Capítulo 4

Recolección de información y datos

La recolección de información y datos provenientes de las redes de observación terrestre locales e internacionales es una función central de los Centros Nacionales de Alerta de Tsunamis (*National Tsunami Warning Centre*, NTWC) y los Proveedores Regionales de Vigilancia de Tsunami (*Regional Tsunami Watch Provider*, RTWP), los cuales deben cumplir los siguientes tres requisitos básicos de recolección de información y datos:

- recolectar datos de observaciones sísmicas y del nivel del mar;
- recibir informes de agencias nacionales, estatales y locales, y del público, referentes al impacto de un evento;
- compartir información y datos con otros NTWC y RTWP.

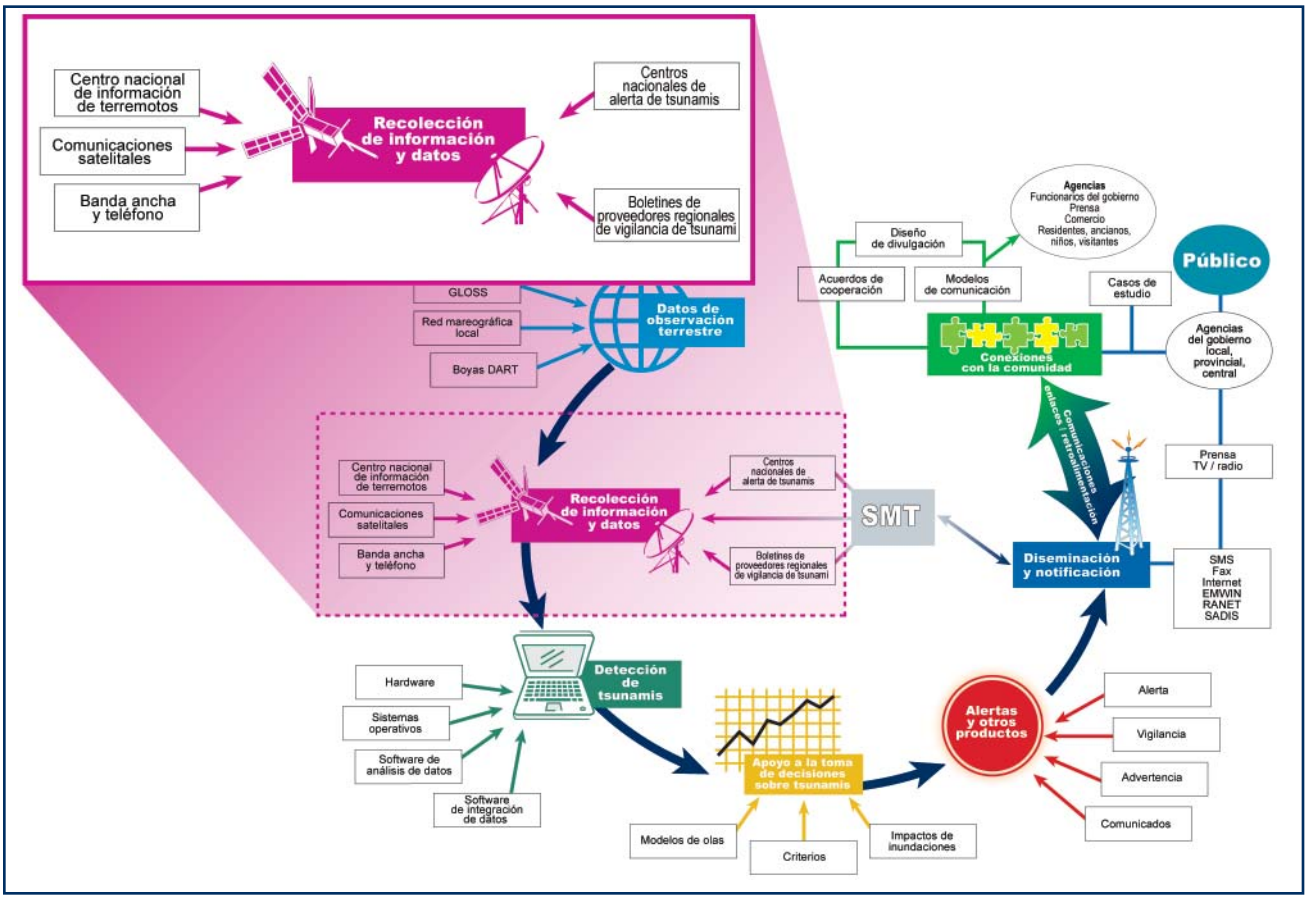


Figura 4-1. Componentes de requisitos de recolección de información y datos de un centro de alerta de tsunamis.

Este capítulo describe los requisitos de recolección de información y datos y explica en particular cómo funcionan los sistemas de comunicación para la recopilación de datos sísmicos y mareográficos necesarios para detectar tsunamis (figura 4-1).

La recolección de la información y los datos necesarios para detectar un tsunami requiere varias conexiones de telecomunicaciones. Ciertos datos, especialmente los datos sísmicos y del nivel del mar que provienen de redes internacionales, están disponibles en tiempo real a través de internet y de enlaces satelitales descendentes. A menudo, las redes de datos mantenidas a nivel local requieren vías de comunicación alternativas, como líneas terrestres, teléfonos inalámbricos o sistemas de radio. Este capítulo se dirige a aquellas personas que necesitan entender los diferentes métodos de comunicación necesarios para recolectar y compartir información y datos, así como la importancia de mantener estos programas de comunicación y de respaldo.

¿Cómo encaja la recolección de información y datos en un sistema integral de alerta de tsunamis?

Los sistemas de recolección de información y datos forman parte de la detección de amenazas y del componente de pronóstico de un sistema integral de alerta de tsunamis. La rápida detección y caracterización de terremotos tsunamigénicos constituye el primer indicio del potencial de un tsunami en un sistema integral de alerta de tsunamis. Las alertas iniciales basadas en los datos sísmicos provenientes de las redes sismográficas se perfeccionan posteriormente cuando los mareógrafos y las boyas detectan los cambios de nivel del mar provocados por un tsunami. Ambos tipos de datos, sísmicos y mareográficos, deben llegar al centro de alerta de tsunamis con la menor demora posible para que se puedan utilizar en los procesos de alerta. Debido a esto, los sistemas de comunicación para recolectar datos son cruciales para lograr un sistema exitoso de alerta. Para asegurar un programa robusto, es necesario utilizar redes y vías de comunicación de respaldo.

¿Qué contiene este capítulo?

En este capítulo se tratan los temas siguientes:

- **Recolección de información y datos principales a través del Sistema Mundial de Telecomunicaciones (SMT).** Esta sección describe el SMT de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como el sistema principal de recolección de datos terrestres, incluyendo el formato general de los mensajes y el sistema de conmutación de mensajes (*Message Switching System*, MSS).
- **Otros canales de comunicación para recolección de información y datos.** En esta sección se describen brevemente otros métodos aparte del SMT, como internet, teléfono, etc., para recuperar datos de observación terrestre.
- **Acceso a las redes sísmicas internacionales.** Esta sección explica los métodos de acceso a la red sismológica mundial (*Global Seismic Network*, GSN) y a las redes sísmicas locales.

- **Acceso a las redes mareográficas internacionales.** Esta sección describe los requisitos de comunicación que los NTWC y RTWP necesitan para acceder al Sistema Mundial de Observación del Nivel del Mar (*Global Sea Level Observing System*, GLOSS), una red internacional de vigilancia del nivel del mar.
- **Comunicaciones de respaldo para recolectar información y datos.** Esta sección explica las conexiones de comunicación que deben existir con otros centros y la importancia de los canales de comunicaciones alternativos.
- **Formatos de recolección de datos.** Esta sección describe los formatos de los datos sísmicos, mareográficos y de boyas del sistema DART ™ (*Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis*) de evaluación del fondo oceánico e informe de tsunamis.

¿Cuáles son los puntos más importantes a recordar sobre la recolección de información y datos en los NTWC y RTWP?

- Los centros de alerta de tsunamis deben recibir los datos sísmicos y mareográficos críticos rápidamente para poder utilizarlos en el proceso de alerta.
- Los datos sísmicos y mareográficos provenientes de las redes internacionales están disponibles en tiempo real a través de internet y de enlaces satelitales descendentes.
- A menudo, las redes de datos de que se mantienen a nivel local requieren canales de comunicación alternativos, como líneas terrestres, teléfonos inalámbricos o radio.
- Para asegurar un programa robusto, es necesario mantener redes y vías de comunicación de respaldo.

Recolección de información y datos principales a través del Sistema Mundial de Telecomunicaciones

La vía principal para la recolección de datos de los NTWC y RTWP es el Sistema Mundial de Telecomunicaciones (SMT) de la Organización Meteorológica Mundial. El SMT distribuye una amplia gama de datos de observaciones terrestres cuyo formato y contenido es estándar. La información y los datos se canalizan mediante un sistema de conmutación de mensajes (MSS) que se compone de sistemas de hardware y software. La figura 4-2 muestra un esquema de la estructura general del SMT.

El SMT interconecta los servicios meteorológicos y otros centros de todo el mundo. Su objetivo principal es distribuir alertas, avisos de vigilancia, productos y otros datos meteorológicos e hidrológicos y de otros tipos a la comunidad meteorológica mundial, representada por las naciones constituyentes de la OMM. La estructura del SMT hace uso de los circuitos de comunicaciones terrestres para diseminar datos, productos y boletines sobre una red escalonada. El SMT está organizado en tres niveles básicos: los Centros Meteorológicos Mundiales (CMM), los Centros Regionales de Telecomunicaciones (CRT) y los Centros Meteorológicos Nacionales (CMN).

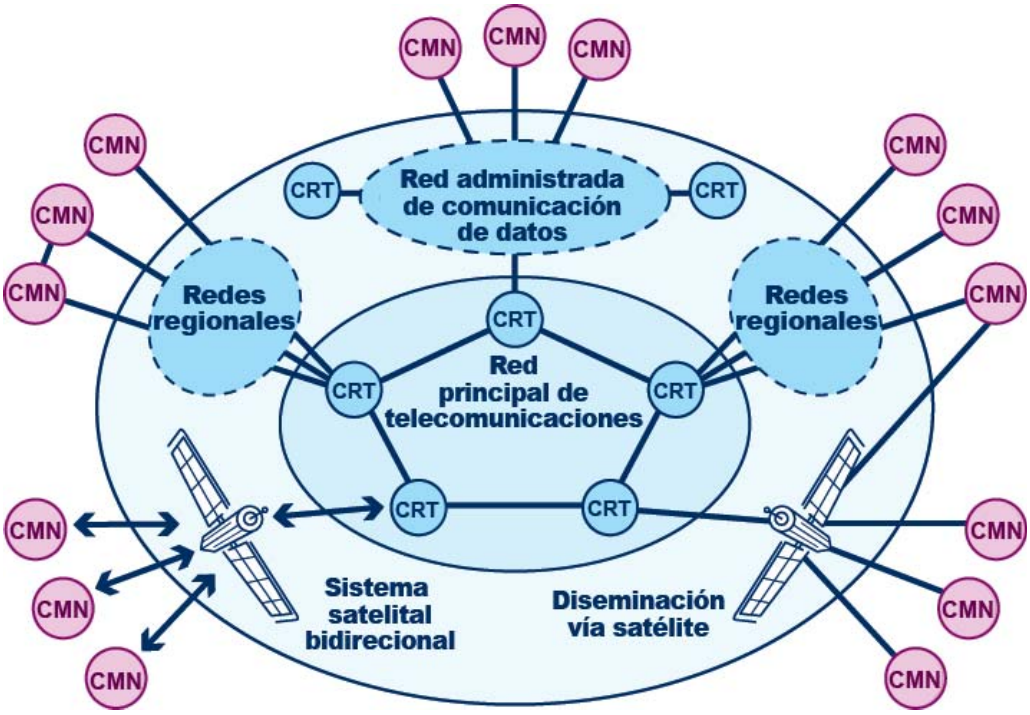


Figura 4-2. Estructura básica del SMT.

Los tres Centros Meteorológicos Mundiales y los Centros Regionales de Telecomunicaciones están interconectados a través de la Red Principal de Telecomunicaciones (RPT). Los Centros Meteorológicos Mundiales están conectados a los Centros Regionales de Telecomunicaciones y a otros Centros Meteorológicos Nacionales a través de numerosas Redes Regionales de Telecomunicaciones Meteorológicas (RRTM). Los Centros Meteorológicos Mundiales están conectados a varios puntos dentro del país a través de las Redes Nacionales de Telecomunicaciones Meteorológicas (RNTM). Además de los componentes de redes terrestres, varios sistemas satelitales suministran datos y boletines meteorológicos en diversas regiones.

Algunos Centros Meteorológicos Mundiales recolectan datos de observaciones dentro de sus territorios, como observaciones de la alta atmósfera, temperatura superficial y vientos, datos de sensores sísmicos, datos mareográficos e informes de aviación y buques, y los utilizan para producir pronósticos y boletines. Estos datos y mensajes se reúnen para su distribución a los Centros Regionales de Telecomunicaciones y a los Centros Meteorológicos Mundiales a través del SMT. Un conjunto de catálogos de distribución en cada nivel (CMM, CRT y CMN) del SMT, permite enviar los datos a través del SMT a todos los centros que necesitan cada uno de los conjuntos de datos o mensajes. Los formatos y procedimientos de envío se definen formalmente en el Manual 386 de la OMM, *Manual del Sistema Mundial de Telecomunicación*. Hay otros Centros Meteorológicos Nacionales que reciben datos del SMT, pero que aún no contribuyen mensajes generados a nivel local para distribución por medio del

SMT. Cabe mencionar que si bien el SMT maneja de forma aceptable los datos de nivel del mar, en la actualidad la transmisión de los datos sísmicos no forma parte de sus objetivos y parece más apropiado realizarla a través de otros canales de comunicación.

Contenido y formatos de los datos

El Manual 386 de la OMM define el formato de los mensajes meteorológicos para transferir información y datos a través del SMT. La información que pasa por el SMT puede estar en formato alfanumérico, binario o de imagen. Los mensajes tienen una estructura predefinida que consiste en un renglón inicial, un encabezado abreviado, el texto del boletín y el renglón final del mensaje. La figura 4-3, tomada del Manual 386 de la OMM, ilustra esta estructura.

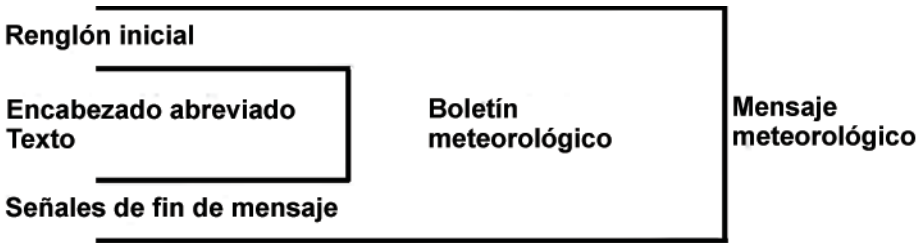


Figura 4-3. Estructura de un boletín del SMT.

El renglón inicial, el encabezado y el renglón final son alfanuméricos y utilizan el alfabeto telegráfico internacional No. 2 (ITA-2) o el alfabeto internacional No. 5 (IA-5). Los mensajes que contienen información en representación binaria requieren el uso del AI-5 para rellenar esos campos.

Mientras se utilice el SMT como medio preferido de transmisión de datos mareográficos desde su fuente (los mareógrafos) hasta los centros interesados en los datos (en particular, el Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar (SPNMM), el Centro de Nivel del Mar de la Universidad de Hawai (*University of Hawaii Sea Level Center*, UHSLC) y los centros nacionales de datos de nivel del mar), deberá utilizarse el formato de datos que se explica en la *Guía de las claves de la OMM*, que está disponible en español en **http://www.wmo.int/pages/prog/www/WMOCodes/Guides/BUFRCREXPreface_sp.html.** En la figura 4-10 se puede apreciar un ejemplo de un mensaje del SMT.

Sistemas de conmutación de mensajes (MSS)

Los sistemas de hardware y software llamados Sistema de Conmutación de Mensajes (*Message Switching System*, MSS) constituyen el núcleo del mecanismo de asignación de rutas del SMT. Estos sistemas, desarrollados y utilizados por varias firmas comerciales y agencias gubernamentales en todo el mundo, deben cumplir con la estructura de mensajes y los procedimientos de asignación de ruta estipulados en el Manual 386 de la OMM.

Un MSS es esencialmente un filtro de almacenamiento y reenvío de datos. La corriente constante de datos disponibles en una o más conexiones de entrada se vigila continuamente para identificar el encabezado de los mensajes, por medio del cual el MSS toma decisiones de direccionamiento y almacenamiento de acuerdo con la configuración definida por el usuario. Normalmente, los mensajes se guardan en una base de datos y se reenvían también a destinos predeterminados que incluyen, entre otros, estaciones de trabajo de pronóstico local, dispositivos de almacenamiento local, otras organizaciones dentro del territorio de los CMN (por ejemplo, los centros de manejo de desastres y las redes nacionales de diseminación) y otros MSS de la red del SMT. Los mensajes se pueden encaminar de diferentes formas, como con conexión de tipo punto a punto a través de una red de área local (LAN) o una red de área amplia (WAN), por vía telefónica, por fax o por medio de una estación satelital terrestre de terminal de apertura muy pequeña (*Very Small Aperture Terminal*, VSAT), o por internet, utilizando los servicios de protocolo de transferencia de archivos (FTP), etc.

Entre los Centros Regionales de Telecomunicaciones y los Centros Meteorológicos Nacionales, los datos se direccionan de acuerdo con los catálogos de formatos de asignación de ruta del SMT disponibles en el MSS de cada uno de los centros. Estos catálogos consisten de archivos ASCII que se pueden importar a programas de bases de datos. Por lo tanto, la estructura de los archivos es tal que cada línea o registro contiene una entrada discreta de ruta que comprende un encabezado abreviado de 11 caracteres, 4 caracteres que identifican la conexión del SMT por donde se recibe el boletín y una o más series de 4 caracteres que identifican la conexión del SMT por donde se debe enviar el boletín. La OMM estipula que todos los centros hagan sus catálogos de asignación de rutas disponibles a través de un servidor FTP y que los actualicen por lo menos cada 3 meses, pero preferiblemente cada mes. El formato prescrito es de valores separados por comas, cuyo primer registro contiene la última fecha de modificación del archivo en el formato AAAAMMDD. La funcionalidad de un MSS varía de acuerdo con el centro (CMM, CRT o CMN) y las capacidades y requisitos de cada país. Muchos MSS son más sofisticados y están enlazados a otros sistemas de hardware y software tales como sistemas de visualización meteorológica, procesamiento, pronóstico y manejo de desastres.

Puntos importantes que recordar acerca de la recolección de datos a través del SMT

- El SMT se puede utilizar para:
  - recolectar datos de observación terrestre;
  - compartir información y datos con otros NTWC y RTWP.
- El SMT es un sistema organizado en tres niveles: los Centros Meteorológicos Mundiales, los Centros Regionales de Telecomunicaciones y los Centros Meteorológicos Nacionales.
- El SMT utiliza sistemas de conmutación de mensajes (MSS) para asignar dirección, dar prioridad y encaminar los productos.

- Los formatos requeridos para los productos del SMT se especifican en el Manual 386 de la OMM.
- Los datos de nivel del mar se pueden rastrear a través del SMT, pero el principal medio para acceder a los datos sísmicos debe ser a través de otros medios, particularmente por internet y circuitos dedicados a esa tarea.

Otros canales de comunicación para recolección de información y datos

Comentario

Es buena idea automatizar la recolección de datos y hacer que los parámetros de consulta se puedan modificar fácilmente durante un evento.

Aparte del SMT, existen otras opciones de comunicación para recolectar la información y los datos que los NTWC y RTWP necesitan para detectar tsunamis, como internet, redes de área amplia dedicadas, enlaces telefónicos y de banda ancha, y sistemas satelitales. Los datos de las redes sísmica y mareográfica internacional se obtienen por internet y a través del SMT, respectivamente. En muchos casos, un centro de alerta de tsunamis puede recolectar datos sísmicos, de boyas y de mareógrafos nacionales mediante líneas telefónicas o utilizando tecnologías inalámbricas tales como teléfonos celulares y enlaces de radio. En lo posible, los métodos de interrogación deben ser automáticos y fácilmente modificables durante un evento.

Comunicación de datos sísmicos: acceso a redes sísmicas internacionales

Como ya mencionamos en la sección sobre redes sísmicas del capítulo 3, los NTWC y RTWP pueden acceder a las redes sísmicas internacionales para recibir datos sísmicos de crucial importancia. En esta sección se describen los métodos que permiten acceder a la red sismológica mundial (GSN) de IRIS (*Incorporated Research Institutions for Seismology*).

Red sismológica mundial (GSN) de IRIS

La GSN de IRIS está constituida por aproximadamente 130 estaciones afiliadas al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), al proyecto IDA (*International Deployment of Accelerometers*) de la Universidad de California en San Diego (UCSD), al Centro de GeoInvestigación de Potsdam (GEOFON), a la Administración Sismológica de China (NCDSN), al Instituto de Física del Globo de Paris (GEOSCOPE), al Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) en Hannover (Alemania), a la Red Sismográfica Nacional de Estados Unidos (USNSN), a la Red Sísmica Digital de Berkeley (BDSN), al Centro de Aplicaciones Técnicas de la Fuerza Aérea de Estados Unidos (AFTAC) y a algunas otras redes nacionales e internacionales.

La GSN fue concebida como una red de sismógrafos digitales distribuidos de manera uniforme alrededor del globo, con una configuración que separa las estaciones a razón de aproximadamente 18 grados de arco o 2000 km. Dos décadas después del nacimiento de IRIS, hay 126 estaciones instaladas y otras 12 planeadas. Estas estaciones están distribuidas en todas las masas continentales, en algunos sitios insulares clave y en un lugar en el fondo del océano ubicado entre Hawai y la costa del Pacífico de Estados Unidos. El USGS administra 73 de las estaciones instaladas y las universidades estadounidenses e instituciones afiliadas están a cargo de las restantes 53. Cuando las estaciones de la GSN se combinan con las estaciones de la Federación de Redes de Sismógrafos Digitales (*Federation of Digital Seismograph Networks*, FDSN) y del Sistema Internacional de Vigilancia (SIV) de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares, el número de estaciones terrestres excede la cantidad contemplada por el plan original de la GSN. Aunque el número exacto de estaciones y su ubicación seguirá cambiando conforme se instalen estaciones adicionales o se cierren algunas otras, se anticipa que las alteraciones del sistema actual serán mínimas.

Las estaciones de la GSN de IRIS registran los datos sísmicos generados por sismómetros de banda muy ancha a un ritmo continuo de 20 muestras por segundo (mps) y, donde las condiciones lo ameritan, por sensores que generan datos de alta frecuencia (40 mps) y de movimientos fuertes (1 a 100 mps). También es parte del objetivo de la GSN brindar acceso a sus datos en tiempo real por internet o vía satélite. La mayoría de las estaciones de la GSN de IRIS satisfacen este objetivo. La figura 4-4 muestra la distribución de las estaciones de la GSN.

Figura 4-4. Distribución mundial de las redes sísmicas.

Sensores utilizados en la GSN de IRIS

La red utiliza diversos sensores para capturar el rango completo de información geofísica ambiental alrededor de un punto de la GSN de IRIS. Los sensores se pueden agrupar en varias categorías:

- **Sismómetro principal de banda ancha.** Cada estación del proyecto IDA de IRIS emplea uno de dos tipos de sismómetro (el sismómetro de banda muy ancha STS-1 fabricado por G. Streckeisen AG o un KS54000-IRIS triaxial fabricado por Geotech Instruments, LLC) para registrar datos sísmicos precisos que van desde períodos muy largos hasta períodos de rango medio.
- **Sismómetro auxiliar.** Debido a que los sensores STS-1 y KS54000-I no registran cierta parte de la gama de frecuencias más altas del espectro sísmico con la sensibilidad deseada por la comunidad IRIS, en muchas estaciones se ha instalado un sensor auxiliar, que puede ser un STS-2, fabricado también por G. Streckeisen AG, un CMG-3T de Guralp Systems Ltd. o un GS-13 de Geotech Instruments, LLC.
- **Acelerómetros de movimiento fuerte.** Los sismómetros anteriores se comportan de manera no lineal cuando son sometidos a aceleraciones fuertes. A fin de registrar aceleraciones fidedignas hasta 2 g, en la mayoría de las estaciones se ha instalado un instrumento de movimiento fuerte. El instrumento utilizado en las estaciones IRIS/IDA es el FBA-23, fabricado por Kinemetrics Inc.
- **Otros instrumentos.** Debido al efecto de la presión del aire en los registros sísmicos de período largo y a fenómenos geofísicos tales como las erupciones volcánicas, que generan ondas de presión que son de interés para los sismólogos, se decidió instalar microbarógrafos en las estaciones de la GSN. El modelo utilizado en las estaciones IRIS/IDA es el 6016-B, fabricado por Paroscientific, Inc.

Comunicaciones de la GSN

Las estaciones de la red sísmica mundial de IRIS están configuradas como nodos para facilitar el acceso a internet y a la infraestructura asociada de telecomunicaciones de larga distancia. Con el desarrollo de la capacidad de adquisición y transmisión de datos basados en TCP/IP (Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet), la tarea de recolectar datos desde lugares remotos se reduce a procurar que la estación cuente con una conexión de internet, un problema para el cual existe una multitud de soluciones en el ámbito comercial.

Los nodos de las estaciones de la GSN indicados en la figura 4-5 se conectan a internet de varias formas, incluidas las siguientes:

- redes de área local existentes en internet;
- circuitos de telecomunicaciones dedicados (arrendados) a un “punto de presencia” en internet;
- circuitos de telecomunicaciones telefónicos a un “punto de presencia” de internet;
- circuito satelital para las estaciones no accesibles por medio de los circuitos de telecomunicaciones existentes.

Figura 4-5. Métodos de comunicación que se utilizan en los sitios de la GSN.

Los datos adquiridos por telemetría pueden utilizarse para propósitos tales como:

- **Alerta de tsunami:** La transmisión rápida de datos sísmicos permite localizar un terremoto en poco tiempo, evaluar la probabilidad de que genere un tsunami y predecir cuando llegará la ola destructiva. Tales predicciones han salvado numerosas vidas.
- **Respuesta de emergencia:** Gracias a la localización rápida y exacta de los sismos, el personal a cargo de coordinar las operaciones de emergencia puede planear mejor la respuesta frente a los posibles desastres en regiones remotas del mundo.
- **Vigilancia de explosiones subterráneas:** Los métodos sísmicos se utilizan cada vez más para vigilar el cumplimiento de los tratados de prohibición de pruebas nucleares. Las explosiones subterráneas de artefactos nucleares producen ondas de choque que se pueden detectar con instrumentos sísmicos a grandes distancias.

Con el fin de evitar enormes pérdidas de datos debido a la interrupción del servicio de una red, los centros deben esforzarse por recibir los datos sísmicos de más de un proveedor. Por ejemplo, el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC) recibe sus datos de ondas telesísmicas de los siguientes proveedores: el Centro Nacional de Información de Terremotos (*National Earthquake Information Center*, NEIC), el Laboratorio Sismológico de Albuquerque, el Centro de Alerta de Tsunamis de la Costa Oeste/Alaska (WC/ATWC), IRIS/IDA, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) en Menlo Park, el Instituto Tecnológico de California, la Universidad de Washington y la Universidad de Puerto Rico, Mayagüez.

Los datos de formas de onda telesísmicas fluyen al PTWC por medio de dos rutas básicas. La primera es la WAN de NEIC y la otra es la red mundial (la web). En términos de programación, estas dos rutas se pueden tratar como si fueran una sola, ya que no

existen diferencias entre ellas en lo que se refiere a TCP/IP. Las líneas dedicadas o directas tienen un ancho de banda garantizado y son independientes de la web. Los datos que fluyen por una línea dedicada deberían hacer menos saltos que los que pasan por la web, lo cual reduce su latencia. Además, los datos que pasan por vías dedicadas no son tan susceptibles a las interrupciones de la web.

Comentario

Los datos esenciales se deben recolectar de múltiples redes y a través de múltiples vías de comunicación.

Datos de nivel del mar: acceso a las redes mareográficas internacionales

Como ya señalamos en la sección sobre redes mareográficas del capítulo 3, existen numerosas redes de mareógrafos, muchas de las cuales son coordinadas por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

Sistema Mundial de Observación del Nivel del Mar (GLOSS)

La red de estaciones mareográficas más notable y completa es la red del Sistema Mundial de Observación del Nivel del Mar (*Global Sea Level Observing System*, GLOSS), dirigida bajo los auspicios de la Comisión Técnica Mixta sobre Oceanografía y Meteorología Marina (CMOMM) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la COI. El componente principal de GLOSS es la red central mundial, que comprende más de 290 estaciones en todo el mundo que permiten observar el cambio climático y los cambio del nivel del mar a largo plazo. La figura 4-6 muestra la definición actual de la red central mundial, llamada GLOSS02 (la definición cambia a intervalos de algunos años).

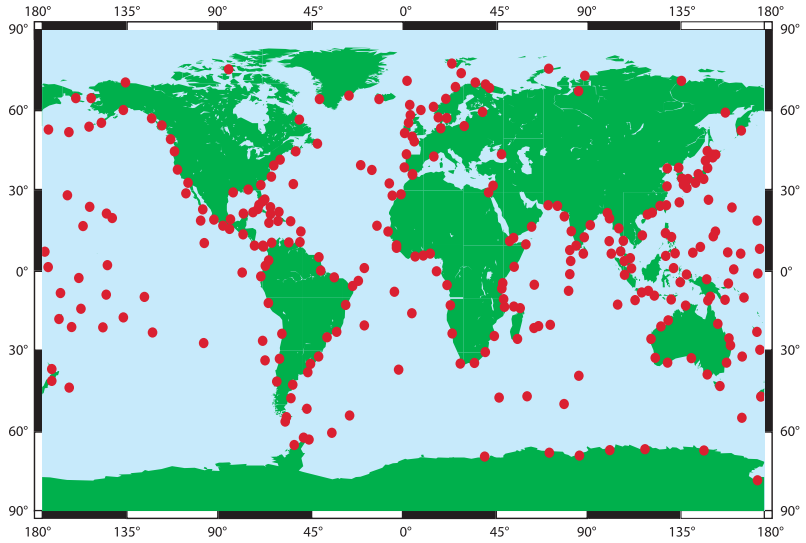
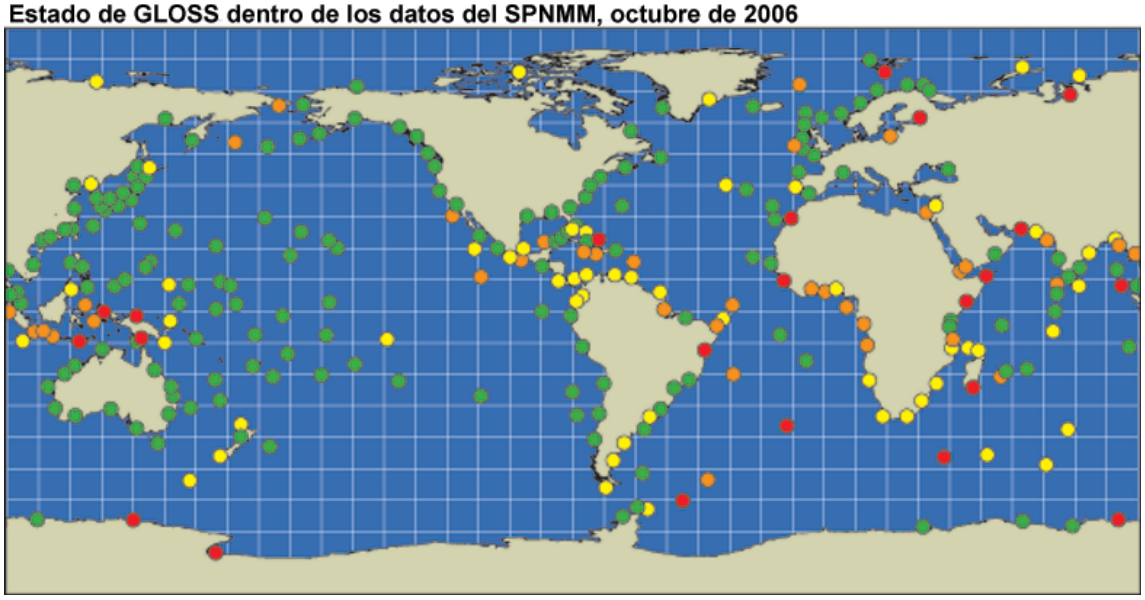


Figura 4-6. Red central mundial de GLOSS definida por GLOSS02

Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar (SPNMM)

El Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar (SPNMM) está a cargo de archivar los datos de la red GLOSS y de muchas otras redes. Desde 1933, el SPNMM ha recopilado, publicado, analizado e interpretado los datos de nivel del mar generados por la red mareográfica mundial. Este servicio tiene su base en el Laboratorio Oceanográfico de Proudman (POL), en Liverpool, que forma parte del Consejo Nacional de Investigaciones Medioambientales (*Natural Environment Research Council*, NERC) del Reino Unido. El SPNMM es miembro de la Federación de Servicios de Análisis de Datos Astronómicos y Geofísicos establecida por el Consejo Internacional para la Ciencia (*International Council for Science*, ICSU). Está respaldado por la Federación de Redes de Sismógrafos Digitales, la COI y el NERC. Las figuras 4-7 (a) y (b) muestran los tipos de estaciones GLOSS incluidas en la base de datos del SPNMM y la red mareográfica del Océano Índico.

Estado de GLOSS dentro de los datos del SPNMM, octubre de 2006



Normalmente, cada octubre el SPNMM produce un resumen anual del estado de la red central de GLOSS desde su perspectiva. El SPNMM considera que una estación es "operacional" si los valores mensuales y anuales recientes del NMM se recibieron, se revisaron dentro de lo posible y se incluyeron en el banco de datos. En cada una de las estaciones de la red central hemos utilizado el año de los últimos datos incorporados en el banco de datos, si hay alguno, para ubicar la estación en una de estas cuatro categorías:

- **Categoría 1:** estaciones "operacionales" cuyos últimos datos son de 2002 o después.
- **Categoría 2:** estaciones "probablemente operacionales" cuyos últimos datos se recibieron entre 1992 y 2001.
- **Categoría 3:** estaciones "históricas" cuyos últimos datos son anteriores a 1992.
- **Categoría 4:** estaciones para las cuales el SPNMM no tiene datos.

Figura 4-7a. Estado de las estaciones GLOSS en los archivos del SPNMM en octubre de 2006.

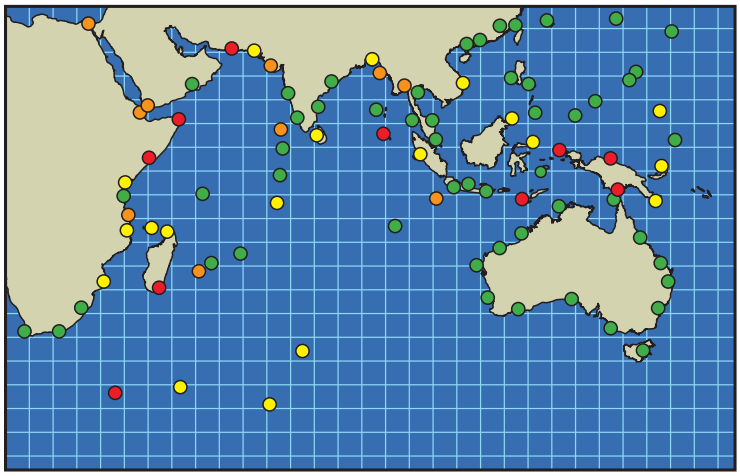


Figura 4-7b. GLOSS en las regiones del Océano Índico en octubre de 2006.

Comunicaciones

Dependiendo de la aplicación, los datos de nivel del mar adquiridos por un mareógrafo se necesitan "en tiempo real", "casi en tiempo real" o en "modo retardado". Por ejemplo, un sistema de alerta de marejadas o de tsunamis requiere la transmisión de los datos a la autoridad competente en tiempo real. Por otro lado, para ciertas investigaciones científicas sólo es preciso obtener los datos una vez al año y en ese caso se pueden almacenar localmente y recuperar durante una visita al sitio, ya sea bajando los datos a una computadora personal o extrayendo y reemplazando una tarjeta de memoria. Conviene adoptar siempre un procedimiento de adquisición a nivel local para prevenir la pérdida de datos valiosos, incluso si hay un enlace de comunicación en funcionamiento.

Sistema Mundial de Telecomunicaciones

Como ya mencionamos en la sección anterior, las organizaciones meteorológicas utilizan el SMT ampliamente para transmitir e intercambiar datos ambientales en tiempo real (vea **www.wmo.ch/web/www/TEM/gts.html**; y también el manual del SMT en **http://www.wmo.int/pages/prog/www/WDM/IPET-MI-I/Doc-3(1).doc**). Dado el trabajo realizado por la COI en el desarrollo del Sistema de Alerta y Mitigación de Tsunamis en el Océano Índico, la comunidad de usuarios de datos del nivel del mar utiliza el SMT cada vez más. El SMT constituye el futuro de la red GLOSS y en particular del centro de datos rápidos (*Fast Data Center*, FDC) del GLOSS.

El Grupo Intergubernamental de Coordinación del Océano Índico y otros grupos han adoptado estándares para las estaciones mareográficas primordiales para la detección de tsunamis que exigen la transmisión de los datos dentro de un plazo de 15 minutos después de que el mareógrafo registre el evento (Series Técnicas de la COI núm. 76). Las estaciones seleccionadas cerca de áreas tsunamigénicas pueden adaptar muestras de un minuto con ciclos de 5 minutos. Los datos comprenden muestras de 1 minuto

para lograr la resolución necesaria y se deben poner a disposición del SMT. De hecho, ésta es la recomendación para transmitir datos de nivel del mar a los sistemas de alerta de tsunami: hacer uso del SMT, que da buenos resultados si se utilizan los satélites meteorológicos geoestacionarios para la transmisión. Cuando éste no sea el caso, puede resultar necesario establecer algún arreglo con las organizaciones meteorológicas nacionales para incluir y descargar los datos de nivel del mar del SMT; para incluir los datos en el SMT, es probable que se requiera la transmisión automática, por correo electrónico o FTP, de la agencia mareográfica nacional al instituto meteorológico, al GFDC, o al sistema de alerta de tsunamis.

Otras comunicaciones satelitales para recolección de datos

La misión de los satélites meteorológicos suele ser doble: recolectar datos de observaciones, como imágenes infrarrojas y visibles, y diseminar dichos datos y también otros productos transmitidos al satélite por el servicio meteorológico que controla el satélite. Además, algunos de estos satélites reciben datos de algunas plataformas de recolección de datos, como las boyas y los mareógrafos. A menudo, es posible aumentar la frecuencia de consulta a los instrumentos de medición y acortar el lapso entre transmisiones si se alcanza o se excede algún valor de un parámetro específico de un centro de alerta de tsunamis.

Varios sistemas satelitales pueden ser útiles para complementar el SMT, como los siguientes:

- Sistema internacional de comunicaciones por satélite (SICS)
- Red de Información Meteorológica para Administradores de Situaciones de Emergencia (*Emergency Managers Weather Information Network*, EMWIN)
- EUMETCast, el sistema de distribución satelital (SADIS) de la Oficina Meteorológica del Reino Unido
- Sistema de distribución del satélite indio (INSAT)
- Sistemas de distribución de datos con base en satélites como RETIM-África
- Comunicación hidrometeorológica y climática por radio e internet (RANET)
- Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (SMSSM)

Estos sistemas constituyen una opción para establecer comunicaciones alternativas y de respaldo y asegurar la recepción de datos esenciales. Dichos sistemas, que también son capaces de enviar alertas y otros productos, se describirán en detalle en la sección sobre diseminación de datos del capítulo 8. En total, ahora hay más de 30 sistemas satelitales en órbita dedicados a transmitir datos, algunos a escala global. Los sistemas de satélites móviles se pueden clasificar según la altura de la órbita que siguen:

GEO: órbita terrestre geoestacionaria, altitud aproximada: 35.000 km

MEO: órbita terrestre media, altitud aproximada: 10.000 km

LEO: órbita terrestre baja, altitud aproximada: <1.000 km

En todos los casos, cuando un centro de alerta de tsunamis recolecta datos sísmicos locales o datos de nivel del mar vía satélite, servicio telefónico o enlace inalámbrico, los datos deben haberse codificado correctamente y publicado en las bases de datos internacionales designadas para uso por parte de los NTWC y RTWP. La lectura de un instrumento local puede ayudar al centro de alerta de tsunamis a determinar la magnitud de un tsunami en su área de responsabilidad. Los mismos datos pueden permitir al centro de alerta vecino a salvar vidas dentro de su área de responsabilidad.

Elección de un sistema de comunicaciones

La elección de un sistema de comunicaciones para la transmisión de datos en tiempo real o casi en tiempo real es siempre un compromiso entre diversos factores limitantes. Los siguientes son los principales factores que participan en la decisión sobre el sistema que conviene adoptar:

- velocidad de transferencia de datos y perfil de velocidad de transferencia de datos en diferentes modos operativos (si hay más de uno);
- disponibilidad de energía eléctrica (suministro público o energía autónoma/autoalimentada);
- confiabilidad de la transmisión de datos (red privada o línea de datos compartida);
- ubicación y disponibilidad de la infraestructura de telecomunicaciones (satélites en el campo de visión);
- aplicación terrestre o marina (fija o móvil);
- disponibilidad de fondos.

Un sistema de comunicación bidireccional con el mareógrafo puede resultar ventajoso, ya que permite actualizar el software o calibrar los valores en la estación, consultar el sistema en busca de fallas, cambiar la tasa de muestreo y llevar a cabo muchas funciones de mantenimiento que de otra forma tendrían que esperar hasta la próxima visita a la estación. Esto crea un sistema más flexible y aumenta su confiabilidad general.

Comentario

Después de un terremoto, con frecuencia lo primero que falla son la red telefónica pública conmutada (RTPC), los enlaces de teléfonos móviles y el suministro eléctrico.

Uno de los aspectos que se debe considerar a la hora de adoptar un sistema de comunicaciones para una estación mareográfica es la confiabilidad del sistema en condiciones ambientales severas. Por ejemplo, es probable que para generar alertas de tsunami con una anticipación aceptable se deban instalar algunos mareógrafos en zonas tectónicas activas. Después de un terremoto, con frecuencia los primeros sistemas que fallan son la red telefónica pública conmutada (RTPC), los enlaces de teléfonos móviles y el suministro eléctrico. En estas circunstancias, es posible que los enlaces satelitales terminen siendo la única opción restante. Además, se precisa alguna forma de suministro eléctrico ininterrumpido (UPS), que a menudo consiste en un sistema de baterías de respaldo con una capacidad de reserva de varias horas. Varios fabricantes

producen sistemas de comunicación listos para usar y relativamente baratos para mareógrafos, que se pueden incluso obtener de los fabricantes de mareógrafos y registradores de datos. Encontrará una lista de estas compañías en el sitio del Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar: **http://www.pol.ac.uk/psmsl** (en inglés).

El método de comunicación depende en gran medida de la distancia que recorrerán los datos transmitidos. Para distancias cortas (operaciones portuarias), un enlace de radio es lo más conveniente. Si las conexiones deben abarcar todo un país, la suscripción a una troncal telefónica o una línea de teléfono dedicada de la red telefónica pública conmutada (RTPC) son medios efectivos. En aquellos lugares donde el uso de una línea fija no resulta práctico, la mayor difusión de los teléfonos móviles que utilizan la tecnología de protocolo GSM (*General Switch Management*) y GPRS (*General Packet Radio System*) ha aumentado el potencial de comunicación a larga distancia. Tanto con el sistema fijo como el móvil se obtiene acceso a internet a través de proveedores de servicios (ISP), lo cual mejora enormemente la capacidad de transmisión de datos. Por ejemplo, muchas de las estaciones de GPS de la red global del servicio internacional del Sistema Global de Navegación por Satélite (*Global Navigation Satellite System*, GNSS), que son similares a la red mareográfica mundial en términos del número de estaciones y la cantidad de datos que transmiten, se comunican a través de internet.

Todas las formas de telefonía están convergendo en una solo sistema, con conexiones telefónicas suministradas por entidades cuyo método de conexión es invisible para el usuario. Después del tsunami del 26 de diciembre de 2004, la India puso en servicio un sistema de transmisión de datos costeros del nivel del mar en tiempo real por medio de GPRS con conexión continua a internet; el costo del sistema ha sido mucho más bajo de lo que indicaban las pruebas realizadas con base en servicios de mensajes cortos (*Short Messaging Service*, SMS) y servicios de llamadas de datos.

La tecnología de banda ancha ofrece las siguientes ventajas:

- Conexión bidireccional continua que permite generar muestreos de datos a alta velocidad y transmisión casi en tiempo real. También permite diagnosticar el instrumento y reprogramar el sistema en forma remota.
- La disponibilidad de protocolos de sincronización de relojes por internet que generan la hora exacta elimina los errores de sincronización y de configuración.
- Los costos de envío de datos se conocen por adelantado, ya que los costos de suscripción se pagan mensual o anualmente.
- La recolección de datos en tiempo real permite encontrar y reparar los desperfectos más rápidamente.
- Como forma de respaldo, se puede acceder a los sistemas de banda ancha a través de una línea fija por medio de un módem telefónico.

La tecnología de banda ancha tiene las siguientes desventajas:

- Se requiere una interfaz de LAN, algo que puede ser difícil de añadir en el caso de un sistema mareográfico ya existente. Se necesita una línea física para conectar los sistemas no satelitales de banda ancha.
- Generalmente no hay puertos seriales disponibles y, por tanto, es más difícil conectar la interfaz.
- Los módems de banda ancha tienen requisitos de consumo bastante altos (~1 amp); esto puede ser un problema donde no hay energía eléctrica disponible.

Como ya observamos, las conexiones móviles por satélite son una alternativa viable para las áreas más remotas. En la actualidad existen 30 sistemas satelitales en órbita dedicados a la transmisión de datos, algunos a escala mundial.

Transmisión de datos de tsunámetros en tiempo real

La transmisión de datos en tiempo real desde las boyas con tsunámetro varía según el modo de funcionamiento del sensor de presión en el fondo (figura 3-24). Los valores de altura del nivel del agua se transmiten en tiempo real cuando el algoritmo de detección de tsunamis dispara un posible evento o cuando los centros de alerta de tsunamis o el Centro Nacional de Datos de Boyas (*National Data Buoy Center*, NDBC) de EE.UU. interrogan la boya con tsunámetro, ya sea en un momento específico o a intervalos preestablecidos. El sensor de presión en el fondo marino transmite el mensaje a la boya en la superficie por medio de un sistema acústico submarino. La boya de superficie está equipada con sistemas de comunicación redundantes e independientes para transmitir los datos al satélite Iridium, que luego los retransmite al portal de Iridium en Tempe, Arizona (EE.UU.), donde un sistema de conectividad de interacción digital ilimitada con router (*Router-based Unrestricted Digital Internetworking Connectivity Solution*, RUDICS) los envía al servidor RUDICS del NDBC en el Centro Espacial Stennis, en Misisipi. A continuación, el sistema RUDICS envía los mensajes al servidor del centro de adquisición de datos ubicado en el Centro Espacial de Stennis, donde el NDBC adjunta el encabezado informativo de la NOAA y el identificador de mensaje y envía los datos al portal de telecomunicaciones del Servicio Nacional de Meteorología (*National Weather Service's Telecommunications Gateway*, NWSTG) de EE.UU., en Silver Spring, Maryland, para su distribución por internet a través del centro de operación de telecomunicaciones mundiales. Los centros de alerta de tsunamis y el NDBC recogen los datos de la transmisión del NWSTG. El NDBC decodifica y reformatea los datos para su visualización en la web en tiempo real y almacenamiento en una base de datos. Si la boya no logra establecer la conexión con el servidor del sistema RUDICS del NDBC, la información no sale de la memoria intermedia de comunicación de la boya.

Los centros de alerta de tsunamis y el NDBC pueden iniciar un modo de interrogación para extraer datos o poner el sensor de presión en el fondo marino en modo de evento; sin embargo, el tiempo de recepción de los receptores Iridium a bordo de las boyas de superficie es limitado. Una vez recibido el comando de recuperar datos generados

con alta frecuencia, el sensor de presión en el fondo marino transmite datos de presión y temperatura de 15 segundos durante 1 hora. Los parámetros de datos están en un formato similar a los que se guardan en la tarjeta de memoria del sistema. El NDBC mantendrá un catálogo de estos datos para posible almacenamiento.

Puntos importantes que recordar sobre los canales de comunicación de datos

- La metodología de consulta de banda ancha permite obtener los datos críticos en tiempo real más rápidamente. Sin embargo, los módems de banda ancha requieren una cantidad de energía relativamente mayor.
- Existen varios sistemas satelitales que se pueden utilizar como canales de recolección de datos primarios y como respaldos para el SMT y otros métodos de interrogación.
- Los métodos de interrogación deben ser automáticos y fáciles de modificar. Un ejemplo es la comunicación bidireccional con las redes mareográficas que permite cambiar la tasa de muestreo durante un evento.
- Los datos recolectados a nivel local se deben codificar y enviar correctamente a las bases de datos internacionales apropiadas para que los utilicen los NTWC y RTWP.

Comunicaciones de respaldo para la recolección de información y datos

Los NTWC y RTWP deben emplear sistemas de comunicaciones de respaldo para recolectar la información y los datos necesarios para detectar tsunamis. Los centros de alerta de tsunamis deben implementar dos tipos de comunicaciones de respaldo: 1) vías de comunicación alternativas dentro del mismo centro y 2) comunicación de respaldo en otros centros.

Las vías de comunicación alternativas para recolectar datos y diseminar productos son necesarias dentro de los NTWC y RTWP. Si falla una de las conexiones de comunicación primarias de un centro, la información se puede reenviar a través de una conexión secundaria.

El hecho de que un centro respalde las funciones de otro significa que se han establecido procedimientos para que un RTWP asuma las funciones de uno de los NTWC en caso de que éste pierda todas las conexiones de comunicación. De forma análoga, cada RTWP debe establecer un acuerdo con otro RTWP para que éste se haga cargo de sus funciones en la eventualidad de que un evento catastrófico en el área del centro regional le impida funcionar. Típicamente, un centro de alerta de tsunamis debe tener conexiones con al menos dos otros centros y los RTWP con otro proveedor regional para suministrar comunicaciones de respaldo.

Aunque los sistemas de satélites comerciales no apoyan el SMT directamente, es importante tomarlos en consideración, ya que pueden ofrecer diferentes mecanismos de diseminación de información de alerta de tsunami que pueden suplir la conectividad primaria del SMT. A tales efectos, un proveedor de servicio comercial apropiado podría constituir un respaldo adicional a las conexiones del SMT.

Muchos sistemas de satélites meteorológicos operan en órbitas polares para recolectar datos de observaciones y muchos de ellos desempeñan funciones adicionales de recolección de datos provenientes de plataformas de recolección de datos tales como las boyas y los mareógrafos. Los NTWC y RTWP deberían investigar la posibilidad de incorporar más de un sistema de recepción satelital para aumentar la confiabilidad del sistema en general. Aunque no es común, puede producirse una interrupción inesperada en los sistemas satelitales e incluso puede darse la pérdida total de la plataforma satelital. La capacidad de recibir datos a través de más de un sistema satelital ayudará a asegurar un muy alto grado de confiabilidad frente a la poco probable, pero posible, ocurrencia de la pérdida de uno de los satélites y la concomitante pérdida de comunicaciones terrestres en un centro de alerta de tsunamis.

Puntos importantes que recordar sobre las comunicaciones de respaldo

- Los centros deben tener varias vías de comunicación alternativas para recolectar datos sísmicos y del nivel del mar de importancia crucial y diseminar alertas y otros productos.
- Ante una posible interrupción total de las comunicaciones, cada centro debe hacer planes con otros centros para que se hagan cargo de sus funciones. Esto requiere planificación cuidadosa, extensa coordinación y atención a muchos pequeños detalles.

Formatos de recolección de datos

Los datos de observación terrestre se recolectan en varios formatos diferentes. Los formatos de los datos de sismómetros, mareógrafos y tsunámetros (boyas DART) varían en cuanto a cantidad, frecuencia de transmisión y formato de los datos. Los NTWC y RTWP deben conocer y saber trabajar con estos formatos.

Datos sísmicos

El Centro Nacional de Información de Terremotos (*National Earthquake Information Center*, NEIC) del Sistema Sísmico Nacional Avanzado (*Advanced National Seismic System*, ANSS) de EE.UU. adquiere datos de estaciones de banda ancha externas casi en tiempo real. El NEIC adquiere automáticamente más de 2,000 canales de datos con un volumen total de aproximadamente 2,5 GB por día. De estos datos, cerca de 860 MB al día se archivan (dos copias de cada uno) en un sistema de almacenamiento óptico (con un total acumulado a la fecha de cerca de 4 TB). Al mismo

tiempo, el NEIC distribuye datos a la comunidad científica a través de un sistema automático de gestión de solicitudes de datos (AutoDRM; autodrm@usgs.gov) y del centro de administración de datos de IRIS. Los datos en tiempo real se suministran a diez redes sísmicas regionales, que incluyen los centros de alerta de tsunamis de Alaska y del Pacífico, para aumentar la vigilancia telesísmica y regional.

Todos los datos que se transfieren entre los centros de datos, ya sea a través del servicio CrestNet del USGS o de internet, utilizan el programa Earthworm del USGS, el estándar de facto para el intercambio de datos sísmicos y parámetros de hipocentros. La transferencia de los datos sísmicos es bastante complicada. El formato original de los datos depende de la compañía que fabrica el equipo de campo, de forma que cada marca emplea un formato diferente y a veces hasta existen varios formatos para un mismo proveedor. La red de registradores (que generalmente es la red operativa) es responsable de decodificar los datos. Dentro de un centro de alerta de tsunamis, los datos se convierten a formato Earthworm y se comparten con otros centros. La documentación de Earthworm está disponible en **http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc/**.

Los datos sísmicos para la comunidad sísmica se archivan principalmente en el centro de administración de datos de IRIS. La información sobre los datos y su formato está disponible a través de IRIS en: **http://www.iris.edu/manuals/DATutorial.htm**. Encontrará el manual de estándares para el intercambio de datos sobre terremotos (*Standard for Exchange of Earthquake Data*, SEED) en el sitio web de IRIS: **http://www.iris.edu/manuals/SEEDManual_V2.4.pdf**.

Datos mareográficos

En términos generales, los datos de nivel del mar se digitalizan y se muestrean en la estación de campo. Para la vigilancia de tsunamis, lo ideal es la transmisión de promedios de valores de 1 minuto (o menos) con una frecuencia mínima de 15 minutos. En la actualidad, muchas estaciones transmiten promedios de muestras de intervalos de 1 a 4 minutos con una frecuencia de 10 a 60 minutos. Como ilustra la figura 4.8, los datos se transmiten desde distintos satélites a los centros de telecomunicaciones regionales de la OMM y de ahí a los clientes, como el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico, la Agencia Meteorológica Japonesa o cualquier agencia hidrológica nacional que los solicite.

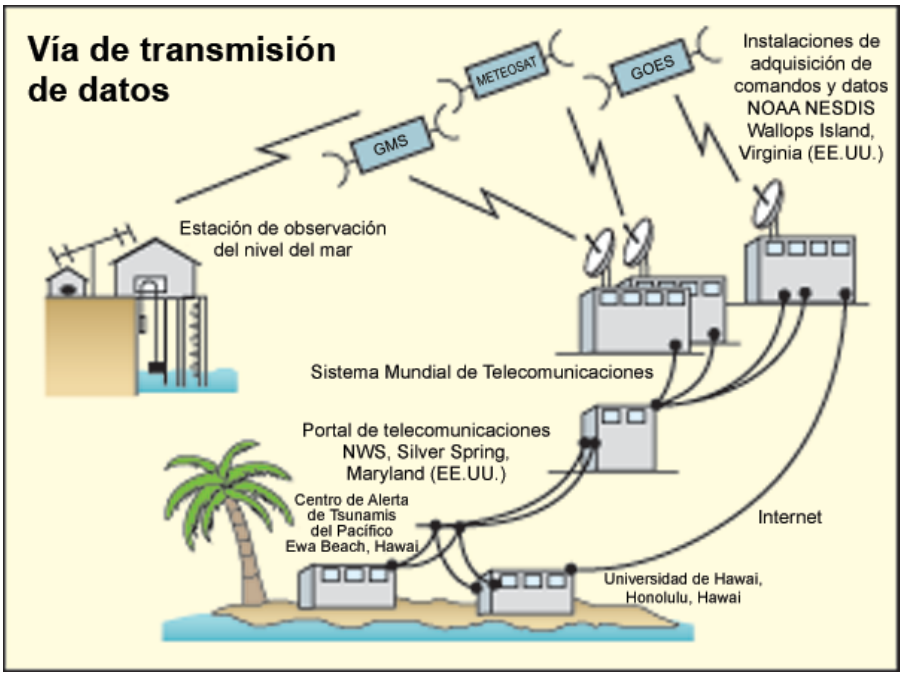
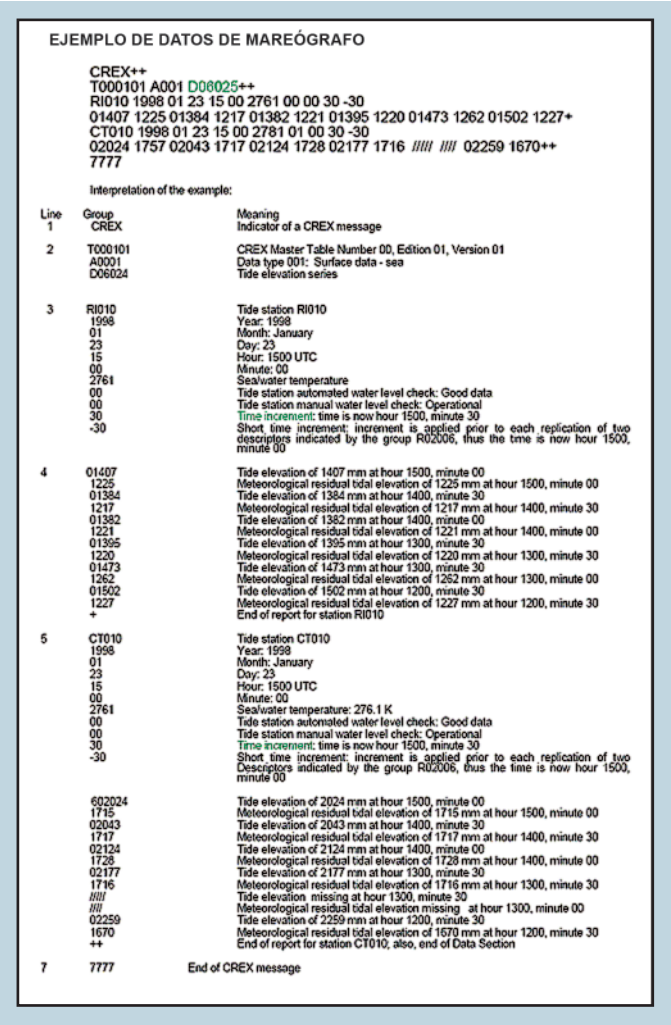


Figura 4-8. Transmisión de datos desde una estación de campo a los centros de alerta de tsunamis. Fuente: Display and Decode of Sea Level Data Transmitted over the WMO Global Telecommunications System. Versión 1.1, noviembre de 2005 (http://www.ioc-tsunami.org/).

Datos del nivel del mar en formato codificado de la OMM

Los dos formatos principales de la OMM, el formato binario universal de representación de datos meteorológicos (BUFR) y el formato de caracteres para la representación e intercambio de datos (CREX), ofrecen grandes ventajas en comparación con los códigos alfanuméricos tradicionales. Las principales características de los códigos por tablas son la autodescripción, flexibilidad y capacidad de ampliación, que son aspectos fundamentales en estos tiempos de rápida evolución técnica y científica. Además, BUFR ofrece la capacidad de compresión de datos. El código alfanumérico CREX brinda legibilidad, pero no es comprimible. Hasta ahora, el formato BUFR se utiliza principalmente para observaciones desde satélites, aeronaves y perfiladores del viento, y además para información sobre ciclones tropicales y almacenamiento de todo tipo de datos de observaciones. CREX ya se utiliza para el intercambio de datos sobre ozono, radiológicos, hidrológicos, mareográficos y de temperatura del suelo entre centros meteorológicos. Lo ideal sería utilizar siempre el formato BUFR para el intercambio de observaciones a nivel internacional y el formato CREX sólo si la transmisión binaria no es posible. Se considera que estos dos códigos pueden satisfacer todas las necesidades de la OMM para codificar las observaciones y se recomienda su uso en todas las aplicaciones presentes y futuras de la OMM.

Cada estación y su forma de transmitir los datos se describe con un grupo de parámetros exclusivo que incluye los encabezados del producto satelital, la plataforma de la estación, el método y hora de transmisión y los formatos de archivo.



EJEMPLO DE DATOS DE MAREÓGRAFO

CREX++
T000101 A001 D06025++
RI010 1998 01 23 15 00 2761 00 00 30 -30
01407 1225 01384 1217 01382 1221 01395 1220 01473 1262 01502 1227+
CT010 1998 01 23 15 00 2781 01 00 30 -30
02024 1757 02043 1717 02124 1728 02177 1716 ///// ///// 02259 1670++
7777

Interpretation of the example:

Line	Group	Meaning
1	CREX	Indicator of a CREX message
2	T000101	CREX Master Table Number 00, Edition 01, Version 01
	A0001	Data type 001: Surface data - sea
	D06024	Tide elevation series
3	RI010	Tide station RI010
	1998	Year: 1998
	01	Month: January
	23	Day: 23
	15	Hour: 1500 UTC
	00	Minute: 00
	2761	Sea/water temperature
	00	Tide station automated water level check: Good data
	00	Tide station manual water level check: Operational
	30	Time increment: time is now hour 1500, minute 30
	-30	Short time increment: increment is applied prior to each replication of two descriptors indicated by the group R02006, thus the time is now hour 1500, minute 00
4	01407	Tide elevation of 1407 mm at hour 1500, minute 00
	1225	Meteorological residual tidal elevation of 1225 mm at hour 1500, minute 00
	01384	Tide elevation of 1384 mm at hour 1400, minute 30
	1217	Meteorological residual tidal elevation of 1217 mm at hour 1400, minute 30
	01382	Tide elevation of 1382 mm at hour 1400, minute 00
	1221	Meteorological residual tidal elevation of 1221 mm at hour 1400, minute 00
	01395	Tide elevation of 1395 mm at hour 1300, minute 30
	1220	Meteorological residual tidal elevation of 1220 mm at hour 1300, minute 30
	01473	Tide elevation of 1473 mm at hour 1300, minute 30
	1262	Meteorological residual tidal elevation of 1262 mm at hour 1300, minute 00
	01502	Tide elevation of 1502 mm at hour 1200, minute 30
	1227	Meteorological residual tidal elevation of 1227 mm at hour 1200, minute 30
	+	End of report for station RI010
5	CT010	Tide station CT010
	1998	Year: 1998
	01	Month: January
	23	Day: 23
	15	Hour: 1500 UTC
	00	Minute: 00
	2761	Sea/water temperature: 276.1 K
	00	Tide station automated water level check: Good data
	00	Tide station manual water level check: Operational
	30	Time increment: time is now hour 1500, minute 30
	-30	Short time increment: increment is applied prior to each replication of two Descriptors indicated by the group R02006, thus the time is now hour 1500, minute 00
	602024	Tide elevation of 2024 mm at hour 1500, minute 00
	1715	Meteorological residual tidal elevation of 1715 mm at hour 1500, minute 00
	02043	Tide elevation of 2043 mm at hour 1400, minute 30
	1717	Meteorological residual tidal elevation of 1717 mm at hour 1400, minute 30
	02124	Tide elevation of 2124 mm at hour 1400, minute 00
	1728	Meteorological residual tidal elevation of 1728 mm at hour 1400, minute 00
	02177	Tide elevation of 2177 mm at hour 1300, minute 30
	1716	Meteorological residual tidal elevation of 1716 mm at hour 1300, minute 30
	/////	Tide elevation missing at hour 1300, minute 30
	/////	Meteorological residual tidal elevation missing at hour 1300, minute 00
	02259	Tide elevation of 2259 mm at hour 1200, minute 30
	1670	Meteorological residual tidal elevation of 1670 mm at hour 1200, minute 30
	++	End of report for station CT010; also, end of Data Section
7	7777	End of CREX message

Figura 4-9. Ejemplo de formato CREX de la OMM decodificado.

La figura 4-9 muestra un ejemplo de datos de mareógrafo en formato CREX decodificado.

Encontrará una explicación de los requisitos de codificación del SMT para datos de nivel del mar en el Manual del SMT, publicación 386 de la OMM: **http://www.wmo.ch/web/www/ois/Operational_Information/WMO386/ManOnGTS.html**.

Datos del nivel del mar que no están en el formato codificado de la OMM

Los datos de nivel del mar de la red de estaciones mareográficas GLOSS y de algunas otras organizaciones utilizan un código diferente al de la OMM. El siguiente ejemplo es el informe recibido de la plataforma de recolección de datos en Colombo, Sri Lanka por medio del satélite meteorológico geoestacionario de la Agencia Meteorológica Japonesa. El informe contiene las observaciones de un minuto que se transmiten cada 15 minutos. La figura 4-10 muestra el mensaje con el informe de las 0430 UTC del 29 de marzo de 2006 recibido en el Centro Regional de Telecomunicaciones a través del SMT.

```
SWIO40 RJTD 290430
:ENB 1 #1 M 3763 3761 3761 3759 3758 3758 3755 3754 3752 3750 3749
3746 3745 3744 3743 3743 3743 3742 3742 3742 3742 3741 3741 3741 3739
3739 3738 3737 3737 :ENC 0 #2 3269 3265 3263 3263 3260 3256 3250 3246
3247 3246 3245 3243 3244 3243 3242 3239 3237 3234 3233 3233 3232 3230
3232 3232 3233 3233 3232 3228 3229 3230 :BATTLOAD 0 12.83 :NAME=
```

Figura 4-10. Ejemplo de informe de un mareógrafo GLOSS no codificado con el formato de la OMM,.

El primer renglón del mensaje ilustrado en la figura 4-10 es el encabezado abreviado (TTAAii CCCC YYGGgg) para identificar y transmitir el boletín a través del SMT. La hora y fecha (YYGGgg) del encabezado corresponde a las 0430 UTC del día 29 del mes. El mes y el año (marzo de 2006) no se indican en el mensaje.

La última hora de observación indicada en este mensaje es las 0431 UTC, es decir, 0430 + 1 minuto. El informe incluye 29 mediciones de marea realizadas a intervalos de 1 minuto, aunque 14 de ellas ya se incluían en el último boletín. Las observaciones se presentan en orden **inverso**.

Hora	Valor de datos
0431	3763
0430	3761
0429	3761
0428	3759
0427	3758
.	.
.	.
0417	3743

(15 observaciones nuevas)

0416	3743
0415	3743
0414	3742
0413	3742
.	.
.	.
0403	3737

(14 de las observaciones de este boletín se incluían en el boletín anterior.)

Tsunámetros (boyas DART)

El sistema DART produce datos de alta frecuencia almacenados internamente, datos obtenidos en modo de evento y datos de frecuencia menor para observación del sistema. El continuo esfuerzo de investigación y desarrollo de los ingenieros del Laboratorio Ambiental Marino del Pacífico (*Pacific Marine Environmental Laboratory*, PMEL) permite mejorar el sistema.

Los datos de alta frecuencia consisten en promedios de los valores temperatura y presión registrados a intervalos de 15 segundos durante todo el período que permanece en el fondo marino. Las observaciones se almacenan en una tarjeta flash del sensor de presión en el fondo marino hasta que el instrumento el NDBC la recupere. Estos datos son retrospectivos y adicionales a los datos que se transmiten en tiempo real. Además de los datos de 15 segundos almacenados internamente, cuando

se dispara el modo de evento el sistema DART transmite una combinación de datos de 15 segundos y promedios de 1 minuto. Estos datos brindan a la comunidad afectada las observaciones de tsunamis en el océano profundo que son esenciales para evaluar el peligro para las comunidades costeras. Además, cada 15 minutos el sistema DART envía observaciones de presión puntuales casi en tiempo real para vigilar el sistema.

La comunicación bidireccional casi en tiempo real permite acceder a los parámetros del sistema definidos internamente y permite a los centros disparar manualmente el modo de informe de eventos. Además, la capacidad de comunicación bidireccional permite recuperar del registro de la tarjeta de memoria flash interna un bloque de una hora de datos de presión y temperatura. Debido a la necesidad de extender la vida útil de las baterías, sólo es posible obtener estos datos históricos una cantidad limitada de veces. Con el fin de mantener esta capacidad en los sistemas a lo largo del período programado de servicio, los centros de alerta de tsunamis deben coordinar esta actividad entre las partes interesadas.

Protocolo de interrogación

Los centros de alerta de tsunamis coordinan la activación del disparo de los sistemas DART durante eventos específicos. Normalmente, si un sistema no se activa cuando ocurre un terremoto o un tsunami, el centro puede iniciar el modo de interrogación o consulta para recuperar datos o activar el modo de evento del sensor de presión en el fondo marino. Sin embargo, el tiempo de recepción de los receptores de Iridium a bordo de las boyas de superficie es limitado. Una vez que reciba el comando para recuperar los datos de alta frecuencia, el sensor de presión en el fondo marino transmite una hora de datos de presión y temperatura de 15 segundos.

Después de un evento, los centros de alerta de tsunamis interrogan los datos de 15 segundos almacenados internamente. Las solicitudes de datos específicos por las agencias interesadas no deben hacerse menos de uno o dos días después de ocurrido el evento, ya que en ese momento el personal del centro está ocupado con sus operaciones. Los centros de alerta de tsunamis avisarán a las agencias apropiadas cuando se han bajado datos no relacionados con solicitudes específicas.

Transmisión de mensajes en tiempo real: transmisiones de Iridium y formatos de datos de series temporales

Como ya explicamos antes, la transmisión de mensajes en tiempo real varía según el modo de operación del sensor de presión en el fondo marino. La transmisión de los datos de altura del nivel del agua en tiempo real ocurre cuando el algoritmo de detección de tsunamis dispara un posible evento, cuando los centros de alerta interrogan la boya o a intervalos predefinidos. El sensor de presión en el fondo marino transmite los mensajes a la boya en la superficie por medio de sistemas acústicos subacuáticos. Además de los ejemplos que aparecen a continuación, puede leer una presentación ligeramente distinta de los códigos actuales en *Description of Real Time DART System Messages*, revisión 3.01 (2 de agosto de 2007), por Marie C. Elbe y

Scout E. Stalyn (una publicación de NOAA/PMEL), donde se describen los mensajes del sistema DART emitidos en tiempo real.

Cada transmisión de Iridium empieza con el encabezamiento de la plataforma, seguido por los formatos del mensaje que se describen en este documento. El formato del encabezado es:

3f 3f 3f ck ck DARTxxxP/S
3f 3f 3f = Tres bytes para empezar la transmisión (siempre 3f en código hexagesimal)
ck ck = Dos bytes de suma de comprobación (***checksum***)
DART = Indica que sigue la identificación (ID) de plataforma de la boya
xxx = Tres dígitos ASCII de la identificación de la plataforma
P/S = P indica la transmisión desde el lado Primario; S desde el lado Secundario.

Informe horario en modo normal

El informe horario en modo normal consiste en datos del nivel del agua. Los informes comprenden 4 valores discretos de 15 minutos de la altura de la columna de agua, en milímetros, transmitidos por un módem acústico cada hora y por Iridium cada 6 horas, si hay datos de altura disponibles. Además, se transmite la posición determinada por GPS una vez al día o, si no hay datos de altura disponibles, cada hora.

Datos de altura (transmitidos por módem acústico cada hora y por Iridium cada 6 horas, si hay datos de altura disponibles)

<cr>D$1*C/I d*

fecha hora vbat1 vbat2 vbat3 al1 al2 al3 al4 intentos * suma de comprob.
<cr>D$1*C/I fecha hora vbat1 vbat2 vbat3 al1 al2 al3 al4 intentos * suma de comprob.*
<cr>D$1*C/I fecha hora vbat1 vbat2 vbat3 al1 al2 al3 al4 intentos * suma de comprob.*
<cr>D$1*C/I fecha hora vbat1 vbat2 al1 al2 al3 al4 intentos * suma de comprob.*
<cr>D$1*C/I fecha hora vbat1 vbat2 al1 al2 al3 al4 intentos * suma de comprob.*

<cr> = 0x0D
D$1 = id. del mensaje
C/I = estado del mensaje, C = corrupto, I = intacto
fecha = mes día año
hora = horas minutos segundos
vbat1 = voltaje de la batería del sensor de presión en el fondo en décimas de voltio, o código de error
vbat2 = batería del módem acústico DSP en décimas de voltio
vbat3 = batería del módem acústico en voltios
al1 ... al4 = altura de la columna de agua en milímetros
intentos = número de intentos del sensor de presión en el fondo marino para transferir datos
* = delimitador de suma de comprobación
suma de comprob. = OR excluye todos los caracteres que preceden un "*", 1 byte hexadecimal
Ejemplo:

D$1I 08/17/2006 12:15:00 1654147 5311813 5311758 5311703 5311652 1* 35
D$1I 08/17/2006 13:15:00 1654147 5311604 5311559 5311516 5311480 1* 34
D$1I 08/17/2006 14:15:00 1654147 5311445 5311414 5311389 5311369 1* 3C
D$1I 08/17/2006 15:15:00 1654147 5311352 5311342 5311336 5311336 1* 36
D$1I 08/17/2006 16:15:00 1654147 5311341 5311353 5311366 5311385 1* 3A
D$1I 08/17/2006 17:15:00 1654147 5311407 5311433 5311466 5311499 1* 32

Posición determinada por GPS **(se transmite una vez al día o cada hora, si no hay datos de altura disponibles)**
D$0 N/S lat_grados E/O long_grados * suma de comprob. D$0 = id. del mensaje fecha = mes día año hora = horas minutos segundos lat_grados = latitud de la boya, DDMM.MMMM N/S = Norte o Sur long_grados = longitud de la boya, DDMM.MMMM E/W = Este u Oeste
* = delimitador de suma de comprobación suma de comprob. = OR excluye todos los caracteres que preceden un "*", 1 byte hexadecimal **Ejemplo:** D$0 08/17/2006 13:05:05 4857.0556 N 17816.8330 E* 5D

Figura 4-11. Ejemplo de informe horario en modo estándar.

Informe en modo evento de tsunami

La figura 4-12 muestra ejemplos de los siguientes tipos de informes en modo de evento de tsunami:

Primer mensaje en modo de evento (mensaje núm. 0): Informe de las alturas de la columna de agua que dispararon el modo de evento (en milímetros), junto con tres desviaciones de altura (grupos de valores de alturas de 15 segundos ocurridos 0,75 minutos antes de dispararse el evento).

Segundo mensaje en modo de evento (mensaje núm. 1): Informe de las alturas de 15 segundos ocurridos 0,75 a 3 minutos después de dispararse el evento).

Mensajes posteriores en modo de evento (mensajes núm. 2 a 14): Quince informes de valores de promedios de altura de 1 minuto desde la detección del evento hasta que cese el modo de evento.

Primer mensaje en modo de evento (mensaje núm. 0)

D$2 C/I msje# tt hora inicio del ts altura des1 des2 des3 intentos * suma de comprob.
D$2 = id. del mensaje
C/I = estado del mensaje, C = corrupto, I = intacto
msje# = número de mensaje (0 para el primer mensaje)
hora = momento de detección del tsunami
inicio = hora exacta del primer dato
altura = primer dato exacto de la altura de la columna de agua, en milímetros
des1...des3 = desviaciones de la altura, en milímetros, 2 bytes hexadecimales
intentos = número de intentos del sensor de presión en el fondo marino para entrega de datos
* = delimitador de suma de comprob. OR excluye todos los caracteres delante de "*", 1 byte hex.
 	
Ejemplo:
`D$2I 00 tt 22:53:15 ts 22:52:30 3259892`
`00000044000001* 28`

Mensajes posteriores en modo de evento (mensajes núm. 2 a 14, típicamente)

D$3 C/I tt hora de inicio del ts altura des1 des2 des3...des15 intentos * suma de comprob.
D$3 = id. del mensaje
C/I = estado del mensaje, C = corrupto, I = intacto
hora = momento de detección del tsunami
inicio = hora exacta del primer dato
altura = primer dato exacto de la altura de la columna de agua, en milímetros
des1...des15 = desviaciones de la altura, en milímetros, 2 bytes hexadecimales
intentos = número de intentos del sensor de presión en el fondo marino para entrega de datos
* = delimitador de suma de comprob. OR excluye todos los caracteres delante de "*", 1 byte hex.

Ejemplo:

```
D$2I 01 tt 22:53:15 ts 22:52:30 3259892
0000004400000fffffffffffffffffffffffffffffffffefffefffefffe01* 29
D$2I 02 tt 22:53:15 ts 22:44:00 3259897
fffffffffffefffdfffcfffcfffb000cfffafffafff9fff9fff8fff8fff701* 2C
D$2I 03 tt 22:53:15 ts 22:52:00 3259909
ffeeffeeffedffedffecffecffebffeaffeaffeaffeaffe9ffe8ffe8ffe701* 22
```

Figura 4-12. Ejemplo de informe en modo de evento.

Informe horario en modo extendido

El informe en modo extendido incluye 120 valores de promedio de un minuto transmitidos por Iridium cada hora para redundancia adicional de datos. El informe en modo extendido transmite los datos entre determinada hora y la siguiente hora exacta hasta que el estado de disparo del algoritmo de detección de tsunamis se cancele. La figura 4-13 presenta un ejemplo de un informe horario en modo extendido.

120 valores de promedio de 1 minuto transmitidos por Iridium cada hora

D$3 C/I tt ts altura del ts des1 des2 des3.....dev119 intentos * suma de comprob.
D$3 = id. del mensaje
C/I = estado del mensaje, C = corrupto, I = intacto
tt = momento de detección del tsunami
ts = hora exacta del primer dato
altura = altura en milímetros de la columna de agua
des1...des119 = desviaciones de la altura, en milímetros, 2 bytes hexadecimales
intentos = veces que el sensor de presión en el fondo marino intentó entregar los datos
* = delimitador de suma de comprob. OR excluye todos los caracteres delante de "*", 1 byte hex.

Ejemplo

```
D$3Itt 22:53:15 ts 23:00:00 3259888
ffffffffffffffffffefffdfffdfffcfffcfffcfffbfffbfffafff9fff9fff8fff8fff7
fff7fff6fff6fff5fff4fff4fff3fff2fff2fff1fff1fff0ffefffefffeeffeeffedffec
```

Figura 4-13. Ejemplo de informe horario en modo extendido.

Formato de datos de alta resolución a demanda

La figura 4-14 ilustra el formato de datos a demanda de alta resolución del sistema DART, que transmite 1 hora de datos de 15 segundos por Iridium y cuando un centro de alerta lo solicita. Estos datos están en formato ASCII hexadecimal.

(valores de 1 hora transmitidos por Iridium)

D$5C/Icafedata…
D$6C/Idata…
D$7C/Idata…
D$8C/Idata…
D$5-8 = id. del mensaje
I = 2 bytes hexadecimales que representan el inicio de los datos
C/I = estado del mensaje, C = corrupto, I = intacto
Para descifrar:
1) Quitar las ID y el estado del mensaje (es decir, D$5I, D$6I, D$7I y D$8I)
2) El bloque de datos que queda se decodifica como datos de tarjeta Flash (arriba)

Ejemplo:

```
D$5Icafe4843040a1406110000a707000180b6073fde847<snip…>
D$6I01c388ab014f903a01aa88ab0103903a019388ab00b<snip…>
D$7I003f88ab016d903a006388ab012a903a008888ab00e<snip…>
D$8I011f88ab02bb903a017188ab027b903a01c388ab023<snip…>
```

Figura 4-14. Ejemplo de formato de datos DART de alta resolución a demanda.

Formato de datos DART en tiempo real: reformateo de datos Iridium

El NDBC reformatea los mensajes recibidos de Iridium para producir los mensajes tipo SXXX46 que distribuye a través del portal de telecomunicaciones del NWS.

Mensaje con datos no procesado en modo estándar desde la boya:

D$1I 08/22/2006 18:15:00 1474142 4709825 4709819 4709819 4709824 1* 35
D$1I 08/22/2006 19:15:00 1474142 4709831 4709842 4709862 4709883 1* 07
D$1I 08/22/2006 20:15:00 1474142 4709906 4709933 4709962 4709995 1* 3B
D$1I 08/22/2006 21:15:00 1474142 4710033 4710072 4710115 4710155 1* 7F
D$1I 08/22/2006 22:15:00 1474142 4710198 4710244 4710282 4710322 1* 30
D$1I 08/22/2006 23:15:00 1474142 4710363 4710398 4710431 4710457 1* 01

El NDBC incorpora un encabezado en el boletín (SXXX46 KWBC) y asigna un grupo de fecha/hora (230012 = día 23 del mes a las 0012 UTC). El NDBC aplica luego la línea de encabezado del GOES1 (DDDDDDD0235001256) y la línea final del mensaje (00-0NN 00E) para que el mensaje del DART II siga siendo compatible con los de DART I, de manera que los decodificadores puedan procesar los mensajes.

```
SXXX46 KWBC 230012
DDDDDDD0 235001256
D$1I 08/22/2006 18:15:00 1474142 4709825 4709819 4709819 4709824 1* 35
D$1I 08/22/2006 19:15:00 1474142 4709831 4709842 4709862 4709883 1* 07
D$1I 08/22/2006 20:15:00 1474142 4709906 4709933 4709962 4709995 1* 3B
D$1I 08/22/2006 21:15:00 1474142 4710033 4710072 4710115 4710155 1* 7F
D$1I 08/22/2006 22:15:00 1474142 4710198 4710244 4710282 4710322 1* 30
D$1I 08/22/2006 23:15:00 1474142 4710363 4710398 4710431 4710457 1* 01
00-0NN 00E
```

Puntos importantes que recordar sobre el formato de datos

- Los datos de los mareógrafos para vigilancia de tsunamis deben transmitirse a intervalos de 1 minuto (o menos), con valores de promedios de datos transmitidos por lo menos cada 15 minutos.
- Los datos se transmiten desde diferentes satélites a los centros de telecomunicaciones regionales de la OMM.
- Los dos formatos de datos primarios de la OMM son el formato binario universal de representación de datos meteorológicos (BUFR) y el formato de caracteres para la representación e intercambio de datos (CREX).
- El sistema DART provee datos de alta frecuencia de promedios de temperatura y presión almacenados en la memoria a intervalos de 15 segundos.