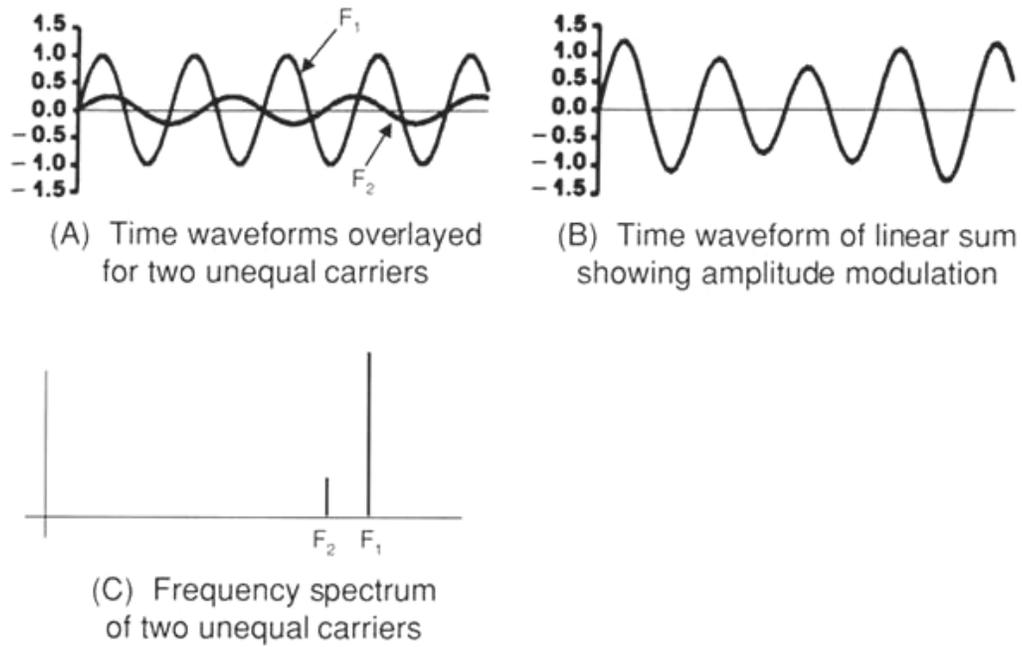


Figura 2.5 Conceptualización del método de acceso por división de frecuencia.

### **3. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES**

#### **3.1. Generalidades**

Nuestro proyecto tiene como objetivo la implementación de un sistema de seguridad y monitoreo de embarcaciones de flota menor en la península de Yucatán localizado en el sureste de México, para la selección de los componentes electrónicos se presentan las características específicas siguientes inherentes al funcionamiento del dispositivo KAXAN-HA:

- Capacidad de comunicación en situaciones de emergencia.
- Localizador GPS.
- Cobertura global para el sistema satelital.
- Rapidez de respuesta en caso de emergencia.
- Sistema de bajo costo.
- Comunicación RS232 o USB
- Entradas Analógicas
- Entradas Digitales
- Memoria ROM

#### **3.2. Proveedor de comunicación de datos vía satélite**

En base al contenido en la sección de marco teórico, específicamente en “2.4 Proveedor de servicio de datos” y después de realizar un análisis exhaustivo de las ventajas, desventajas y costos de cada proveedor, se determinó que el sistema INMARSAT cumple con los requerimientos de diseño planteados en la sección 3.1 debido a que:

- El sistema INMARSAT D+ opera en el rango UHF en la banda L de sistemas satelitales

- con una órbita geosíncrona por lo tanto a pesar de que el presente proyecto se implementó en el medio marino del sureste de México es posible su extensión a cualquier parte del mundo a excepción de los polos.
- Amplia experiencia en el campo de las comunicaciones marítimas.

Una vez seleccionado el proveedor se prosigue a la selección del servicio particular de dicho proveedor y después de las características anteriormente presentadas en la sección 2.4.2, se define que la banda a utilizar es la INMARSAT-D+ que funciona en la frecuencia de subida en el intervalo 1626.5 a 1660.5 MHz y en la bajada en el intervalo 1525.0 a 1559.0 MHz en la órbita geosíncrona y en la banda de frecuencias de UHF y servicio de datos de manera bidireccional.

### **3.3. Módulo Micro-controlador**

Los microcontroladores juegan un papel realmente importante en los sistemas de comunicación, es nuestro caso, para llevar a cabo nuestro proyecto es necesario tomar la decisión cuál de los microcontroladores disponibles en el mercado es el adecuado para cada una de las necesidades de este proyecto. Después de analizar las opciones de ATMEL, CYPRES, MOTOROLA y MICROCHIP, se decidió utilizar un PIC 18F6627 del fabricante MICROCHIP. Debido a que es el que más se ajustaba a las necesidades del proyecto como es el costo, capacidad de procesamiento, velocidad de ejecución de instrucciones, etc.

Entre las características del por las que se eligió el PIC18F6627 que es:

- Ideal para gran y baja potencia,
- aplicaciones de conectividad que se benefician de la disponibilidad de cuatro puertos seriales: dos puertos síncronos en serie (I2C <sup>™</sup> y SPI <sup>™</sup>) y dos asíncronos.

- Gran cantidad de memoria RAM para buffer y memoria FLASH, lo que lo hacen ideal para paneles de instrumentación
- TCP / IP para medición y control industrial.
- frecuencia de operación de hasta 40 MHz.
- En la tabla 3.1 podemos observar las características técnicas específicas del PIC18F6627:

Tabla 3.1

Características del PIC18F6627 de Microchip **(26)**.

Parameter Name	Value
Tipo de memoria de programa	Flash
Memoria de programa (KB)	96
Velocidad de CPU (MIPS)	10
RAM Bytes	3,936
EEPROM (bytes)	1024
Periféricos de comunicación digital	2-A/E/USART, 2-MSSP(SPI/I2C)
Periféricos de captura/comparación/PWM	2 CCP, 3 ECCP
Timers	2 x 8-bit, 3 x 16-bit
ADC	12 ch, 10-bit
Comparadores	2
Rangos de temperatura (C)	-40 to 125
Voltaje de operación (V)	2 to 5.5
Numero de pines	64

Observamos la configuración de pines del micro-controlador PIC18F6627 (27).

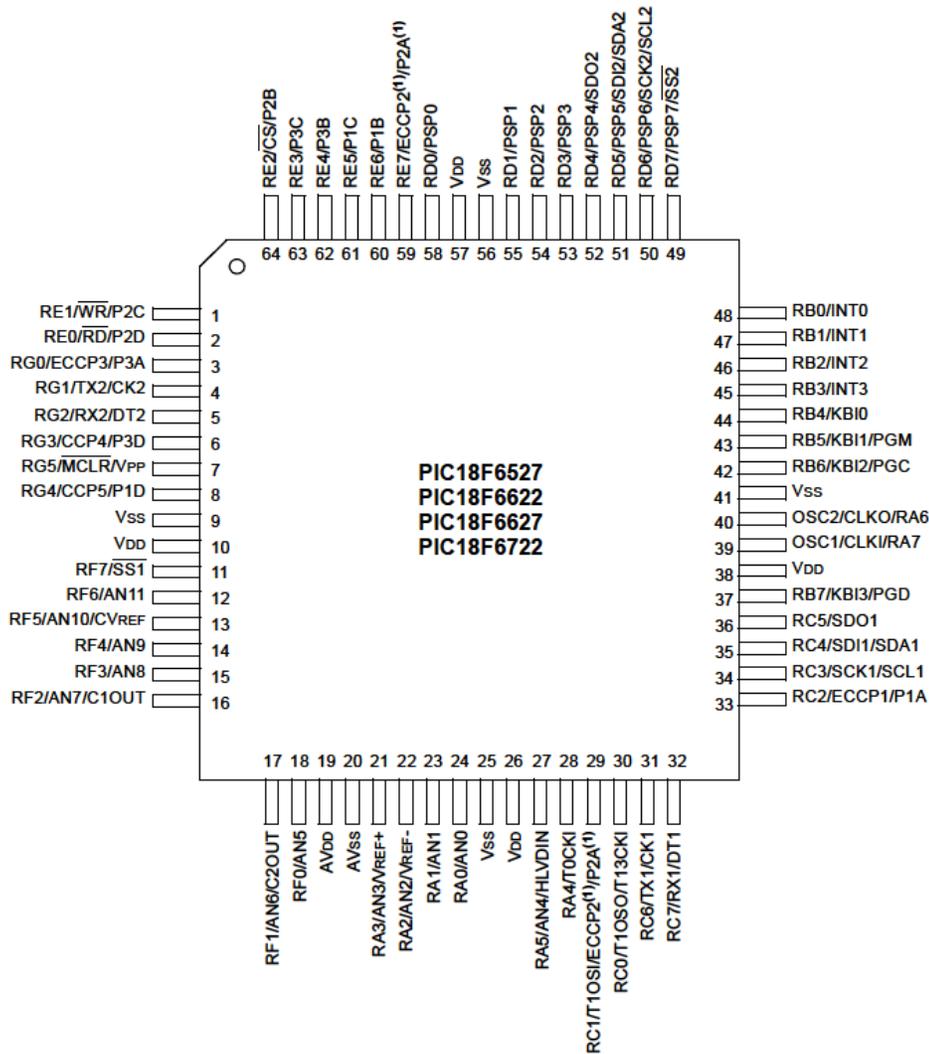


Figura 3.1 Configuración de pines del PIC18F6627.

### 3.4. Módulo transceptor

Del catálogo de dispositivos en el mercado se seleccionó el dispositivo DMR-800D OEM (28) ver figura 3.2, que opera en la red global IsatM2M de SkyWave bajo la comunicación datos de INMARSAT, este dispositivo ofrece a los clientes que desean rastrear, monitorear y controlar bienes remotos fijos y móviles una solución a

bajo costo que consiste en un terminal y una red que son fáciles de utilizar, instalar y mantener. Además de una comunicación confiable de dos vías, cobertura en 5 regiones oceánicas, baja latencia y bajos costos de configuración e instalación, es ideal para aplicaciones que varían de la gerencia de flotas a la telemetría de control supervisado y adquisición de datos.



Figura 3.2 DMR 800D OEM.

Entre las características mas importantes del DMR800D OEM se encuentran:

- Comunicaciones bi-direccionales permiten comunicación a y desde el bien para las operaciones de rastreo, monitoreo y control.
- Cobertura global ininterrumpida basada en la constelación satelital de Inmarsat significa que el DMR-800D es una solución verdaderamente global.
- Interfaz personalizada y fácil de programar permite clientes de llegar al mercado de manera más rápida.
- Baja latencia del mensaje ideal para las aplicaciones que requieran comunicación inmediata hasta y desde un bien. Sin largas demoras.

- Reportes originados por excepciones permiten al usuario de estar informado de eventos específicos y mantener bajos los costos de mensajería.

- Bajo consumo de energía extiende la vida de la batería.

- Puertos de entrada/salida discretos expanden la productividad del terminal, habilitando el monitoreo y control de aparatos locales.

- Opciones de mensajería permiten que el cliente escoja el tamaño más apropiado del mensaje para su aplicación y presupuesto.

- Planes de facturación flexibles con bajos costos mensuales y competitivos precios por mensaje hacen al DMR-800D ideal para una variedad de aplicaciones de monitoreo remoto.

- La instalación y mantenimiento fáciles reducen los costos de despliegue y operación.

- Programación vía aire (OTA programming) asegura una fácil y rápida adaptación y configuración tan pronto como el bien se despliegue sin el gasto de enviar a un técnico.

Para conocer las características técnicas de este dispositivo observamos la tabla 3.2, obtenido de (28).

Tabla 3.2

Características técnicas del DMR800D OEM de Skywave Communications Inc..

Terminal DMR-800D OEM	
DIMENSIONES	
Tamaño	160 mm x 47mm
Peso	500 g
TOLERANCIA AMBIENTAL	
Temperatura de funcionamiento	-40°C a +70°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C a +85°C
Humedad	95% humedad relativa a +30°C sin condensación
Vibración	5-20 Hz; 1.92 m/s <sup>2</sup> ruido aleatorio 20 500 Hz:-3dB octava ruido aleatorio
Impacto(supervivencia)	Medio seno 6ms,300 m/s <sup>2</sup>
TOLERANCIA ELÉCTRICA	
Tensión a la entrada	9 VDC a 32 VDC
Consumo de energía(A 12VDC)	Transmisión: 10W Recepción(GPS activo): 0.9W Inactivo:3mW
COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE	
Frecuencia	Rx:1525 a 1559 MHz 32 FSK Tx: 1626.5 a 1660.5; 2FSK
EIRP	9 dBW máximo
Ángulo de elevación	0 a +90 grados
GPS	
Canales	16 canales; 1575.42 MHz
Tiempo de adquisición	Arranque en frío 34s
Precisión	2.5m CEP; 5.0 SEP
INTERFASES EXTERNAS	
Serial	RS232: interfaz de la consola acceso protegido por contraseña
Análogo/digital	4 puertos de entrada/salida configurables por software
CAPACIDADES DE PROGRAMACIÓN	
Lógica de script	

### 3.5. Módulo GPS

El módulo GPS utilizado para este proyecto es el UBLOX NEO-6M-0-001 que es el que se encuentra integrado al módulo transceptor DMR800D, la serie NEO-6 módulo aporta un alto rendimiento al monitoreo de posición en un circuito en miniatura lo que lo hace ideal para productos finales de mercado masivo con estrictos requisitos de costos y dimensiones, además ha sido diseñado para un bajo consumo y una administración inteligente de energía para una gran cantidad de aplicaciones con fuentes independientes de energía, en la figura 3.3 observamos la presentación de este dispositivo (29).

En cuanto a las especificaciones técnicas encontramos:

- Interface UART, USB, DDC (compatible con I2C) y SPI
- Alimentación de 1.8 y 3V.
- Administración de energía configurable.
- Fácil migración de la familia NEO-5 familia o NEO-4SB.
- Compatible con la solución de u-blox GPS para Android.
- Fabricado en ISO / TS 16949 sitios certificados
- Certificación según la norma ISO 16750.



Figura 3.3 Presentación de GPS NEO-6M.

## 4. DESARROLLO DE ALGORITMOS

En el presente capítulo se describe el desarrollo de los algoritmos para los módulos integrantes del dispositivo KAXAN-HA con la finalidad de una correcta operación y ejecución de funciones fundamentales de tal dispositivo, como son la trama de datos a enviar tanto vía GSM como satelital, decodificación de dicha trama, firmware de módulo microcontrolador así como el firmware del módulo transceptor satelital.

### 4.1. Módulo Micro-controlador

Se presentan los algoritmos implementados en el micro-controlador PIC18F6627, esto debido a que el micro-controlador es el elemento central de proceso de toma de decisiones para el correcto funcionamiento del dispositivo KAXAN-HA, es decir que el micro-controlador tomará las decisiones dependiendo de las condiciones de entrada que pueden ser *timers*, entradas digitales, salidas digitales, etc.

#### 4.1.1. Generalidades de desarrollo.

Las funciones que desempeñará el módulo micro-controlador son las siguientes:

- Comunicación RS232 entre DMR800D OEM y el PIC18F627 para obtener datos de GPS así como reiniciar este sistema en caso de ocurrir errores inesperados en el funcionamiento del sistema completo.
- Enviar reporte de posición vía red GSM, este reporte contendrá información de: coordenada geográfica de latitud en segundos, coordenada geográfica de longitud en segundos, fecha de envío de reporte, hora de envío de reporte, nivel de carga de batería principal, medición de aceleración mediante acelerómetro, medición de orientación obtenida mediante acelerómetros, datos de sensores de temperatura y salinidad obtenidos mediante protocolo NMEA cabe

resaltar que la obtención y procesamiento de los datos de acelerómetros y sensores mediante comunicación NMEA no se abarcan en el presente documento, solamente se presenta el diseño de la organización de estos datos.

- Enviar reporte de posición vía satélite de forma periódica en intervalos de 30 minutos en caso de que no este disponible la red GSM, este reporte contendrá información de: coordenada geográfica de latitud en segundos, coordenada geográfica de longitud en segundos, fecha de envío de reporte, hora de envío de reporte, nivel de carga de batería principal, bit de solicitud de emergencia.
- Ejecutar proceso de direccionamiento de embarcaciones hacia un punto determinado por coordenadas geográficas, estas coordenadas son dadas como latitud y longitud en unidades de segundos. Este proceso de direccionamiento se activará cuando a un KAXAN instalado en una embarcación le llegue un mensaje con el formato "M1,latitud,longitud," el micro-controlador se encargará de decodificar el tipo de mensaje, la latitud destino, la longitud destino, las coordenadas de la embarcación presente mediante el módulo GPS, etc, con la finalidad de realizar las operaciones matemáticas y lógicas necesarias para posteriormente calcular el rumbo necesario para llegar al punto de las coordenadas especificadas, una vez completados estos cálculos se procede a mostrarlo en pantalla, con el objetivo de que el operador de la embarcación tome las acciones apropiadas de maniobra en base a la información mostrada en la pantalla del dispositivos KAXAN-HA.
- Ejecutar comandos de reinicio del módulo de comunicación satelital DMR800D OEM de Skywave en caso de ser necesario cuando se produzca un error posible de sincronización de comunicación entre el PIC y el transceptor satelital.
- Presentar en pantalla "mensajes especiales" estos mensajes son del tipo texto que la base de comunicaciones en tierra envía como

notificaciones en casos necesarios sobre cualquier índole como puede ser notificaciones del clima, notificaciones de violación de cercas, etc.

#### 4.1.2. Comunicación RS232-UART

Este protocolo de comunicación es implementado mediante una comunicación UART por software mediante el siguiente diagrama de flujo, figura 4.1:

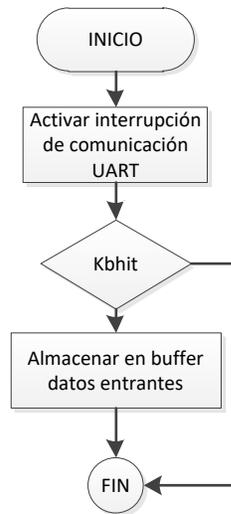


Figura 4.1 Diagrama de flujo para sistema de comunicación UART por software.

Esta comunicación se implementó en base al contenido de la referencia (30) para realizar la decodificación de la trama enviado y recibido vía UART del micro controlador y el puerto RS232 de la terminal DMR800D OEM.

#### 4.1.3. Envío de información vía GSM.

El primer paso para lograr el envío de información vía GSM es la definición de la trama de caracteres para la transmisión de datos, ya que es de vital importancia

para el logro del objetivo de conseguir una comunicación con los dispositivos de rastreo y monitoreo en embarcaciones pesqueras de flota menor, a continuación presentamos la trama para transmisión GSM y otra para medio Satelital debido a que los costos de transmisión son muy diferentes para cada uno de los casos.

Para la definición de la trama se consideran los siguientes apartados:

- Latitud: Conformado por 6 caracteres enteros con signo expresando la latitud en segundos, los número positivos representan latitud norte y los negativos latitud sur. El formato es **LLLLLL**, se observa que se agrega una “coma” al final para separar las partes del la trama del mensaje.
- longitud: Conformado por 6 caracteres enteros con signo expresando la latitud en segundos, los número positivos representan latitud norte y los negativos latitud sur. El formato es **LLLLLL**, se observa que se agrega una “coma” al final para separar las partes del la trama del mensaje.
- Fecha: se expresa en formato DDMMYY son 6 caracteres.
- Hora: se expresa con 4 caracteres que indican el tiempo GPS respecto a GTM. El formato es **HHMM**, se observa que se agrega una “coma” al final para separar las partes del la trama del mensaje.
- Estado de baterías: 5 caracteres en mili volts indicado por un número con el formato **BBBBB**,
- Aceleración: formado por la combinación de la aceleración en 3 ejes cartesianos: X, Y, Z, donde la aceleración en cada uno de los ejes se expresa por un número de 4 bytes con signo añadiendo comas para la separación, por lo tanto el formato es el siguiente: **+XXXX,+YYYY,+ZZZZ**, en resumen se encuentra conformado por 18 caracteres incluyendo signo y comas de separación.
- Orientación respecto al polo norte magnético: formado por la combinación de la aceleración en 3 ejes cartesianos: X, Y, Z, donde la aceleración en cada uno de los ejes se expresa por un número de 4 bytes con signo añadiendo comas para la separación, por lo tanto el formato es el siguiente:

**+XXXX,+YYYY,+ZZZZ**, en resumen se encuentra conformado por 18 caracteres incluyendo signo y comas de separación.

- Datos extras relacionados con mediciones ambientales. De acuerdo con el formato de datos NMEA, la longitud máxima es de 82 caracteres.

A continuación (figura 4.1) se plasma la definición anterior de los elementos contenidos en la trama de caracteres:

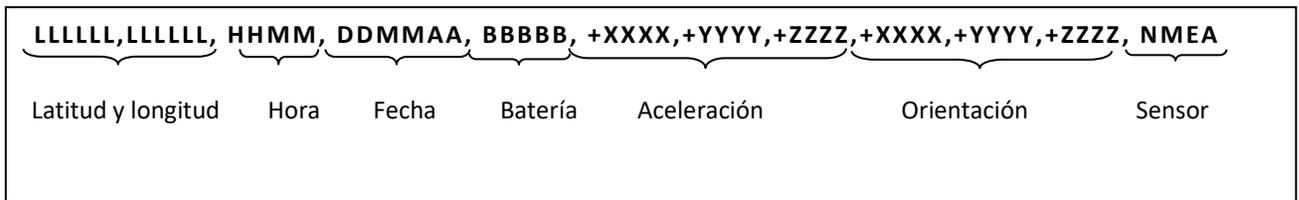


Figura 4.2 Estructura de trama de comunicación vía GSM

En base a lo anterior se cuentan los caracteres (Tabla 4.1):

Tabla 4.1

Cuantificación de caracteres para la trama de comunicación vía GSM

Descripción		Dimensión
Comas		11
longitud, latitud		12
Hora		4
Fecha		6
Batería		5
Brújula(acceleración y orientación)		30
	=	68
Caracteres extras NMEA	+	82
	=	150

En total se necesitan 150 caracteres para el envío de datos por GSM incluyendo datos en formato NMEA. Este mensaje se ensambla leyendo por separado cada uno de los registros del módulo DMR correspondientes a latitud, longitud, hora, fecha, hora estos registros se encuentran especificados en el documento de referencia (31). Los datos correspondientes a Brújula, NMEA y Batería se obtienen accediendo a los respectivos puertos del micro controlador, no se presentan debido a que no se abarcan en este documento.

#### **4.1.4. Secuencia de envío de datos vía red GSM**

Una vez definidos los datos a enviar se procede a diseñar el proceso de transmisión, este mensaje es enviado en intervalos de tiempo de 30 minutos, para enviar este mensaje el micro controlador debe activar el modo de operación del módulo GPS del DMR800D OEM mediante la activación de las salidas en modo de alto consumo y una vez realizado esto acceder a los registros del transceptor correspondientes datos de la trama definidos anteriormente y posteriormente ensamblar el mensaje con estos datos adquiridos y enviarlos vía GSM, este proceso se describe en el siguiente diagrama de flujo Figura 4.3.

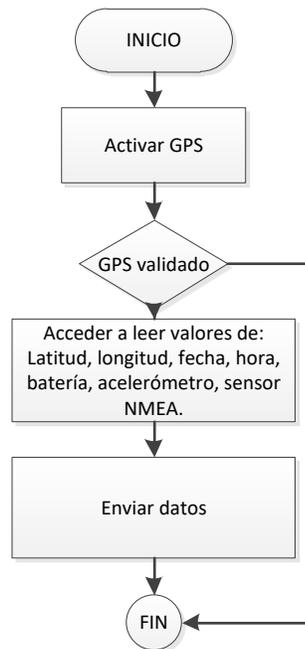


Figura 4.3 Diagrama de flujo para envío de mensaje vía GSM

#### 4.1.5. Envío de datos vía satélite

Este proceso consiste en enviar vía satélite reportes de posición al ejecutar un comando vía RS232 al sistema transceptor DMR800D OEM, este comando corresponde al envío de POLL que es definido en el kit de desarrollador de la compañía Skywave puede consultar la referencia (31) para una mayor comprensión.

#### 4.1.6. Direccionamiento de embarcación.

El algoritmo de direccionamiento es parte fundamental del dispositivo KAXAN-HA. La función de este algoritmo consiste en dotar al KAXAN-HA la capacidad de poder localizar y ejecutar notificaciones para la ubicación y rescate de embarcaciones que cuenten con KAXAN-HA instaladas previamente y que haya solicitado rescate mediante la activación del botón de emergencia del KAXAN-HA. El proceso es el siguiente, una embarcación A solicita auxilio mediante el KAXAN-HA, a otras embarcaciones B,C, y D son notificadas sobre las coordenadas de la embarcación A y su situación de emergencia mediante sus propios KAXAN-HA

instaladas, esta información de las coordenadas de A es almacenada en las memorias de los micro-controladores de cada uno de los KAXAN-HA de B,C y D, el micro controlador activa el modo de alto consumo lo que implica que el GPS se encuentra activo para que las embarcaciones B,C y D tengan acceso a sus propias coordenadas para poder tener hasta el momento la coordenada de la embarcación a la que le llega el mensaje de solicitud de auxilio y las coordenadas de la embarcación que se encuentra bajo situación de riesgo. Posteriormente el micro-controlador de las embarcaciones B, C y D ejecuta secuencias de cálculo de distancia y dirección que serán desplegadas en pantalla LCD para que los operadores de las embarcaciones B, C y D puedan tomar las medidas apropiadas de conducción hasta llegar el punto donde se encuentre la embarcación A.

Ahora se presentará el modelo matemático deducido para estimar la distancia y orientación que es necesario tomar, usando el módulo GPS antes descrito en la sección 3.5.

Tomemos dos puntos A y B sobre la tierra, el punto A se considera como el punto en el cual se encuentra la embarcación que irá en auxilio de la embarcación que ha ejecutado el proceso de solicitud de auxilio mediante el botón de pánico (punto B),

Presentamos la ecuación de excentricidad del modelo elipsoide propuesto en WGS84 (32) podemos encontrar los valores de distancia de semieje mayor y menor respectivamente  $a=6378137.0$  m,  $c=6356752.3$  m, para un modelo elipsoide se presenta lo siguiente:

$$f = (a - c)/a; \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

$a$ = semieje mayor del elipsoide modelo en modelo de referencia WGS84 dado en metros.

$c$ = semieje menor del elipsoide modelo en modelo de referencia WGS84 dado en metros.

Definimos para futuro cálculos en este proceso, las siguientes variables:

***latitudA***= coordenada geográfica de latitud del punto A dado en segundos

***longitudA***= coordenada geográfica de longitud del punto A dado en segundos

***latitudB***= coordenada geográfica de latitud del punto B dado en segundos

***longitudB***= coordenada geográfica de longitud del punto B dado en segundos

A continuación se presenta una conversión de unidades de segundos a radianes de las coordenadas tanto longitud como latitud:

$$\mathbf{\theta_{GeographicA}} = \left( \left( \frac{1}{3600} \right) * \mathbf{latitudA} \right) * \frac{\pi}{180} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$\mathbf{\omega_{GeographicA}} = \left( \left( \frac{1}{3600} \right) * \mathbf{longitudA} \right) * \frac{\pi}{180} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$\mathbf{\theta_{GeographicB}} = \left( \left( \frac{1}{3600} \right) * \mathbf{latitudB} \right) * \frac{\pi}{180} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$\mathbf{\omega_{GeographicB}} = \left( \left( \frac{1}{3600} \right) * \mathbf{longitudB} \right) * \frac{\pi}{180} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Donde:

***thetaGeographicA***=latitud geocéntrica dada en radianes del punto A

***omegaGeographicA***=longitud geocéntrica dada en radianes del punto A

Se presenta una conversión de coordenadas geográficas del punto A y B a coordenadas geocéntricas mediante las siguientes ecuaciones usando los valores obtenidos anteriormente para la componente de latitud y longitud (33):

$$\mathbf{\theta A} = \mathbf{atan}((1 - f)^2 * \mathbf{tan}(\mathbf{\theta_{GeographicA}})) \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$\mathbf{\theta B} = \mathbf{atan}((1 - f)^2 * \mathbf{tan}(\mathbf{\theta_{GeographicB}})) \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$\mathbf{\omega_A = \omega_{GeographicA}} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$\mathbf{\omega_B = \omega_{GeographicB}} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Donde:

$\mathbf{\theta_A}$ =coordenada geocéntricas de latitud en unidades de radianes del punto A.

$\mathbf{\theta_B}$ =coordenada geocéntricas de latitud en unidades de radianes del punto B

$\mathbf{\omega_A}$ =coordenada geocéntricas de longitud en unidades de radianes del punto A.

$\mathbf{\omega_B}$ =coordenada geocéntricas de longitud en unidades de radianes del punto B.

Se prosigue al cálculo de coordenadas de los puntos A y B en coordenadas cartesianas **(33)**:

$$\mathbf{Ax = R * \cos(\theta_A) * \cos(\omega_A)} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$\mathbf{Ay = R * \cos(\theta_A) * \sin(\omega_A)} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

$$\mathbf{Az = R * \sin(\theta_A)} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

$$\mathbf{Bx = R * \cos(\theta_B) * \cos(\omega_B)} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

$$\mathbf{By = R * \cos(\theta_B) * \sin(\omega_B)} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

$$\mathbf{Bz = R * \sin(\theta_B)} \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Donde

$\mathbf{Ax}$ =coordenada cartesiana correspondiente al eje "X" del punto A;

$\mathbf{Ay}$ =coordenada cartesiana correspondiente al eje "Y" del punto A;

$\mathbf{Az}$ =coordenada cartesiana correspondiente al eje "Z" del punto A;

$\mathbf{Bx}$ =coordenada cartesiana correspondiente al eje "X" del punto B;

$\mathbf{By}$ =coordenada cartesiana correspondiente al eje "Y" del punto B;

$\mathbf{Bz}$ =coordenada cartesiana correspondiente al eje "Z" del punto B;

Usando un modelo esférico de la tierra:

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Se crea creando un plano de intersección que contenga los puntos A y B con la esfera definida en la ecuación anterior:

$$\alpha * x - \beta * y + \gamma * z = 0 \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Donde

$$\alpha = A_y * B_z - A_z * B_y \quad \text{Ecuación 4.18}$$

$$\beta = A_x * B_z - A_z * B_x \quad \text{Ecuación 4.19}$$

$$\gamma = A_x * B_y - A_y * B_x \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Se plantean las siguientes ecuaciones paramétricas que serán el resultado de la intersección del plano creado anteriormente con la ecuación de modelo esférico de la tierra:

$$x = E * \sin(t) \quad \text{Ecuación 4.21}$$

$$y = G * \cos(t) + H * \sin(t) \quad \text{Ecuación 4.22}$$

En las ecuaciones anteriores observamos que existen constantes indeterminadas  $E$ ,  $G$  y  $H$  sin embargo es posible calcularlas posteriormente.

Usando las ecuaciones paramétricas anteriores, el modelo esférico de la tierra y las coordenadas cartesianas de los puntos A y B, es posible encontrar la ecuación de la curva resultante de la intersección del modelo esférico de la tierra y el plano formado por los puntos A, B y el centro geométrico de la tierra, que a continuación se presenta:

$$E^2 * \sin(t)^2 + (G * \cos(t) + H * \sin(t))^2 + \frac{(\alpha * E * \sin(t) - \beta * (G * \cos(t) + H * \sin(t)))^2}{\gamma^2} = R^2 \quad \text{Ecuación 4.23}$$

De la ecuación anterior podemos calcular las siguientes constantes:

$$E = \sqrt{(\gamma^2 + \beta^2 + \alpha^2) * (\gamma^2 + \beta^2)} * \frac{R}{\gamma^2 + \beta^2 + \alpha^2} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

$$G = \gamma * \frac{R}{\sqrt{\gamma^2 + \beta^2}} \quad \text{Ecuación 4.25}$$

$$H = \alpha * E * \frac{\beta}{\gamma^2 + \beta^2} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Conociendo las constantes  $E$ ,  $G$ ,  $H$  (Ecuaciones 4.24, 4.25, 4.26) anteriores solo falta variar los valores de "t" dependiendo de los puntos A y B, este valor nos servirá para calcular la distancia que existe desde el punto A al B, pero para conocer esta distancia es importante determinar las condiciones de frontera y evaluar una integral que nos conduce a obtener la distancia. Entonces usando la ecuaciones paramétricas definida en las ecuaciones 4.17, 4.21, 4.22 podemos plantear para el punto A:

$$Ax = E * \sin(tA) \quad \text{Ecuación 4.27}$$

$$Ay = G * \cos(tA) + H * \sin(tA) \quad \text{Ecuación 4.28}$$

$$Az = - \frac{\alpha * E * \sin(tA) - \beta * (G * \cos(tA) + H * \sin(tA))}{\gamma} \quad \text{Ecuación 4.29}$$

De donde podemos definir las condiciones de frontera:

$$tA = \frac{Az * E * \gamma - \beta * Ay * E + \beta * H * Ax}{E * (-\alpha * E + \beta * H)} \quad \text{Ecuación 4.30}$$

$$tB = \frac{Bz * E * \text{gama} - \text{beta} * By * E + \text{beta} * H * Bx}{E * (-\text{alpha} * E + \text{beta} * H)} \quad \text{Ecuación 4.31}$$

Entonces ya se conocen los puntos inicial y final de evaluación distancia a lo largo de una curva según  $L = \int_{tA}^{tB} \sqrt{A * \cos(t)^2 + B * \cos(t) * \sin(t) + C} dt$  Ecuación 4.32 se plantea dicha integral:

$$L = \int_{tA}^{tB} \sqrt{A * \cos(t)^2 + B * \cos(t) * \sin(t) + C} dt \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Donde:

$$A = \frac{\text{gama}^2 * H^2 + E^2 * \text{alpha}^2 - 2 * \text{alpha} * E * \text{beta} * H + \text{gama}^2 * E^2 - \text{gama}^2 * G^2 + H^2 * \text{beta}^2 - \text{beta}^2 * G^2}{\text{gama}^2} \quad \text{Ecuación 4.33}$$

$$B = \frac{2 * \text{alpha} * E * \text{beta} * G - 2 * \text{gama}^2 * G * H - 2 * \text{beta}^2 * G * H}{\text{gama}^2} \quad \text{Ecuación 4.34}$$

$$C = \frac{\text{gama}^2 * G^2 + \text{beta}^2 * G^2}{\text{gama}^2} \quad \text{Ecuación 4.35}$$

Se procede a realizar estimaciones usando MATLAB es posible consultar el código desarrollado para este software en el anexo “1.1. Código desarrollado en MATLAB para estimaciones”:

Hasta ahora se ha calculado la distancia que existe desde el punto A al punto B como podemos observar en la variable Q mediante un método de integración numérica basado en el método de Simpson.

Por otra parte debido a la forma de la tierra se puede deducir que la distancia de equivalencia de un grado de longitud varía dependiendo de la latitud a la que se tome equivalencia, es decir que una variación de un grado de longitud a una latitud específica puede tener una distancia en kilómetros distinta en otra latitud y en el

límite teórico de llegar al polo norte esta distancia tiende a cero kilómetros, entonces, debido a las limitaciones de la implementación de métodos de integración numérica en el micro-controlador seleccionado el PIC 18F6627 y ya que las operaciones anteriormente plantadas requieren de una precisión de 32 bits, característica de la cual carece el PIC18F6627; al combinar la simulación desarrollada anteriormente con este método se obtiene una simplificación que tiene los siguientes valores de equivalencia ver tabla 4.2 y figura 4.4:

Tabla 4.2

Valores de simulación para simplificación de proceso de cómputo

Coordenada latitud (")	Coordenada latitud(°)	Equivalencia en kilómetros de la variación de un grado de longitud
0	0	111.3194908
36000	10	1.10E+02
72000	20	1.05E+02
108000	30	96.40520105
144000	40	85.27523012
180000	50	71.55425644
216000	60	55.65921555
252000	70	38.07308148
288000	80	19.33018876
324000	90	0

Se propone una simplificación al algoritmo anteriormente presentado mediante una regresión polinómica en potencia 2, expresión que a continuación se presenta  $y = -0.011377136x^2 - 0.250351783x + 112.875754962$  Ecuación 4.36:

$$y = -0.011377136x^2 - 0.250351783x + 112.875754962 \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Donde:

$y$ = distancia en kilómetros de 1° de variación de longitud

$x$ =latitud dada en grados.

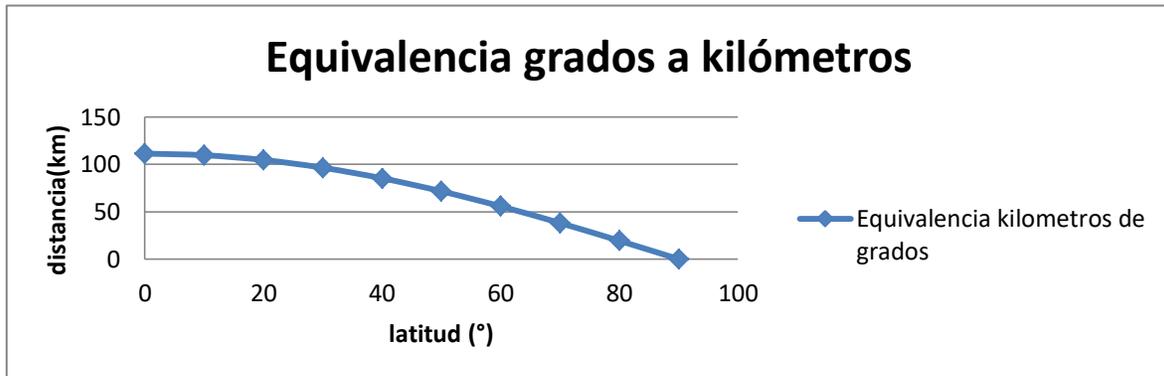


Figura 4.4 Grafica de equivalencia de grados a kilómetros

El siguiente paso consiste en el cálculo de distancia con la expresión anteriormente obtenida debido a que como ya se había mencionado el micro controlador PIC18F6627 no cuenta con la capacidad de realizar operaciones de 32bits, con esta expresión ya es posible realizar los cálculos con operaciones de 16bits capacidad que es alcanzable para el PIC18F6627 utilizando la equivalencia de la Figura 4.4.

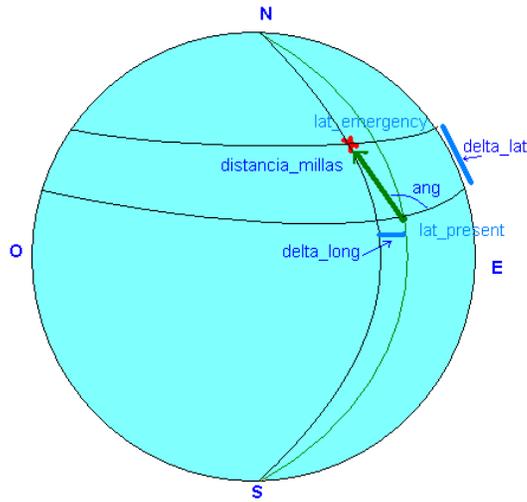


Figura 4.5 Calculo de distancia en sobre la superficie de la tierra.

Se plantean las funciones siguientes, para mayor comprensión observar figura 4.5:

- Diferencia de latitud de emergencia y presente y convirtiendo esta diferencia a kilómetros:

$$\mathbf{delta_{lat} = (lat_{emergency} - lat_{present}) * \left(\frac{1.855}{60}\right)} \quad \mathbf{Ecuación 4.37}$$

- Calculando la distancia respectiva de la longitud en función de la latitud en kilómetros:

$$\mathbf{factor_{long} = \left(-0.011377136 * \left(\frac{lat_{present}}{3600}\right) * \left(\frac{lat_{present}}{3600}\right) - 0.250351783 * \left(\frac{lat_{present}}{3600}\right) + 112.875754962\right)} \quad \mathbf{Ecuación 4.38}$$

$$\mathbf{delta_{long} = \left(\frac{(long_{emergency} - long_{present})}{3600}\right) * (factor_{long})} \quad \mathbf{Ecuación 4.39}$$

- Aplicando teorema de Pitágoras y convirtiendo a millas náuticas, debido a que los pescadores de la península de Yucatán usan millas náuticas como unidad de medida generalizada.

$$distancia_{millas} = \frac{\sqrt{(\delta_{lat})^2 + (\delta_{long})^2}}{1.852} \quad \text{Ecuación 4.40}$$

$$ang = \arctan\left(\frac{\delta_{lat}}{\delta_{long}}\right) \quad \text{Ecuación 4.41}$$

- En nuestro caso “*ang*” es el valor teórico esperado del ángulo respecto a eje de las abscisas en que se encuentra localizado en el eje que forma con el este.

En resumen hemos llegado a las expresiones nos servirán para la implementación que corresponden a: “*distancia\_millas*” y “*ang*”; posteriormente serán usada en la sección de pruebas para verificar su funcionalidad.

La información anterior se actualiza cada tres minutos para mostrar en pantalla LCD del dispositivo KAXAN-HA.

#### 4.1.7. Reinicio de sistema transceptor

Este proceso se ejecuta en caso de haber un error en el sistema de comunicación con el equipo transceptor, este proceso se lleva a cabo mediante un comando que se envía mediante comunicación UART. Este comando corresponde a al *hardware reset*, para mayor información consultar la referencia (31).

#### 4.1.8. Mensajes especiales

Estos mensajes son recibidos en el dispositivo KAXAN-HA debido a que el sistema central de control en tierra ha tomado la decisión de enviar notificaciones a embarcaciones determinadas ya sea por razones de seguridad o solamente con la intención de notificar cierta información. Una vez que este mensaje ha sido recibido en el dispositivo KAXAN-HA, el equipo transceptor notificará su llegada al micro-controlador mediante la salida P2 del modem satelital como se puede observar en la sección 4.2.3, una vez activada esta salida, el micro-controlador enviará vía UART un comando de lectura y esperará la respuesta del modem satelital que contendrá la

información relacionada con el mensaje entrante para realizar la decodificación del mensaje entrante al micro-controlador, se tomó como base la referencia (30).

## **4.2. Módulo Transceptor satelital**

En esta sección se presentan el diseño de la codificación y algoritmos implementados en el módulo de comunicación satelital, es decir que se diseña el firmware que estará en operación en el DMR 800D OEM.

### **4.2.1. Generalidades de desarrollo**

Las consideraciones o las funciones que se desarrollarán en el firmware son las siguientes:

- El módulo transmitirá mensajes vía satélite de reporte a petición por el micro-controlador hacia una base de datos, en caso de ausencia de señal GSM, que será posible consultar vía internet, este mensaje contendrá información de: latitud, longitud, hora de transmisión, fecha de transmisión, nivel carga de batería, condición de emergencia.
- El módulo DMR 800D OEM podrá operar en 3 distintos tipos de consumo de energía: alto consumo, bajo consumo, hibernado. Es decir que en el modo de alto consumo se encontrarán activos el GPS, el transceptor, las componentes de entradas/salidas así como la disponibilidad del puerto RS232 para consultas y comandos.
- En caso de presionar un botón de emergencia se ejecutarán rutinas que conlleven a la transmisión de un mensaje con condición de emergencia hacia la base de datos, de esta forma se podrá proceder al rescate de la embarcación.
- Es posible conocer la posición en cualquier momento de la embarcación por medio de una consulta vía internet.
- Se podrá recibir mensajes desde tierra en cualquier momento y será desplegado en la pantalla del dispositivo de monitoreo.

- En caso de bajo nivel de batería el modulo DMR se colocará en un estado de hibernación.

#### 4.2.2. Definición de trama de transmisión de información.

En caso de no haber comunicación vía GSM, el sistema se comunicará con el servidor vía satelital, en este caso la trama de datos es una cadena de 64 bits. A continuación presentamos un ejemplo de codificación y decodificación de la trama, basado en un sistema de posicionamiento para lograr una decodificación del mensaje.

En binario presentamos una cadena de 64 bits:

```
00010010011111000011110110001001101110001101101000110001111
      00101
```

Por definición de la trama en orden de izquierda a derecha:

- Latitud: primeros 20 bits: 00010010011111000011 (observa que el MSB es cero=valor positivo)= 75715 segundos (en decimal), por lo tanto:  $75715/3600=+21.03194444$  grados
- Longitud: siguientes 21 bits=110110001001101110001 (Observa que el MSB es 1, por lo tanto es un numero negativo, haciendo complemento a 2 se obtiene:  
= -322702 segundos (en decimal), por lo tanto:  $-322702/3600=-89.6394444$  grados
- Date: 5 bits=10110=22 (que corresponde al día de hoy 22 de julio)
- Time: 12 bits =100011000111 (binario) = 2247 (decimal) = (22:47 hrs)

- Batería: 4 bits =1001 = 9 (nivel de carga de batería de 0-10)
- Emergencia 1: 1 bit (emergencia)=0 (cero no activado)
- Digital Input 1: 1 bit = 1 (bit extra)

En total son 64 bits codificados mediante la aplicación Message Designer desarrollado por Skywave Mobile Communications Inc, esta codificación se implementó en base al documento de referencia (34); una vez completado este proceso de codificación se procede a la decodificación del mensaje por software mediante la aplicación Messenger desarrollado por Skywave Mobile Communications Inc, esta aplicación la encontramos en el IsatM2M Developer Toolkit, para conocer la forma de tratar la información recibida en esta aplicación se puede consultar la referencia (34) donde se encuentra detallado el proceso de decodificación del mensaje de emergencia enviado por la terminal DMR800D OEM al interior del Kaxan Há y recibido mediante comunicación a internet por acceso a los servidores propiedad de Skywave Mobile Communications Inc. con número particular de control station asignado a Sistemas Box S.A de C.V. que por motivos de privacidad no se mencionan en el presente documento.

#### **4.2.3. Configuración de entradas y salidas**

Para realizar el control de las funciones del módulo DMR 800D OEM se realiza el siguiente multiplexado de las entradas (Figura 4.66) P1 Y P3 de la siguiente manera (ver Tabla 4.3).

Tabla 4.3  
Diseño de multiplexado de entradas digitales

P1	P3	FUNCIÓN	Características
0	0	Alto consumo	GPS activo, transceptor activo, RS232 activo, I/O activos
0	1	Bajo consumo	Transceptor activo, RS232 activo, I/O activo
1	0	Hibernar	Ninguna función activa, excepto el pin P1
1	1	Pánico	GPS activo, transceptor activo, RS232 activo, I/O activos, envía mensaje de emergencia

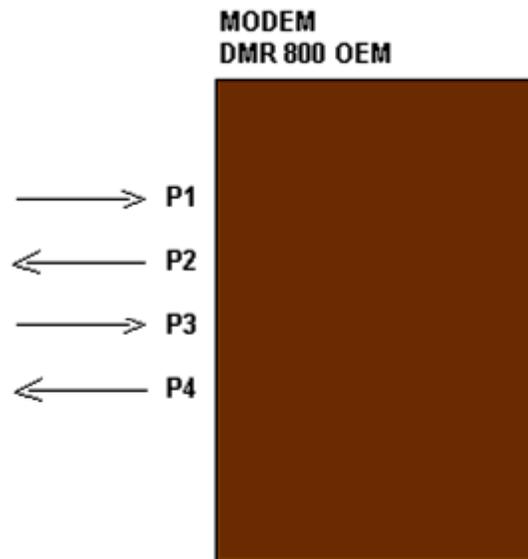


Figura 4.6 Entradas/salidas de módulo DMR800D OEM

Para realizar el control del micro-controlador se implementó la siguiente configuración de las salidas del módulo DMR800D OEM ver Tabla 4.4. Este conjunto combinaciones de salidas producen una acción específica en el micro-controlador

que tiene conectado estas salidas digitales del modem DMR a las entradas digitales del micro-controlador PIC18F6627.

Tabla 4.4  
Configuración de salidas digitales del modem DMR800D OEM

Salidas			
P2	P4	Función	Característica
0	0	Sin ninguna función	Sin ninguna función
0	1	Mensaje de emergencia enviado	Es activado cuando un envío de mensaje de emergencia ha sido completado exitosamente, esto servirá para que al ser activado en alto el pin P4, el micro controlador tendrá que desactivar salidas que se encuentran en estado 11 a 00 para los pines P1 y P3 respectivamente del DMR800D OEM
1	0	Mensaje en bandeja de entrada	Es activado cuando un mensaje ha llegado a la terminal DMR 800D OEM, el micro-controlador podrá acceder vía RS232/UART al detectar este pin en alto
1	1	Mensaje de entrada y mensaje de emergencia enviado exitosamente	Los pines son activados independientemente

P2 (OUT) servirá para indicar que ha llegado un mensaje nuevo al buffer del DMR-800 (se debe detectar un pulso de bajada a cero ya que la salida del modem es a colector abierto).

P3 (IN) servirá para enviar un mensaje de pánico se deberá mantener el pulso de 3.3V durante 5 segundos.

Cuando P2 se activa quiere decir que el modem ha recibido un mensaje al buffer del DMR-800 es necesario eliminar el mensaje una vez accedido vía RS232.

P4 servirá para indicar que se ha enviado el mensaje colocado en la bandeja de salida (cuando el switch está activado quiere decir que es la respuesta de la solicitud de envío se ha completado y se ha enviado satisfactoriamente dicho mensaje).

En cuanto a la comunicación RS232, este servirá para enviar un reporte de posición mediante el modo de alto consumo, esto implica que es necesario enviar un cero al PIN1 antes de enviar el reporte es decir que es necesario activar el GPS justo antes de enviar reporte de posición debido a que si se activa el envío de reporte si activar el modo de alto consumo no se tendrá la información relacionada con la posición (longitud y latitud), hora y fecha.

Mediante los arreglos anteriores se controla el encendido del modem, apagado, envío de mensajes, encendido del GPS etc. mediante la interfaz con el PIC18F6627. A continuación (Figura 4.7) se presenta la configuración de hardware para el módulo salidas del DMR800D OEM (35).

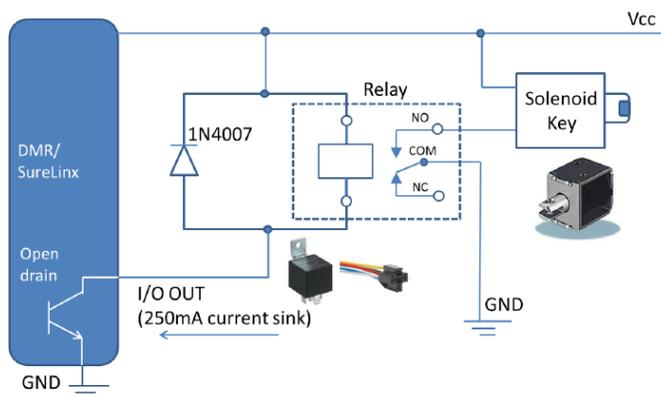


Figura 4.7 Configuración de hardware para salidas digitales de DMR800D OEM.

Esta configuración se implementó en la aplicación Script Designer con los siguientes parámetros:

P1-Type: Digital Input, Input Level: normal.

P2- Type: Digital Output, Output Level: inverted.

P3- Type: Digital Input, Input Level: Normal.

P4-Type: Digital Output, Output Level: Inverted.

Para conocer la forma de realizar estas configuraciones de entradas/salidas en la aplicación Script Designer desarrollada por Skywave Mobile Communications Inc. revisar referencia (35) y (36).

#### **4.2.4. Prevención de ciclado indeseado en DMR-800D OEM**

Este proceso se realiza por la necesidad de evitar problemas por situaciones no previstas, tiene como fin evitar el ciclado del programa principal si por alguna razón externa el sistema se cicla; básicamente el funcionamiento de este programa se realiza mediante unos *timers* que se activan después de determinado periodo de tiempo y en caso de que el sistema se encuentre en un punto ciclado indeseado al desbordarse estos *timers* ejecutarán las rutinas de reset del firmware del módulo DM800D OEM, este algoritmo se encuentra visible en la siguiente sección que presenta el diagrama de flujo del firmware del DMR800D OEM.

#### **4.2.5. Algoritmo de DMR-800D OEM**

En la figura 4.8 se presenta el algoritmo general para el módulo DMR800D OEM que cumple con los requerimientos de diseño planteados en la sección 4.2.1. Para conocer la forma de programación en la aplicación Script Designer es necesario consultar la referencia (36).

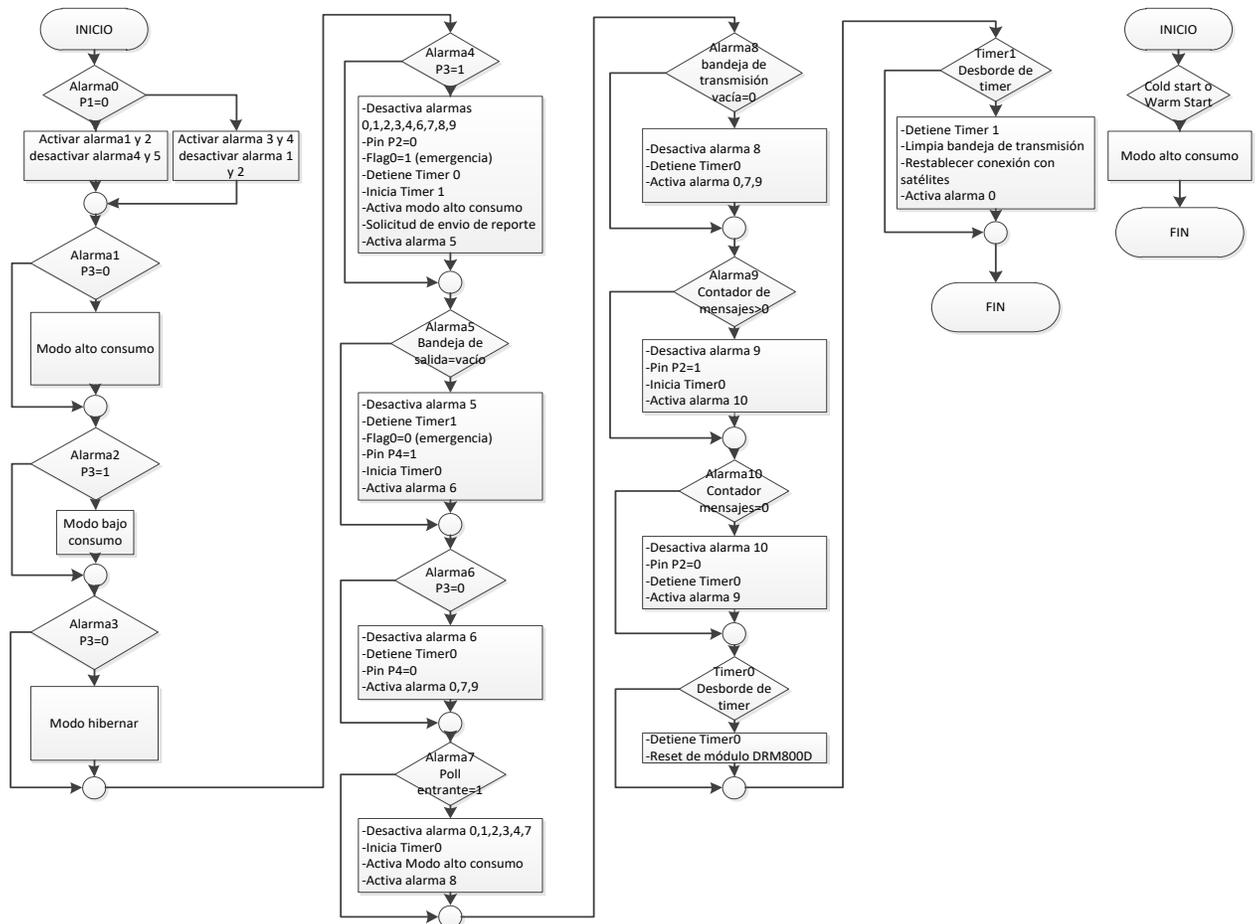


Figura 4.8 Diagrama de flujo para el algoritmo implementado en módulo transceptor satelital.

## **5. PRUEBAS**

### **5.1. Generalidades**

En esta sección se presentarán las pruebas realizadas a los dispositivos así como las pruebas a los algoritmos diseñados para evaluar el funcionamiento y de esta manera determinar si son adecuadas para el cumplimiento de los objetivos de este proyecto.

### **5.2. Módulo Transceptor satelital**

A continuación se presentan las pruebas realizadas al módulo transceptor satelital así como al script programado en la memoria flash del mismo.

#### **5.2.1. Evaluación de desempeño de nivel de señal**

Los elementos de hardware son de vital importancia para el establecimiento de una red de comunicación, rastreo y monitoreo para la flota menor que es el objetivo de nuestro proyecto, y por lo tanto es necesario evaluar el desempeño de dichos sistemas en los casos en los que se utilizará el dispositivo.

Para la realización de las pruebas se utilizó una consola de fibra de vidrio, una caja de plástico como bloqueadores de señal satelital para el DMR800D OEM y se tomaron varias mediciones de nivel de señal satelital a diferentes horas de día con la finalidad de conocer el comportamiento del nivel de señal satelital, este nivel de señal es medido directamente con el modem DMR 800D OEM mediante el acceso a ciertos registros internos con la aplicación desarrollada por Skywave llamada *Scope* del IsatM2M Developer toolkit, a continuación presentamos los elementos que conforman al sistema de prueba, ver Figura 5.1: la consola de fibra de vidrio, la caja de plástico y el modem DMR-800D OEM.

En lo que se refiere a las condiciones de prueba para obtener un ambiente controlado, el sistema se coloca en una base fija en una zona con vista al satélite para evitar los efectos de vibración y como se puede observar en la figura 5.2 bajo clima lluvioso sin vista al sol para evaluar los efectos de la lluvia sobre el nivel de señal satelital, estos dispositivos de bloqueo son los que normalmente se usarán durante la operación del dispositivo KAXAN-HA una vez ya instaladas en las embarcaciones a monitorear.



Figura 5.1 Elementos usados durante las pruebas de operación común

A continuación presentamos una tabla de datos obtenidos de las mediciones realizadas al realizar varias pruebas de nivel de señal con diferentes materiales de protección (ver Tabla 5.1).

Tabla 5.1

Mediciones de nivel de señal satelital tomadas en fechas a azar.

		Nivel de señal dB				
	HORA UTC	HORA	SIN PROTECCIÓN	CAJA DE PLASTICO	CAJA DE FIBRA DE VIDRIO	CAJA DE PLASTICO Y FIBRA DE VIDRIO
06-Oct-11	17:19	2:19	23.3	23	22.1	21.1
	18:29	13:19	23.5	23.4	22.2	21
	19:19	14:19	23.2	23.5	22.1	21.5
	21:15	16:15	23.3	23.7	22.2	21.6
10-Oct-11	17:30	2:30	24.4	24.6	20.9	21.1
	18:07	3:08	20.1	21.9	21.1	21.3
	19:19	14:19	22.7	24.1	21.23	22
	21:05	16:05	23.1	23.9	22.3	21.3
17-Oct-11	17:50	12:50	24.3	24	20.1	22.1
	18:11	13:11	24.4	24.2	19.3	21.3
	19:23	4:23	22.7	24.1	21.23	22
	21:17	16:17	23.3	23.7	22.2	21.6
	21:33	6:33	23.6	23.7	22.8	22.8
	22:46	17:46	23.8	22.6	22.7	22.23
	23:45	18:45	23.9	24	22.3	22.8
18-Oct-11	20:45	5:24	23.4	23.9	22.1	18.8
	21:45	16:24	19.2	19.3	18.8	17.8
	21:46	6:46	19.2	19.5	19	18.6
	21:50	6:50	19.3	19.4	19.3	18.2
	21:58	6:58	21	19.6	19.6	18.5

Se presenta las condiciones climáticas durante las cuales se desarrollaron las mediciones anteriores ver Figura 5.2 (37):

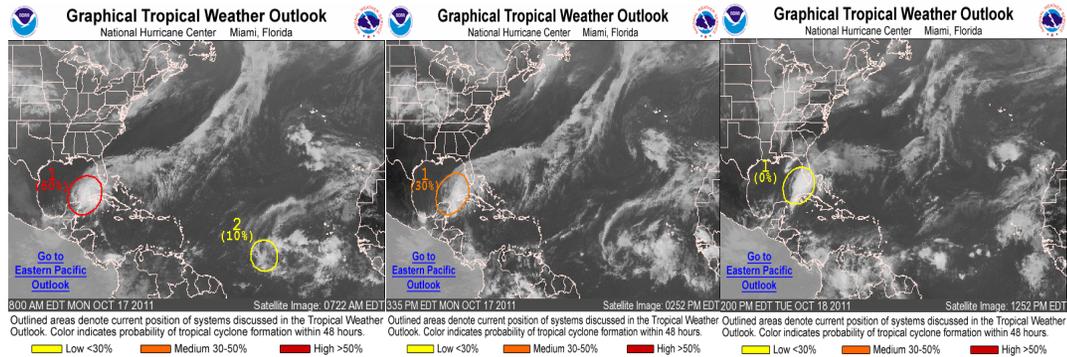


Figura 5.2 Condiciones climáticas durante la realización de las pruebas.

### 5.2.2. Nivel mínimo de señal para transmisión y recepción

Esta prueba consiste en la limitación de la capacidad de transmisión y recepción del modem DMR-800D OEM colocando obstáculos mecánicos de transmisión hasta el nivel mínimo de señal óptima para transmitir un mensaje y recibir el mismo mensaje en la base de datos de los servidores consultando vía internet, estas mediciones se realizaron durante varios días. Las mediciones son los siguientes (ver Tabla 5.2):

Tabla 5.2

Mediciones de mínimo señal de transmisión y recepción de datos satelitales

Nivel de Señal (dB)	Status de salida	Status de bandeja de entrada
24.1	enviado	recibido
23.1	enviado	recibido
15.8	enviado	recibido
15.6	enviado	recibido
14.5	enviado	recibido
14.3	enviado	recibido
13.5	enviado	recibido
13.4	enviado	recibido
13.3	enviado	recibido
13.1	enviado	recibido
12.9	enviado	recibido
12.6	enviado	recibido
<b>12.4</b>	<b>enviado</b>	<b>recibido</b>
12.2	no enviado	no recibido
12.1	enviado	no recibido
12.0	enviado	no recibido
11.2	enviado	recibido
11.2	enviado	recibido

10.0	no enviado	no recibido
9.6	no enviado	no recibido

Se observa que el nivel mínimo de señal para un correcto funcionamiento es de 12.4 dB.

Como ejemplo presentamos las mediciones del 21 de octubre de 2011, en los cuales no logramos hacer que se reduzca tanto la señal como para que el sistema transceptor satelital DMR800D OEM deje de enviar, sin embargo se presentan para que se tenga una idea de la cantidad de señal que se reduce de acuerdo a la cantidad de bloqueo que se agrega al sistema, como puede verse en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3

Mediciones de nivel de señal y sus bloqueadores físicos de señal satelital

Características de bloqueo	Nivel de Señal (dB)	Estado de salida	Estado de bandeja de entrada
Solo consola [Figura 5.3A]	24.1	enviado	recibido
10 paños de cartón de 1 cm [Figura 5.3B]	23.1	enviado	recibido
15 paños de cartón de 1 cm [Figura 5.3C]	13.5	enviado	recibido
15 cajas de cartón y 2 paños de madera de 1 cm [Figura 5.3D]	13.3	enviado	recibido
15 cajas de cartón y 2 paños de madera de 1 cm y una silla [Figura 5.3E]	14.5	enviado	recibido



[A] Consola de fibra de vidrio [B] Cajas de cartón [C] Cajas de cartón



[D] Cajas de cartón y madera [E] Cartón, Madera, Silla.

Figura 5.3 Obstáculos colocados para bloquear la señal satelital.

### 5.2.3. Evaluación de alimentación eléctrica

En nuestro caso probaremos la funcionalidad de los sistemas de alimentación eléctrica de nuestro dispositivo, a continuación presentamos las baterías usadas para la evaluación (Figura 5.4), estas baterías son de 5 Ah de 11.4V.

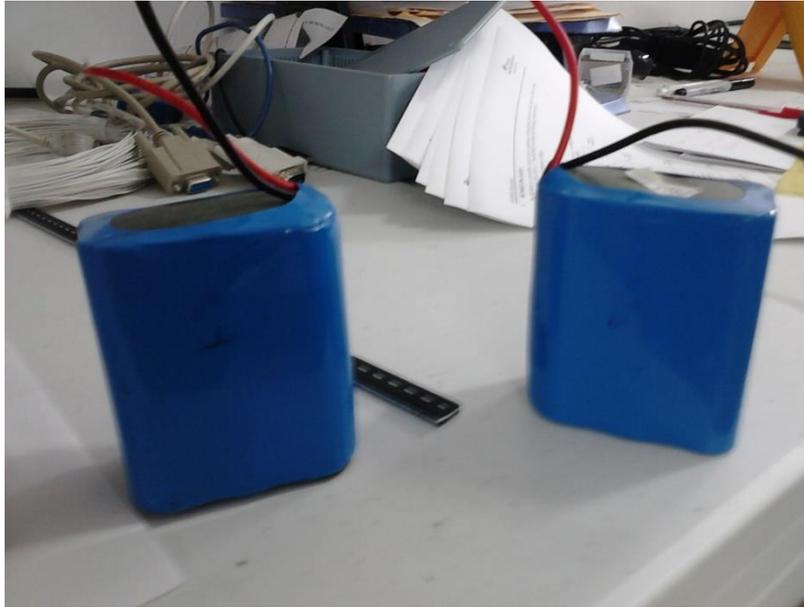


Figura 5.4 Baterías evaluadas en prueba de capacidad de alimentación

La prueba consiste en la variación de alimentación al sistema DMR800D OEM y medir la corriente demandada por este durante los procesos comunes que ejecuta dicho sistema, esto con la finalidad de determinar la corriente máxima necesaria para el funcionamiento apropiado en la ejecución de los procesos que serán básicos para el dispositivo KAXAN-HA, esta prueba se lleva a cabo aprovechando la característica de que el modem DMR800D es posible alimentarlo en un rango de 9-32VDC. A continuación (Tabla 5.4) se presenta una tabla que contiene las mediciones realizadas donde podemos observar ciertos procesos llevados a cabo con niveles de voltaje de 24V, 11.4V, 9.9V y 10.13V.

Tabla 5.4

Medición de corriente que el sistema de transmisión satelital demanda

	Proceso a 24V			Proceso a 11.4 V			Proceso a 9.9 V			Proceso a 10.13 V		
	Consumo (mA)	Voltaje mínimo (V)		Consumo (mA)	Voltaje mínimo (V)		Consumo (mA)	Voltaje mínimo (V)		Consumo (mA)	Voltaje mínimo (V)	
Encendido	Máximo	9.4	24.0	Máximo	100.4	11.4	Máximo	21.9	9.9	Máximo	123	10.13
	Promedio	3.8		Promedio	94.3		Promedio	3.0		Promedio	108	
Transmite	Máximo	91.0	23.9	Máximo	863.0	11.3	Máximo	074.0	8.9	Máximo	1055	9.1
	Promedio	9.5		Promedio	105.2		Promedio	04.0		Promedio	119	
Recibe	Máximo	6.3	24.0	Max	104.8	11.4	Máximo	20.0	9.9	Máximo	119	0.13
	Promedio	0.8		Promedio	92.3		Promedio	04.0		Promedio	108	

De la tabla 5.4 podemos observar que a un mayor voltaje de operación la corriente consumida por el trasmisor satelital es menor, esto es un resultado lógico ya que a una potencia constante y al aumentar el voltaje, la corriente disminuye.

## 5.1. Módulo Micro-controlador

### 5.1.1. Evaluación de direccionamiento

Básicamente la prueba consistió en realizar un recorrido con 2 dispositivos GPS en nuestro caso 2 DMR-800D OEM, uno servirá para probar y el otro servirá para confirmar que las mediciones obtenidas por el conjunto PIC18F6627-GPS sean correctas esto debido a que se implementó un sistema PIC-GPS mediante una

comunicación RS232, por lo que se evaluará el correcto funcionamiento de dicha comunicación, la presentación en una pantalla LCD de los valores exactos obtenidos en el GPS así como la confirmación del algoritmo de direccionamiento desarrollado en la sección 4.1.3, para lograr esto se plantea dos puntos: uno el de la posición presente de cada DMR y el otro el punto donde se encuentra una embarcación que ha solicitado auxilio, a continuación se presenta el mapa de los puntos de muestra que se tomaron durante el recorrido de prueba, además se marca el punto de emergencia que se encuentra en el centro de los puntos (Figura 5.5) en las coordenadas de latitud es 75716 y en longitud -322703:

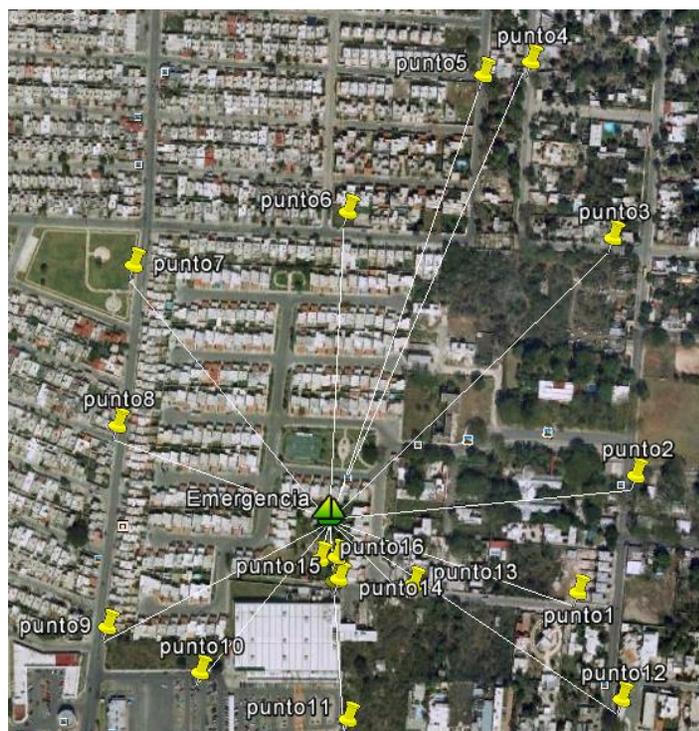


Figura 5.5 Serie de puntos tomados como muestras en prueba de algoritmo de direccionamiento de embarcación.

A continuación (Tabla 5.5) presentamos los valores medidos en varias coordenadas geográficas donde podemos observar la distancia que existe desde el punto donde se toma la muestra hasta el punto de emergencia, esta serie de datos se compara respecto a los datos obtenidos en Google Earth:

Tabla 5.5  
Mediciones realizadas en distintas coordenadas al azar

Muestra	Modem probado				Modem de verificación		Valores teóricos Google Earth	valor medido	
	Latitud (segundos)	Longitud (segundos)	Latitud (°)	Longitud (°)	Latitud2 (°)	Latitud2 (°)	Distancia (m)	Distancia (m)	Error relativo respecto a Google Earth (%)
1	75714	-322698	21,0317	-89,6383	21,0316	-89,6375	156.62	155.30	-0.84
2	75717	-322693	21,0325	-89,6369	21,0326	-89,6370	289.96	286.60	-1.16
3	75724	-322694	21,0344	-89,6372	21,0345	-89,6372	357.91	356	-0.53
4	75730	-322697	21,0361	-89,6381	21,0360	-89,6380	464.35	465.37	0.22
5	75729	-322698	21,0358	-89,6383	21,0359	-89,6384	425.1	426.41	0.31
6	75725	-322703	21,0347	-89,6397	21,0348	-89,6396	277.16	278.25	0.39
7	75724	-322709	21,0344	-89,6414	21,0343	-89,6415	301.14	300.66	-0.16
8	75719	-322710	21,0331	-89,6417	21,0330	-89,6417	221.98	219.96	-0.91
9	75713	-322710	21,0314	-89,6417	21,0313	-89,6418	222.03	219.96	-0.93
10	75711	-322707	21,0308	-89,6408	21,0309	-89,6409	191.98	192.05	0.04
11	75710	-322703	21,0306	-89,6397	21,0305	-89,6396	184.77	185.5	0.40
12	75711	-322696	21,0308	-89,6378	21,0307	-89,6371	253.60	252.34	-0.50
13	75714	-322701	21,0317	-89,6392	21,0316	-89,6390	83.43	84.08	0.78
14	75714	-322703	21,0317	-89,6397	21,0317	-89,6397	60.13	61.83	2.83
15	75715	-322703	21,0319	-89,6397	21,0319	-89,6397	29.63	30.91	4.32
16	75715	-322704	21,0319	-89,6400	21,0319	-89,6399	41.23	42.04	1.96

Una vez medido el error en distancia respecto a los valores teóricos de Google Earth, se procede a medir el error respecto a la orientación(ver Tabla 5.6), esto debido a que durante el proceso de direccionamiento, el dispositivo KAXAN-HA presentará en pantalla la ruta necesaria para llegar al punto que ha solicitado auxilio, por tanto a continuación se presenta los valores medidos experimentalmente en la implementación del sistema PIC-GPS-PANTALLA LDC, tomando como referencia el punto de emergencia localizado en las coordenadas: 75716,-322703 con unidades de segundos de latitud y longitud.

Tabla 5.6

Medición de orientación respecto al objetivo a localizar

Muestra	latitud (seg)	longitud (seg)	Orientación experimental (obtenida del sistema bajo prueba)	Orientación teórica
1	75714	-322698	noroeste	noroeste
2	75717	-322693	oeste	oeste
3	75724	-322694	suroeste	suroeste
4	75730	-322697	sur	sur
5	75729	-322698	sur	sur
6	75725	-322703	sur	sur
7	75724	-322709	sureste	sureste
8	75719	-322710	sureste	sureste
9	75713	-322710	noreste	noreste
10	75711	-322707	noreste	noreste
11	75710	-322703	Norte	Norte
12	75711	-322696	noroeste	Noroeste
13	75714	-322701	noroeste	Noroeste
14	75714	-322703	norte	Norte
15	75715	-322703	llego	Norte
16	75715	-322704	noreste	norte

### 5.1.2. Desempeño de cómputo en algoritmo de direccionamiento

Este apartado presenta la evaluación al desempeño del micro-controlador PIC18F6627 con el algoritmo de direccionamiento implementado en lenguaje C++

con el compilador CCS, esta evaluación se realiza con la finalidad de conocer el tiempo que el micro-controlador necesita para realizar los cálculos y presentar los datos de dirección para la localización de una embarcación en una coordenada específica; otro característica que es posible conocer con esta evaluación es la cantidad de espacio de memoria que se necesita para implementar este algoritmo en memoria ROM.

El para realizar esta prueba se implementó un sistema de *timer* interno en el micro-controlador y cada vez que inicia el algoritmo de direccionamiento se reinicia el dicho *timer* que solamente se detiene hasta que los datos de distancia y dirección son presentados en una pantalla LCD, de esta manera se tiene el tiempo que le toma al PIC18F6627 realizar los cálculos matemáticos y presentarlo al usuario final con datos ya procesador y con el formato adecuado. En la tabla 5.7 se presentan las mediciones obtenidas para un sistema en el que no afecte el tiempo de comunicación RS232 debido a que se cargaron los valores de coordenadas de posición de forma interna al micro-controlador; en la tabla 5.8 se presentan las mediciones obtenidas con la comunicación RS232 entre el DMR800D OEM y el PIC18F6627 por lo que se incluye el tiempo necesario para la comunicación de datos de posición necesarios para la realización de cálculos entre estos dos módulos de dispositivo KAXAN-HA.

Tabla 5.7

Desempeño del micro-controlador sin comunicación RS232

	Valor medido	Valor promedio
Tiempo de ejecución(s)	0.039	0.039
	0.039	
	0.041	
RAM(%)	5.000	5.000
	5.000	
	5.000	
ROM(%)	13.000	13.333
	13.000	
	14.000	

Tabla 5.8

Desempeño del micro-controlador/GPS con comunicación RS232

	Valor medido	Valor promedio
Tiempo de ejecución(s)	0.264	0.226
	0.208	
	0.208	
	0.257	
	0.207	
RAM(%)	19.000	19.000
	19.000	
	19.000	
ROM(%)	29.000	29.333
	29.000	
	30.000	

## 6. RESULTADOS

En el capítulo 5 hemos realizado varias pruebas, por lo que ahora analizaremos la información obtenida.

### 6.1.1. Resultado I

Específicamente en la sección 5.2.1 podemos observar que no existe una reducción trascendental del nivel de señal al colocar el equipo transceptor DMR800D OEM en un contenedor de plástico ABS y este dentro de una consola de fibra de vidrio como se puede ver en la figura 6.1; al graficar los datos de la pruebas de variación de nivel de señal en operación normal se obtiene la figura 6.2 y 6.3.



Figura 6.1 Elementos de operación normal

A continuación presentamos unas gráficas que representan el comportamiento de los datos anteriores, de las cuales nos interesa la condición: “Caja de fibra de vidrio y caja de plástico” esto debido a que será la condición normal de operación del dispositivo, ver figura 6.2 y 6.3.

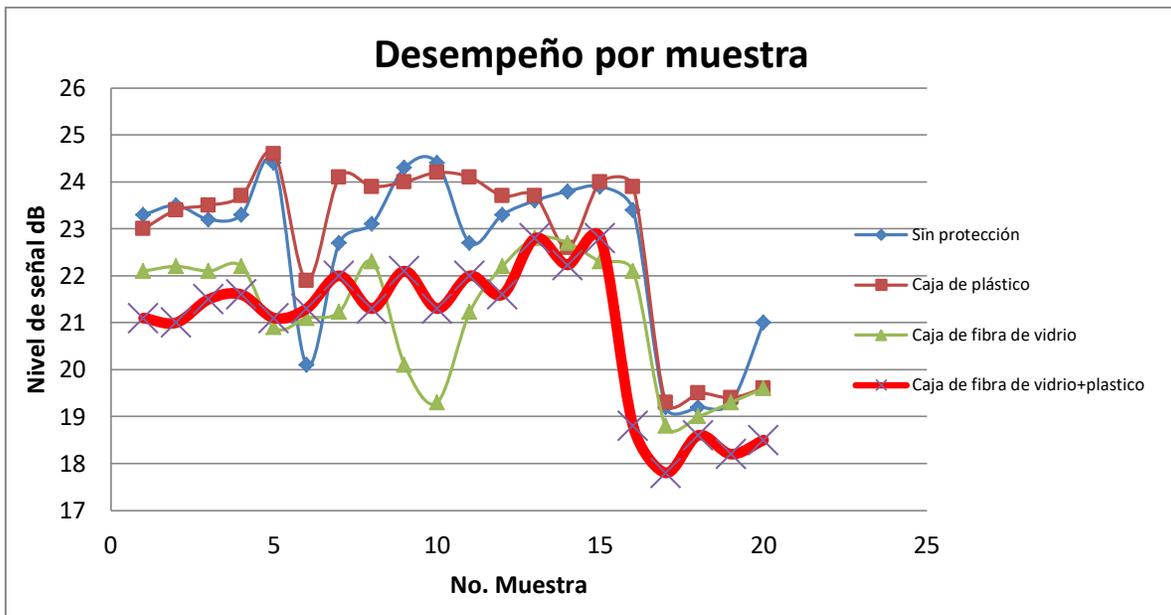


Figura 6.2 Variación del nivel de señal dependiendo de cada muestra tomada en varios días en forma aleatoria.

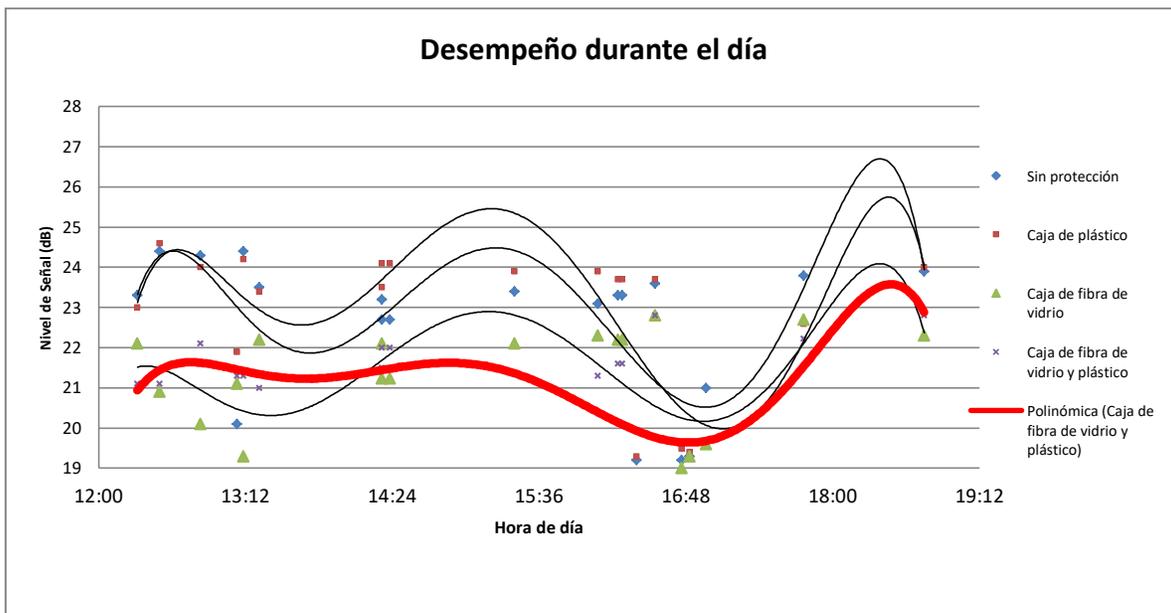


Figura 6.3 Comportamiento del nivel de señal durante el día.

Los resultados anteriores indican que el sistema KAXAN-HA es posible implementarlo en un contenedor de plástico ABS.

### 6.1.2. Resultado II

Otro resultado es que el sistema es robusto ante elementos de bloqueo de señal comunes usados por los pescadores en el mar como son materiales de madera, plástico y cartón como se observa en tabla 5.3 presentada anteriormente.

### 6.1.3. Resultado III

En base a las tablas 5.5 puede presentarse una gráfica de error en la distancia de emergencia calculada por el sistema GPS-PIC18F6627 de donde podemos observar que el error máximo fue de un 9% aproximadamente lo que es aceptable para el proceso de direccionamiento de nuestro sistema KAXAN-HA como podemos observar en la figura 6.4:

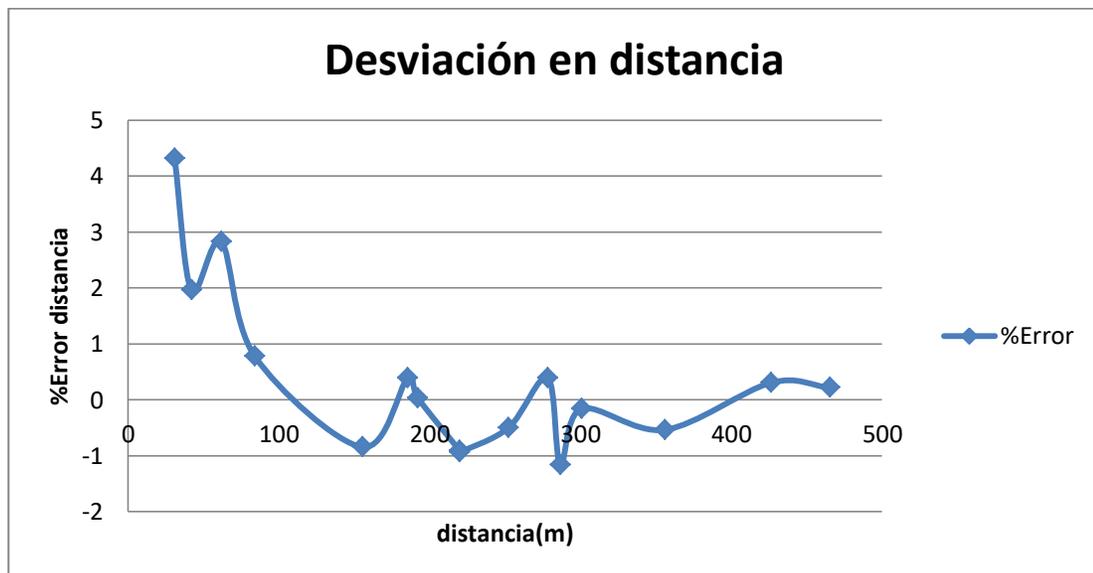


Figura 6.4 Error de medición en función de la distancia.

De la información anterior podemos observar que el error en función de la distancia (figura 6.4) es relativamente bajo, sin embargo no es posible generalizar para valores de distancia mucho mayores, esto debido a que la distancia máxima que se midió fue de 465m en el cual apareció un error de 4%, se observa que no existe discrepancia entre los valores de dirección esperados y los experimentales lo cual indica que el código se encuentra en estado correcto de funcionamiento.

#### **6.1.4. Resultado IV**

Se obtuvo un algoritmo funcional desarrollado mediante script e implementado en 200 unidades de DMR-800D OEM, todos han respondido de manera excelente en cuanto a:

- Transmisión de reportes periódicos de posición
- Transmisión de mensajes de emergencia
- Recepción de mensajes de emergencia desde base en tierra
- Prevención de ciclado indeseado de procesos
- Cambio de modos de operación determinados en la sección XXXX: alto consumo, bajo consumo, hibernación.
- Determinación de posición mediante el módulo GPS.

En la figura 8.21 se puede observar la instalación finalizada en una embarcación de pesca artesanal. En la siguiente tabla (tabla 6.1) observamos el resultado del monitoreo de un dispositivo instalado en una embarcación de pesca artesanal, de donde se puede observar en la pestaña de *Mensaje* el cuerpo del mensaje codificado como se planteó en la sección del presente documento 4.2.2 “Definición de trama de transmisión de información”:

Tabla 6.1  
Resultados de monitoreo de posición vía satélite.

Mensaje	Latitud	Longitud	Fecha de Lectura	Batería	Emergencia
1062FD75D4D83AD8	18.64417	-92.46861	22/01/2013 02:35	6	False
11109D77F9D5E958	19.41583	-92.16361	21/01/2013 19:57	6	False
1110AD77FD55D058	19.41611	-92.16167	21/01/2013 18:57	6	False
11107D7805D5B758	19.41528	-92.15694	21/01/2013 17:57	6	False
11109D7806559DD8	19.41583	-92.15667	21/01/2013 16:55	6	False
11125D789DD584D8	19.42361	-92.07250	21/01/2013 15:55	6	False
11127D789D556BD8	19.42417	-92.07278	21/01/2013 14:55	6	False
1112BD789BD539D8	19.42528	-92.07361	21/01/2013 12:55	6	False
1115DD78AF5520D8	19.43917	-92.06278	21/01/2013 11:55	6	False
1115DD78AF5507DC	19.43917	-92.06278	21/01/2013 10:55	7	False
1115DD78AFD4EED8	19.43917	-92.06250	21/01/2013 09:55	6	False
1115DD78AFD4D5DC	19.43917	-92.06250	21/01/2013 08:55	7	False
1115DD78AFD4BCDC	19.43917	-92.06250	21/01/2013 07:55	7	False
1115DD78AFD4A39C	19.43917	-92.06250	21/01/2013 06:54	7	False
1115DD78AFD48A9C	19.43917	-92.06250	21/01/2013 05:54	7	False
1115DD78AFD4719C	19.43917	-92.06250	21/01/2013 04:54	7	False

1115DD78AFD4589C	19.43917	-92.06250	21/01/2013 03:54	7	False
1115BD78B1543F9C	19.43861	-92.06167	21/01/2013 02:54	7	False
1115BD78B154269C	19.43861	-92.06167	21/01/2013 01:54	7	False
1116CD78C5D40D9C	19.44333	-92.05028	21/01/2013 00:54	7	False
11123D7897524C9C	19.42306	-92.07611	20/01/2013 23:54	7	False
11127D789652339C	19.42417	-92.07667	20/01/2013 22:54	7	False
11124D7898D21AA0	19.42333	-92.07528	20/01/2013 21:54	8	False
11124D78975201A0	19.42333	-92.07611	20/01/2013 20:54	8	False

A continuación se presenta un ejemplo de uno de los resultados de monitoreo vía red GSM de un dispositivo instalado en una embarcación de pesca artesanal, como podemos ver en la tabla 6.2 de donde se puede apreciar las coordenadas geográficas, fecha, hora, batería, datos de acelerómetro y orientación como se ha definido en la sección 4.1.3 “Envío de Información vía GSM” del presente documento.

Tabla 6.2

Monitoreo de embarcación vía GSM

FromAddress	Body
9993358216	+067119,-332887,220113,2108,02,010,000,217.4,00
9993358216	+067119,-332887,220113,2037,03,010,000,216.8,00
9993358216	+067119,-332887,220113,2006,03,010,000,217.2,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1935,03,010,000,217.0,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1904,03,022,065,000.0,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1833,03,010,000,219.6,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1802,03,010,000,216.8,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1731,03,010,000,493.0,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1700,03,010,000,216.2,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1629,04,010,000,493.3,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1558,04,010,-03,218.7,00

9993358216	+067119,-332887,220113,1527,04,009,-01,535.6,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1456,04,023,034,000.0,00
9993358216	+067118,-332887,220113,1425,04,012,-05,273.7,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1354,04,019,008,000.0,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1323,04,012,-07,265.5,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1252,04,000,000,000.0,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1221,04,011,-05,263.8,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1150,03,013,-02,345.1,00
9993358216	+067119,-332887,220113,1119,03,014,000,000.0,00

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1.1. Conclusiones

Se ha diseñado un dispositivo de monitoreo y comunicación para aplicaciones marinas de flota menor con la prioridad de recolección de información de posición y añadiendo un sistema de seguridad para los tripulantes de dichas embarcaciones así como la recolección de información de variables ambientales.

Se lograron los requerimientos de comunicación de datos vía satelital para el proyecto “Desarrollo de Infraestructura Tecnológica de Sistemas de Adquisición y Comunicación de Información Geoespacial para el Sector Pesquero de México”, financiado por CONACYT (FORDECYT 143329).

Se implementaron 200 dispositivos de comunicación y monitoreo de datos en las que se incluyen variables ambientales como son temperatura, salinidad, posición GPS así como una comunicación bidireccional, para embarcaciones marinas de flota menor de los estados de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo como parte del proyecto “Desarrollo de infraestructura tecnológica de sistemas de adquisición y comunicación de información geoespacial para el sector pesquero de México” que cuenta con apoyo de CONACYT con clave 143329; estos dispositivos son contruidos en una sola pieza y tienen capacidades de comunicación bidireccional, resistentes al medio marino, de bajo consumo e independencia de energía, comunicación satelital y GSM, fácilmente instalables a las embarcaciones, bajo mantenimiento y fácil operación, con puerto NMEA y botón de auxilio, GPS para registrar y enviar datos de las posiciones geográficas visitadas por la embarcación, la hora y la fecha de registro, clave de identificación y con la capacidad de enviar y recibir señales/mensajes de alarma para la seguridad de las embarcaciones y de su tripulación.

### **7.1.2. Recomendaciones**

Esta tecnología de localización o seguimiento satelital tiene el potencial para extenderse a otras actividades costero-marinas como el turismo que resulta de importancia al desarrollo regional y muy ligada a la pesca. Una de las actividades principales turísticas son el buceo, la pesca recreativa, todas ellas con necesidades de monitoreo, balance de la carga a los sitios, vigilancia de los sitios restringidos o en recuperación, monitorear los tiempos de permanencia, entre otros aspectos de utilidad para una evaluación y manejo efectivo de los recursos naturales marinos. Además, la información geoespacial generada por este sistema tiene el potencial de combinarse con otras variables físico-químicas del ecosistema marino que serán de mucha utilidad en investigaciones relacionadas con oceanografía y cambio climático, por mencionar algunas podemos encontrar fenómenos como es la marea roja que consiste en la proliferación excesiva de un tipo del algas que mediante este dispositivo diseñado y con el sensor adecuado es posible detectarlo en épocas tempranas de desarrollo de dicho fenómeno esto con el fin de tomar las medidas necesarias para el control de sus efectos secundarios al medio ambiente.

## 8. ANEXOS

En esta sección se adjuntan documentos, figuras, tablas, códigos, etc. Relacionados con el desarrollo del proyecto con la finalidad de una mayor comprensión o un análisis mas profundo de conceptos presentados en el contenido de la presente tesis.

### 1.1. Código desarrollado en MATLAB para estimaciones

A continuación se presenta el código desarrollado mediante MATLAB para realizar las estimaciones de distancia en el algoritmo de direccionamiento así como modelar la adquisición de datos GPS muy necesarios para este algoritmo de direccionamiento simplificado debido a que es muy complicado implementar el código siguiente en un micro-controlador debido a limitaciones de capacidad de cálculo matemático.

```
clear all;
clc;
format long;
a=6378137.0;
c=6356752.3;
R=a;
latitudA=75716;
longitudA=-322703;
latitudB=75716;
longitudB=-322703;
%% FILTRO PARA EVITAR DIVISIÓN ENTRE INFINITO
if (latitudA==latitudB)
    latitudB = latitudA+0.001;
```

```

end;
if (longitudA==longitudB)
    longitudB = longitudA+0.001;
end;
%% PUNTO A
f = (a-c)/a;
thetaGeographicA = ((1/3600)*latitudA)*pi/180;
omegaGeographicA = ((1/3600)*longitudA)*pi/180;
thetaA = atan((1-f)^2*tan(thetaGeographicA));
omegaA = omegaGeographicA;
%% PUNTO B
thetaGeographicB = ((1/3600)*latitudB)*pi/180;
omegaGeographicB = ((1/3600)*longitudB)*pi/180;
thetaB = atan((1-f)^2*tan(thetaGeographicB));
omegaB = omegaGeographicB;
%% COORDENADAS CARTESIANAS
Ax = R*cos(thetaA)*cos(omegaA);
Ay = R*cos(thetaA)*sin(omegaA);
Az = R*sin(thetaA);
Bx = R*cos(thetaB)*cos(omegaB);
By = R*cos(thetaB)*sin(omegaB);
Bz = R*sin(thetaB);
%% PARAMETRIZACION DE CURVA DE DISTANCIA
alpha = Ay*Bz-Az*By;
beta = Ax*Bz-Az*Bx;
gama = Ax*By-Ay*Bx;
E = sqrt((gama^2+beta^2+alpha^2)*(gama^2+beta^2))*R/(gama^2+beta^2+alpha^2);

```

```

G = gama*R/sqrt(gama^2+beta^2);
H = alpha*E*beta/(gama^2+beta^2)
%% VARIABLES AUXILIARES PARA EL CALCULO DE DISTANCIA
A = (gama^2*H^2+E^2*alpha^2-2*alpha*E*beta*H+gama^2*E^2-gama^2*G^2+H^2*beta^2-
beta^2*G^2)/gama^2;
B = (2*alpha*E*beta*G-2*gama^2*G*H-2*beta^2*G*H)/gama^2;
C = (gama^2*G^2+beta^2*G^2)/gama^2
%% CONDICIONES INICIALES
tA=(Az*E*gama-beta*Ay*E+beta*H*Ax)/(E*(-alpha*E+beta*H))
tB=(Bz*E*gama-beta*By*E+beta*H*Bx)/(E*(-alpha*E+beta*H))
%% GRAFICACIÓN DE CURVA PARAMETRIZADA
t = tA:0.0001:tB;
plot3(E*sin(t),G*cos(t)+H*sin(t),-(alpha*E*sin(t)-beta*(G*cos(t)+H*sin(t)))/gama)
L = @(t)(sqrt(A*cos(t).^2+B*cos(t).*sin(t)+C));
Q = double(quad(L,tA,tB))

```

## 1.2. Circuito de pruebas de modem DMR-800D OEM

Se diseñó un circuito para la realización de pruebas a los módems que serán instalados en las lanchas, este circuito nos sirvió para simplificar el proceso de prueba de hardware y software, a continuación se presenta en la figura 8.1, 8.2 y 8.3:

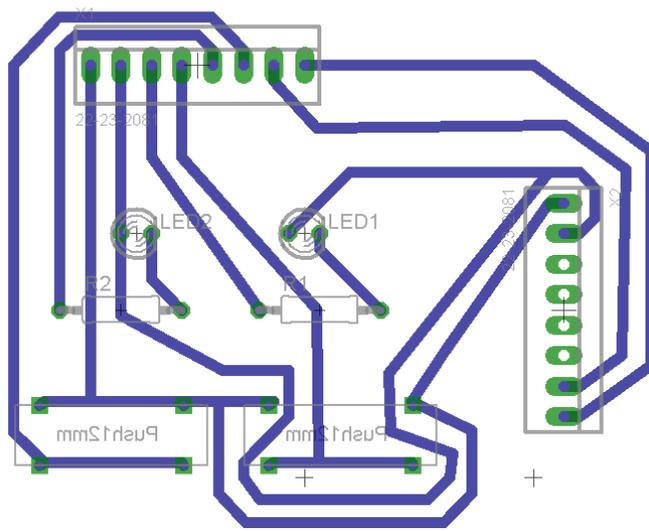


Figura 8.1 Diseño de tarjeta de pruebas para modem DMR800D OEM

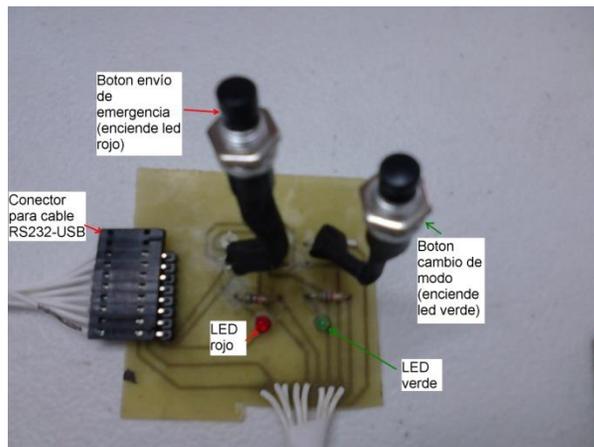


Figura 8.2 Tarjeta finalizada para pruebas

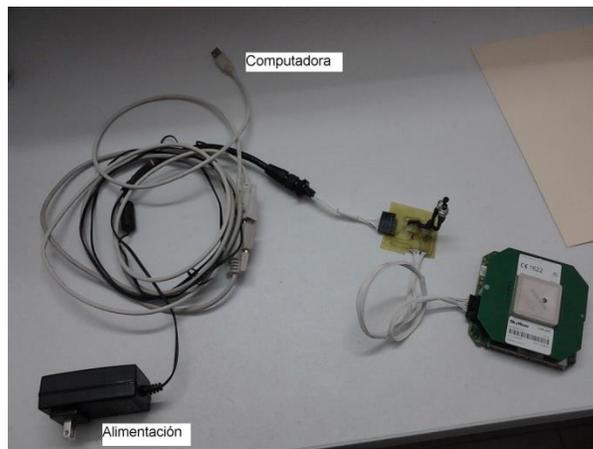


Figura 8.3 Componentes del sistema de prueba

### 1.3. Prueba de hardware DMR-800D OEM

Este proceso nos ayuda a determinar si un dispositivo se encuentra en mal estado de funcionamiento en cuando a su hardware

1. Conectar correctamente los conectores

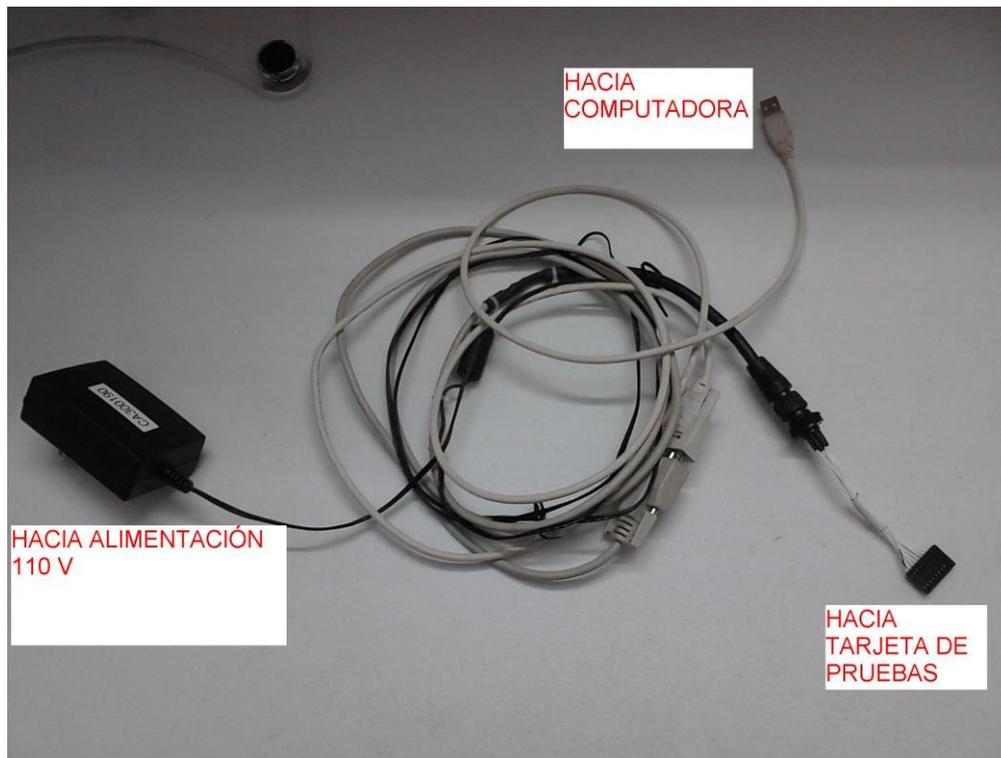


Figura 8.4 Cable conversor RS232-USB para DMR800D OEM.

2. La tarjeta de pruebas es la siguiente, se observan los conectores de la tarjeta de pruebas: hacia modem, hacia cable RS232.

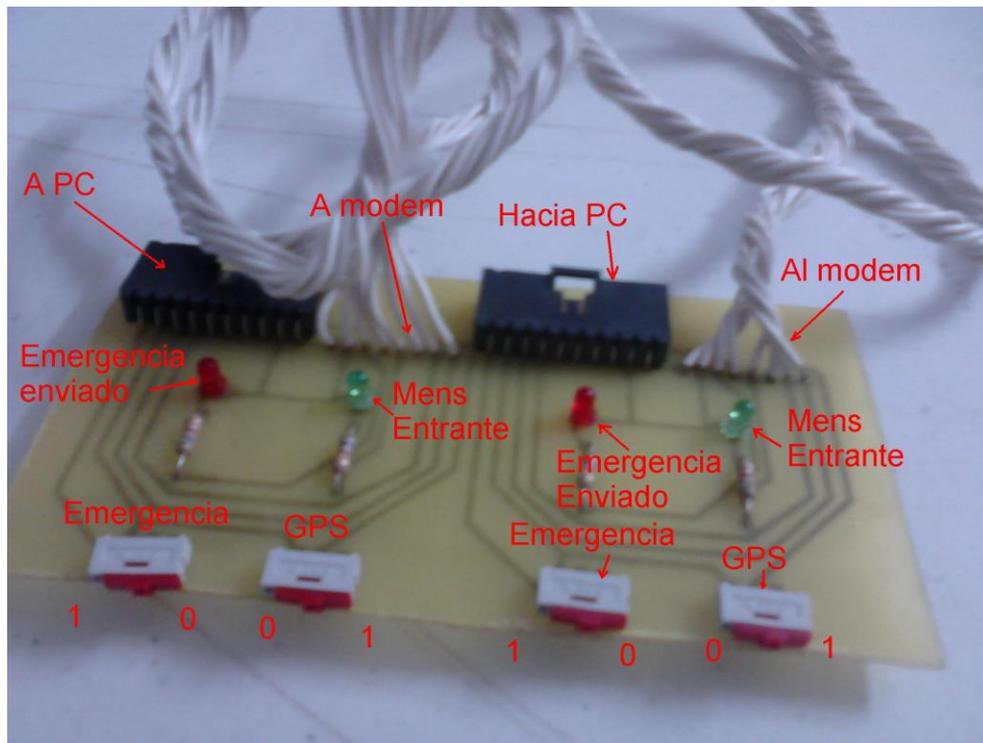


Figura 8.5 Tarjeta de pruebas para DMR800D OEM

3. Al realizar la conexión se observa en la siguiente figura 8.6:



Figura 8.6 Conexión de cable de pruebas para DMR800D OEM

4. Se prosigue a la carga del programa de pruebas:
  - a) Realizar las conexiones antes mencionadas
  - b) Localizar los switch en las siguientes posiciones:  
GPS=1;  
Emergencia=0;
  - c) Instalar el Driver del cable RS232-USB en nuestro caso es provisto en la carpeta  
>>DriverPL2303>PL-2303 Driver Installer.exe
  - d) Abrir:  
Inicio>skywave>IsatM2M developer's toolkit>Applications>Scope
  - e) En scope:  
File>connect to>COM XXX donde "XXX" corresponde al puerto COM virtual creado al instalar el driver RS232-USB.
  - f) En scope:  
File>load files
  - g) En la seccion de "Script Designer File" cargar el archivo provisto: Prueba final400.dsd  
En la seccion de "Message designer File" cargar el archivo provisto: StandardPoll.dmd
  - h) Presionar "OK" al mensaje de carga finalizada e inicializacion.

5. Proceso 1 pruebas:

- a) Colocar el switch GPS=0;  
>observar el cambio de iluminación LED VERDE a apagado
- b) Colocar el switch GPS=1;  
>observar el cambio de iluminación LED VERDE a encendido
- c) Colocar el switch de "EMERGENCIA" en "1"  
>Esperar en promedio 5 minutos y observar el encendido del "**LED ROJO**"
- d) Colocar el switch de "EMERGENCIA" en "0"  
>Observar el apagado del "**LED ROJO**".

SI SE CUMPLEN LAS CONDICIONES ANTERIORES EL MODEM HA PASADO LA PRUEBA.

#### **1.4. Prueba de vibración a SIM holder GSM**

La prueba consiste en colocar en una máquina de vibración desarrollada para este fin (obsérvese Figura 8.7) y establecer un perfil de aceleración con el fin de determinar la duración del diseño de los varios 2 tipos de SIM holders (Figura 8.8) hasta un punto de fallo de comunicación.

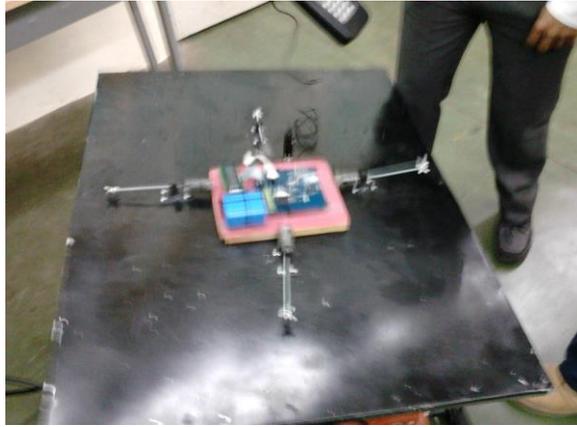


Figura 8.7 Serie de puntos tomados como muestras



Figura 8.8 Modelos de SIM holders probados

Es importante mencionar que el SIM holder 1 corresponde a un SIM holder 2 con la diferencia de que este se refuerza la adherencia al SIM mediante silicón.

En pruebas de campo se determinaron mediante medición con un acelerómetro los siguientes datos de aceleración y desplazamiento en la lancha, con la finalidad de caracterizar el comportamiento de las vibraciones para obtener los máximos y realizar las pruebas necesarias de resistencia a los soportes de tarjeta

SIM (sim holder) del módulo GSM:

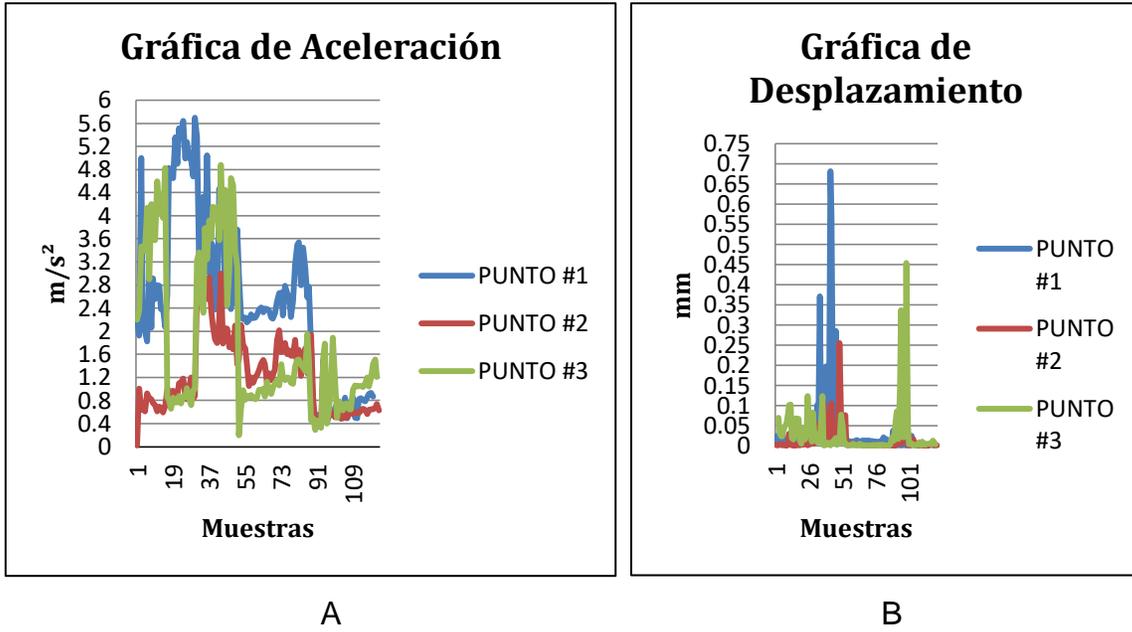


Figura 8.9 Mediciones de aceleración (A) y desplazamiento(B) en una lancha

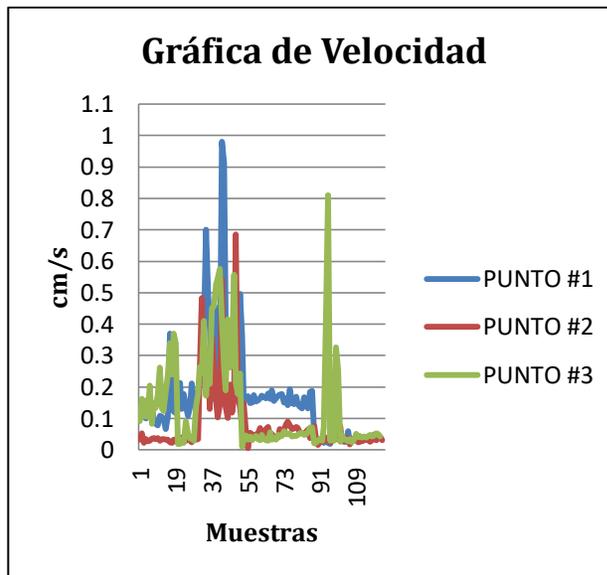


Figura 8.10 Mediciones en de campo realizadas correspondiente al comportamiento de velocidad.

De los datos anteriores observamos que la aceleración máxima observada en la lancha fue de  $5.6 \text{ m/s}^2$ , un desplazamiento máximo de  $0.7\text{mm}$  y una velocidad máxima de  $1\text{m/s}$ , por lo tanto se plantea aumentar en un factor mayor a 2 cada uno de estos parámetros.

A continuación se presentan los perfiles de aceleración, velocidad y desplazamiento durante las pruebas para cada uno de los SIM holder ver figuras 8.11, 8.12, 8.13, 8.14, 8.15, 8.16, 8.17, 8.18 y 8.19:

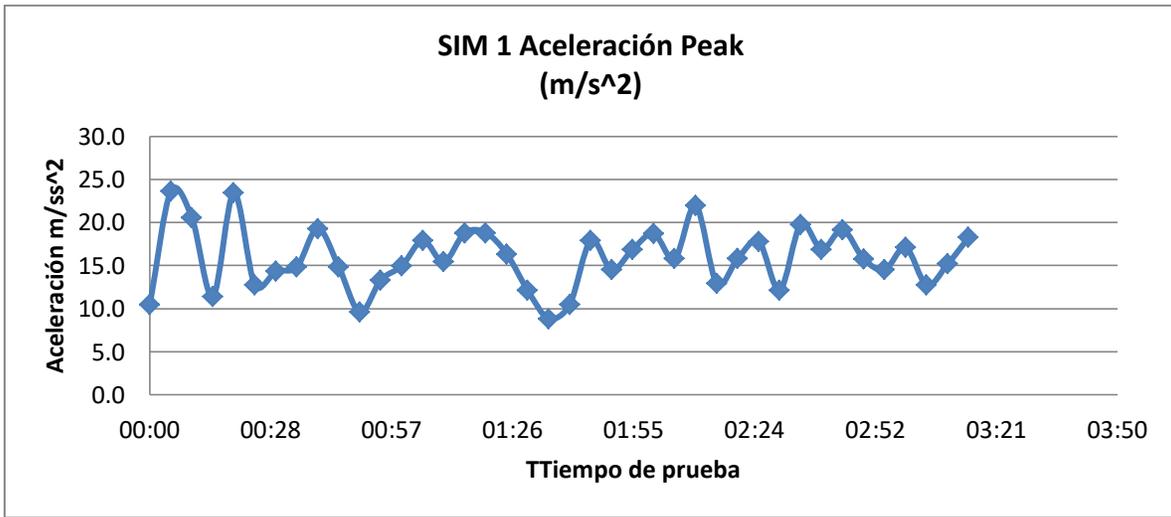


Figura 8.11 Perfil de aceleraciones durante el transcurso de la prueba de vibración al sim holder1.

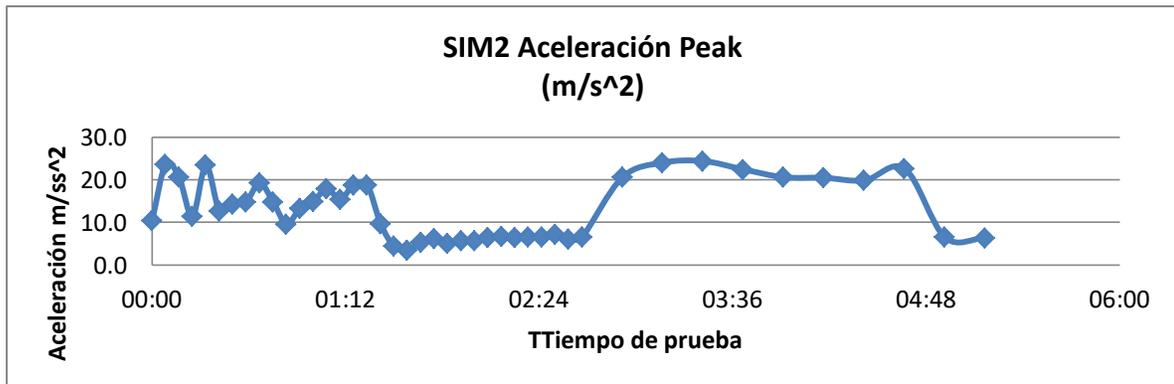


Figura 8.12 Perfil de aceleraciones del sim holder 2.

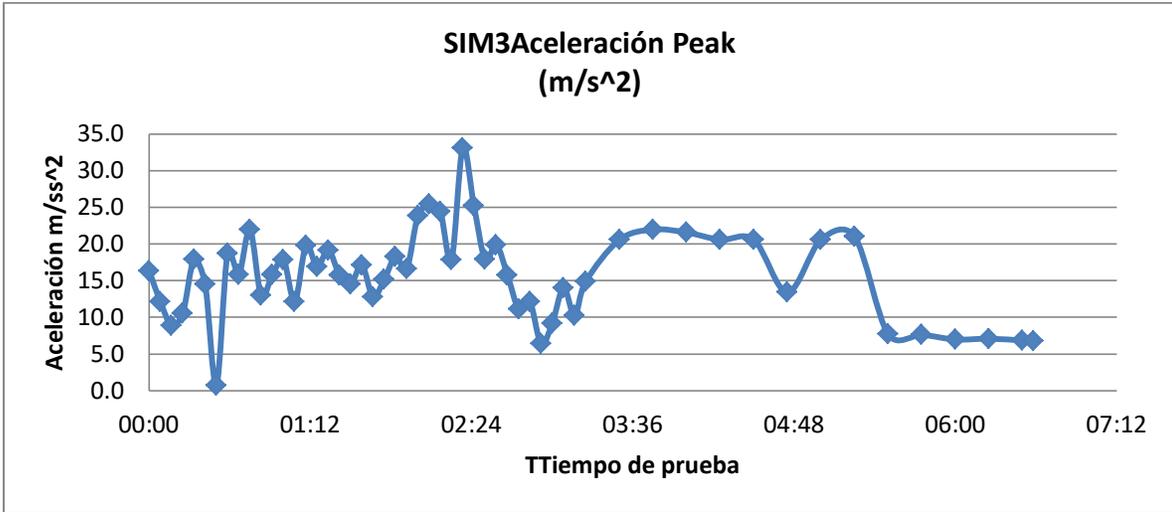


Figura 8.13 Perfil de aceleraciones de sim holder 3 durante la prueba de vibración.

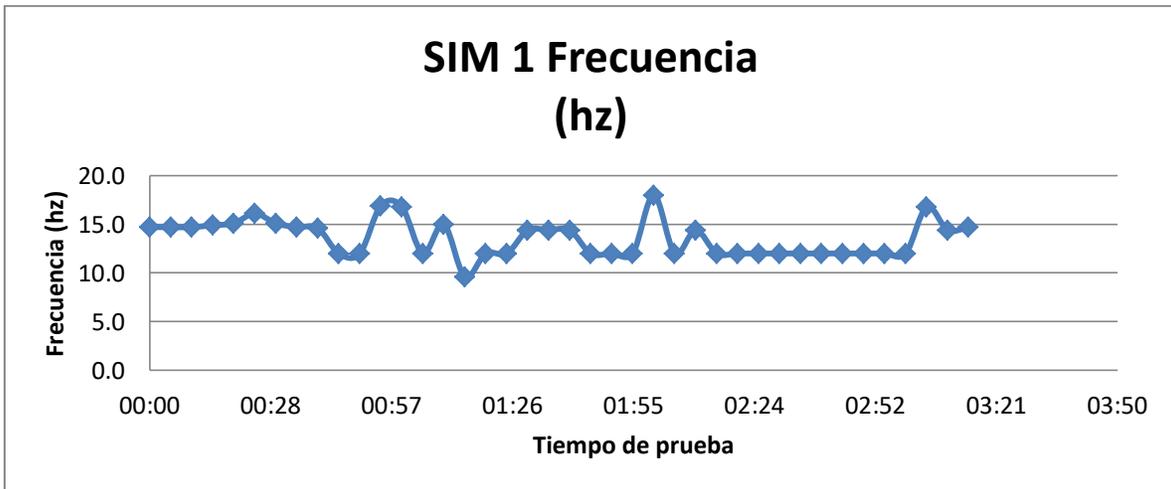


Figura 8.14 Perfil de frecuencias para sim holder 1 durante la prueba de vibración.

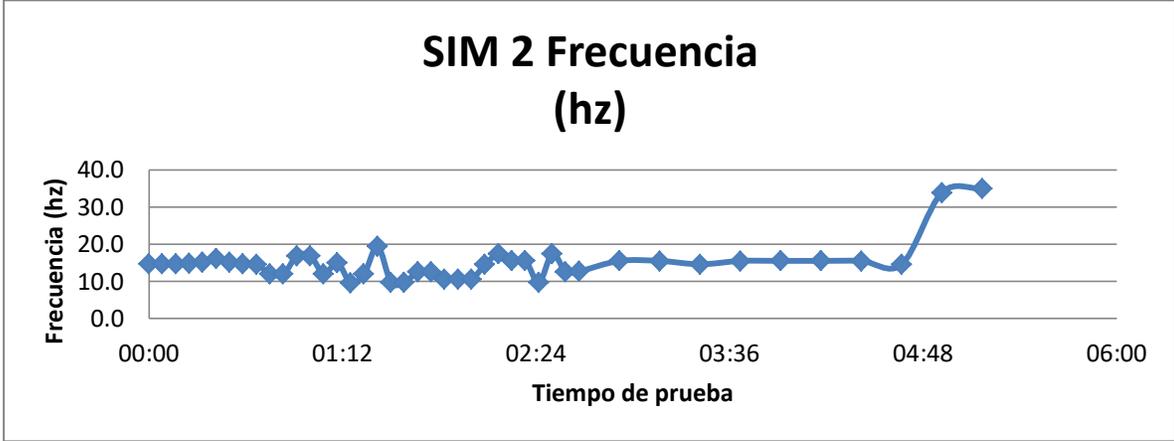


Figura 8.15 Perfil de frecuencias del sim holder 2 durante el desarrollo de la prueba de vibración.

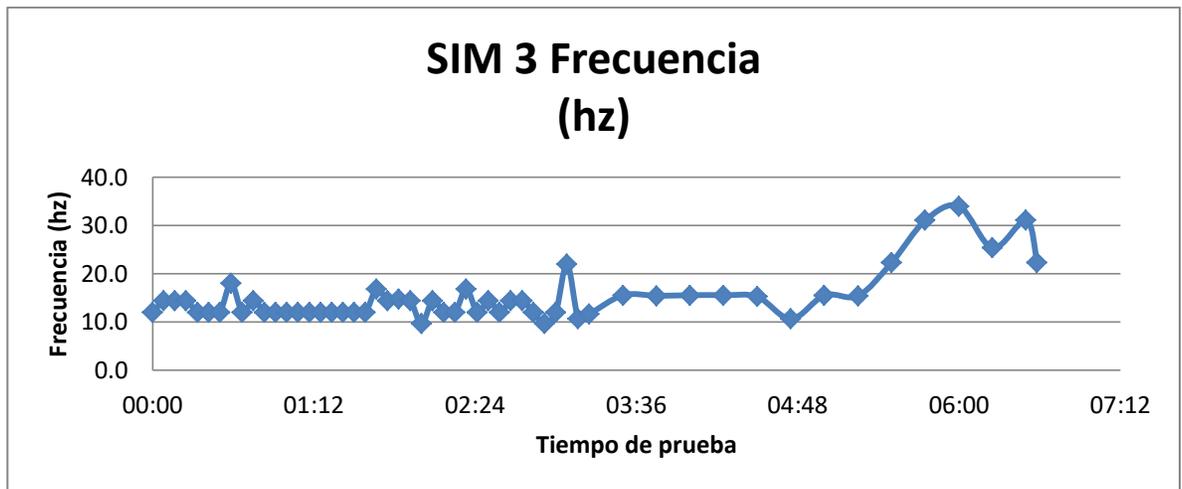


Figura 8.16 Perfil de frecuencias para el sim holder 3 durante la realización de pruebas de vibración.

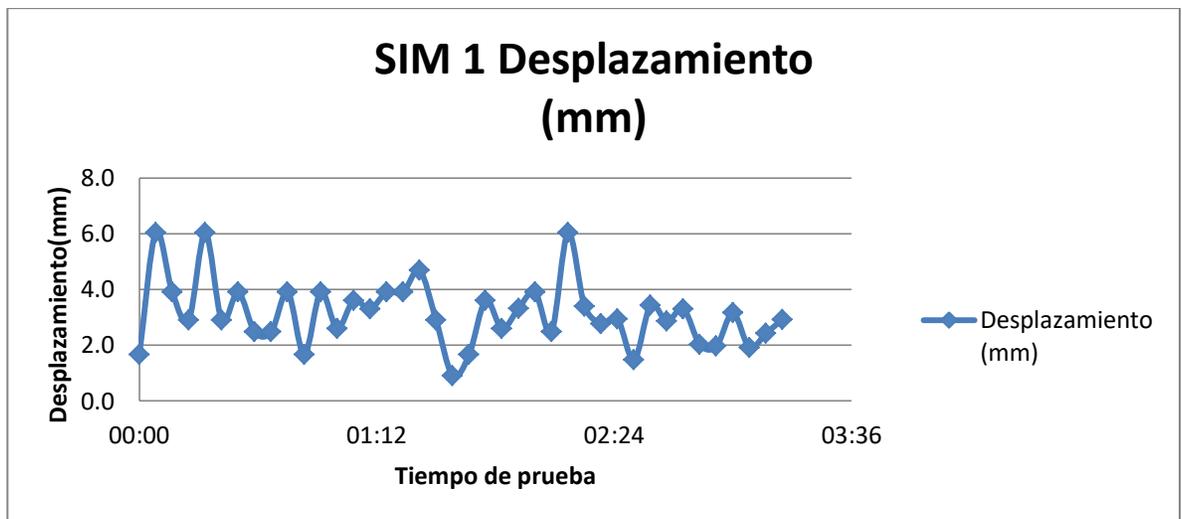


Figura 8.17 Perfil de desplazamiento para el sim holder 1 durante la prueba de vibración.

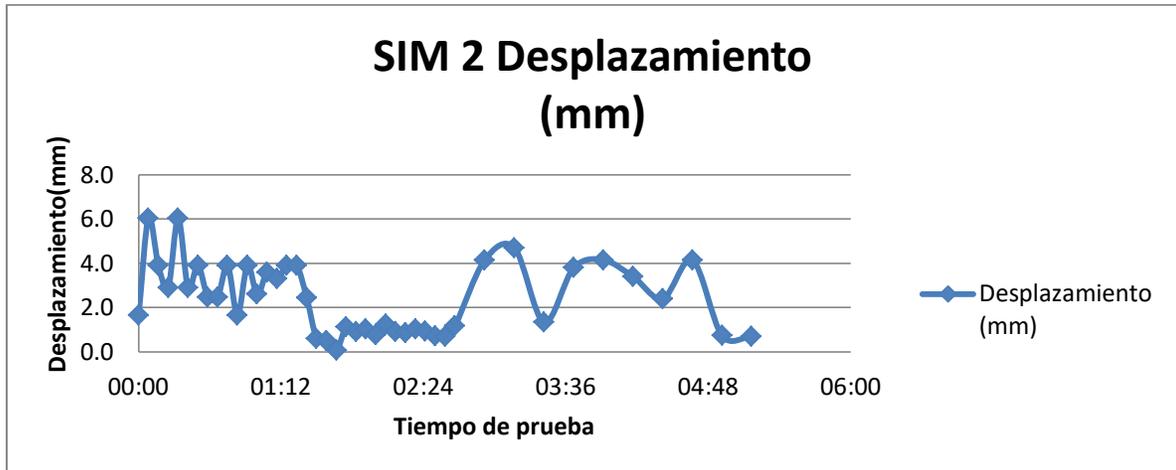


Figura 8.18 Perfil de desplazamiento para el sim holder 2 durante la prueba de vibración.

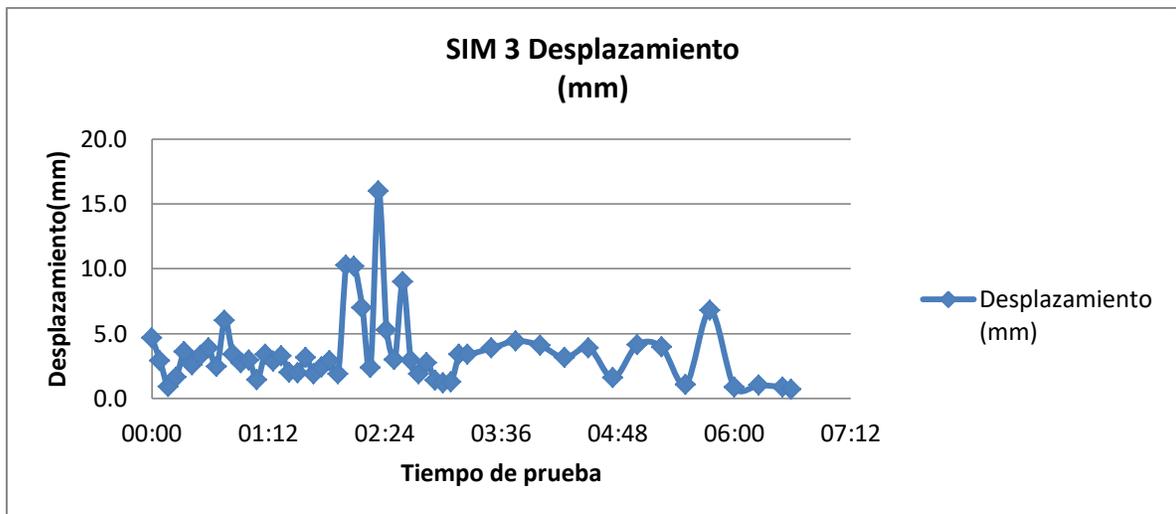


Figura 8.19 Perfil de desplazamiento para el sim holder 3 durante la prueba de vibración.

De la información anterior podemos observar los siguientes datos generales (tabla 8.1) como un resumen del comportamiento de cada uno de los sim holders durante la prueba de vibración:

Tabla 8.1  
Resumen de comportamiento de sim holder

SIM holder	Duración en vibración (hr)	Frecuencia promedio (Hz)	Aceleración Pico promedio (m/s <sup>2</sup> )	Velocidad promedio (m/s <sup>2</sup> )	Desplazamiento promedio (mm)	Número aproximado de ciclos	Estado
1	3,25	13,56	15,90	7,92	3,14	158652,00	Falló
2	5,17	14,96	13,04	6,42	2,41	278251,67	No falló
3	6,58	15,01	15,68	8,34	3,53	355672,04	No falló

Podemos observar que el SIM holder 1 falló a 158652 ciclos una de las posibles causas fue que a 122040 ciclos se le retiró el silicón de refuerzo y es probable que afectara la estructura mecánica de soporte del SIM holder.

### 1.5. Imágenes relevantes del proyecto

Se presentan una fotografías del dispositivo concluido, en la figura 8.20 se presenta el gabinete diseñado (38), este diseño no se abarca en el presente documento debido a que forma parte un documento de referencia pero que el sistema de comunicación de datos satelital y GSM se encuentra contenido dentro de dicho gabinete, en la figura 8.21 se presenta el la zona de instalación del dispositivo, en la figura 8.22 podemos observar un dispositivo KAXAN-HA ya instalado, así como

en la figura 8.23 podemos observar una cooperativa de pescadores del puerto de Champotón Campeche.



Figura 8.20 Gabinete diseñado para el dispositivo KAXAN-HA.



Figura 8.21 Embarcación a la que se le instaló un dispositivo de monitoreo KAXAN-HA.

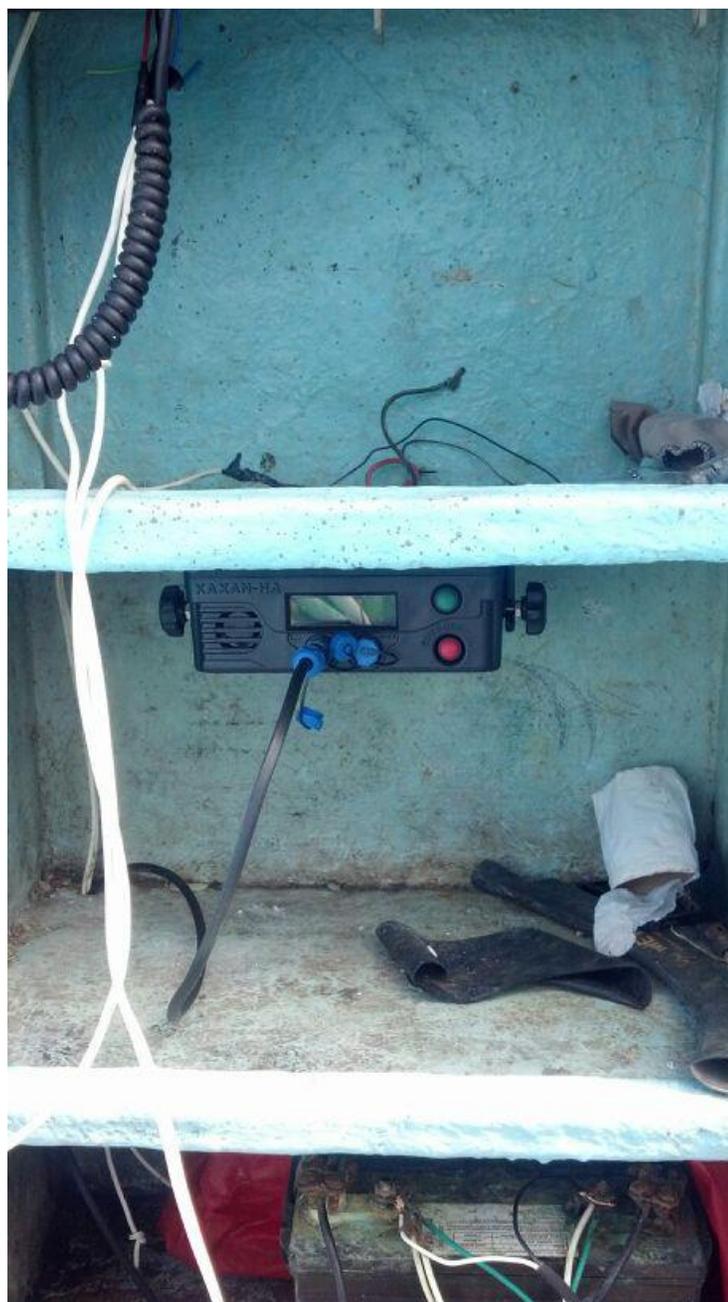


Figura 8.22 Dispositivo KAXAN-HA instalado en embarcación de pesca artesanal.



Figura 8.23 Cooperativa de pescadores en el puerto de Champotón Campeche.

## 9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1. **Instituto nacional de ecología.** Insituto Nacional de Ecología. [En línea] 12 de Diciembre de 2012. [Citado el: 14 de Enero de 2013.] [www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/448/8.pdf](http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/448/8.pdf).

2. **FAO.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [En línea] 2012. [Citado el: 14 de Enero de 2013.] [www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf](http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf).

3. **Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca.** Sistema de Localizacion y Monitoreo Satelital de Embarcaciones Pesqueras. [En línea] 2012. [Citado el: 8 de Enero de 2013.] <http://200.94.129.210/DescripcionSISMEP.aspx>.

4. —. Sistema de localización y monitoreo satelital de embarcaciones pesqueras. [En línea] 2012. [Citado el: 8 de Enero de 2013.] <http://200.94.129.210/DefinicionSISMEP.aspx>.

5. **CONAPESCA.** Comisión Nacional de Pesca. *Sistema de Localizacion y Monitoreo Satelital de Embarcaciones Pesqueras*. [En línea] 2012. [Citado el: 8 de 1 de 2013.] <http://200.94.129.210/Documentos.aspx>.

6. **Xanatos Marine.** Xanatos Marine Sailing in the Future. [En línea] 2009. [Citado el: 16 de enero de 2013.] [http://www.xanatosmarine.com/TITAN\\_SENTINEL.html](http://www.xanatosmarine.com/TITAN_SENTINEL.html).

7. **Thrane &Thrane.** Thrane&Thrane. [En línea] [Citado el: 8 de Enero de 2013.] [http://www.thrane.com/~media/Files/Downloads/At%20Sea/Product%20Sheets/71\\_13378\\_2\\_SAILOR\\_6150\\_mini\\_C\\_Distress.pdf](http://www.thrane.com/~media/Files/Downloads/At%20Sea/Product%20Sheets/71_13378_2_SAILOR_6150_mini_C_Distress.pdf).

8. **Skywave Mobile Communications.** Skywave. [En línea] 2011. [Citado el: 8 de Enero de 2013.] [http://www.skywave.com/styles/images/stories/datasheets/spanish/idp\\_780\\_spa.pdf](http://www.skywave.com/styles/images/stories/datasheets/spanish/idp_780_spa.pdf).

9. —. Skywave. [En línea] 2011. [Citado el: 19 de Enero de 2013.] [http://www.skywave.com/styles/images/stories/datasheets/idp\\_780\\_eng.pdf](http://www.skywave.com/styles/images/stories/datasheets/idp_780_eng.pdf).
10. **Dimov I, Stojce.** *Global Mobile Communications*. Primera edición. Norwell : Springer, 2005.
11. *Global mobile N-ISDN satellite communication system.* **Kazama, Hiroshi, Otsu, Toru y Minomo, Masashiro.** ISBN 0-7803-4320-4, Mayo de 1998, IEEE, Vol. 1.
12. *Remote monitoring of military assets using commercial LEO satellites.* **Reut, Anton B. y Hara, Todd.** ISBN 0-7803-2489-7, 1995, IEEE, Vol. 2.
13. *Analysis of system parameters for LEO/ICO-satellite communication networks.* **Werner, Marcus, y otros, y otros.** ISSN 0733-8716, 6 de Agosto de 2002, IEEE, Vol. 13.
14. *Iridium(R) aeronautical satellite communications.* **Lemme, P.W, Glenister, S.M y Miller, A.W.** 0885-8985, Noviembre de 1999, IEEE, Vol. 14. ISSN.
15. *Inmarsat Second Generation Satellites for Mobile Communications.* **E., Gambaruto, Banks, D.K. y Krinsky, B.** London : IEEE, 2002. Aerospace Applications Conference. pág. 13.
16. *INMARSAT and the Future of Mobile Satellite Services.* **Ghais, A, Berzins, G y Wright, D.** 0733-8716, 6 de Enero de 2003, IEEE, Vol. 5. ISSN.
17. **NAVTEC.** The geo-stationary Inmarsat-satellites. [En línea] [Citado el: 06 de Julio de 2011.] <http://www.navtec.de/english/inmarsat.htm>.
18. **Coraza, Giovanni E.** *Digital Satellite Communications*. Primera Edición. New York : Springer, 2007.
19. *ORBCOMM low Earth orbit mobile satellite communication system.* **Hara, Todd.** ISBN 0-7803-2004-2, 2002, IEEE.

20. *Engineering ORBCOMM: a digital satellite communications system exploiting a range of modern technologies.* **Hardman, G.E.** ISBN 0-85296-502-8, 06 de Agosto de 2002, IEEE.

21. *ORBCOMM low earth orbit mobile satellite communication system: US Armed Forces applications.* **Hara, Todd.** ISBN 0-7803-0953-7, 6 de Agosto de 2002, IEEE, Vol. 2.

22. *ORBCOMM constellation operations approach.* **Yarbrough, Patrick.G.** ISBN 0-7803-2489-7, 2002, IEEE, Vol. 2.

23. *Military communications satellite system multiplies UHF channel capacity for mobile users.* **Wadsworth, Donald v. 2.** 0-7803-5538-5, 31 de Octubre de 1999, IEEE, Vol. 2. ISBN.

24. *Diversity effect on VHF space communications.* **Takahashi, K.** 0018-926X, 2003, IEEE, Vol. 17. ISSN.

25. **Bruce R., Elbert.** *Introduction to satellite communications.* Tercera Edición. Norwood : ARTECH HOUSE, 2008.

26. **Microchip Corporation.** Microchip. [En línea] 2012. [Citado el: 16 de enero de 2013.] <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010313>.

27. —. Microchip. [En línea] 2012. [Citado el: 16 de enero de 2013.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39646c.pdf>.

28. **Skywave Communications Inc.** Skywave. [En línea] 2011. [Citado el: 18 de enero de 2013.] [http://www.skywave.com/styles/images/stories/datasheets/dmr-800\\_oem\\_eng.pdf](http://www.skywave.com/styles/images/stories/datasheets/dmr-800_oem_eng.pdf).

29. **UBOX.** UBOX. [En línea] 2012. [Citado el: 16 de enero de 2013.] <http://www.u-blox.com/en/gps-modules/pvt-modules/neo-6-family.html>.

30. **Skywave Mobile Communications Inc.** support.skywave.com. [En línea] 01, Febrero de 2011. Application Note - 34 Interfacing an External Controller.pdf.

31. —. support.skywave.com. [En línea] 10, Mayo de 2009. T9 DMR-800 and SureLinx API Reference.pdf.

32. **Australian Government.** Earth Monitoring and Reference Systems. [En línea] 12 de Noviembre de 2012. [Citado el: 22 de enero de 2013.] <http://www.ga.gov.au/earth-monitoring/geodesy/geodetic-datums/other/wgs84.html>.

33. **University of California.** Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego. <http://topex.ucsd.edu/>. [En línea] 10 de Octubre de 2012. [Citado el: 22 de enero de 2013.] [http://topex.ucsd.edu/geodynamics/14gravity1\\_2.pdf](http://topex.ucsd.edu/geodynamics/14gravity1_2.pdf).

34. **SkyWave Mobile Communications Inc.** support.skywave.com. *download section*. [En línea] 01, Julio de 2010. S15 Mobile Display Terminal Software Tools Tutorial.pdf. support.skywave.com.

35. **Skywave Mobile Communications.** support.skywave.com. [En línea] VERSION 2, ABRIL de 2011. AN27 INTERFACING DIGITAL INPUT AND OUTPUTS.pdf- APPLICATION NOTES.

36. **Skywave Mobile Communications Inc.** support.skywave.com. [En línea] 04, Abril de 2009. DMR Script Designer Guide.pdf- Software Tools.

37. **National Weather Service.** National Hurricane Center. *NOA*. [En línea] 2011. [Citado el: 18 de Octubre de 2011.] [http://www.nhc.noaa.gov/gtwo\\_atl.shtml](http://www.nhc.noaa.gov/gtwo_atl.shtml).

38. **Chavez, Víctor Lopez.** *Diseño y construcción de un gabinete para dispositivo de comunicación marina*. Mérida, Yucatán, México : Instituto Tecnológico de Mérida, 2013.

39. **Skywave Mobile Communications.** support.skywave.com. [En línea] 02, Abril de 2011. Interfacing Digital Inputs and Outputs.pdf -Application Notes.