

## Detección de tsunamis

Los centros de alerta de tsunamis deben ser capaces de procesar y analizar datos sísmicos y de nivel del mar para detectar un tsunami y pronosticar su posible impacto (figura 5-1). 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) requieren varios tipos de software, hardware, aplicaciones informáticas y programas y sistemas de comunicación para apoyar y mantener la capacidad de predicción y detección de tsunamis. Los programas de mantenimiento y la capacidad de respaldo son otros aspectos necesarios en todos los centros. Este capítulo se dirige a aquellas personas que necesitan comprender qué tipos de hardware y software se necesitan para mantener un centro en funcionamiento y la importancia de los programas de mantenimiento y planes de respaldo completos.

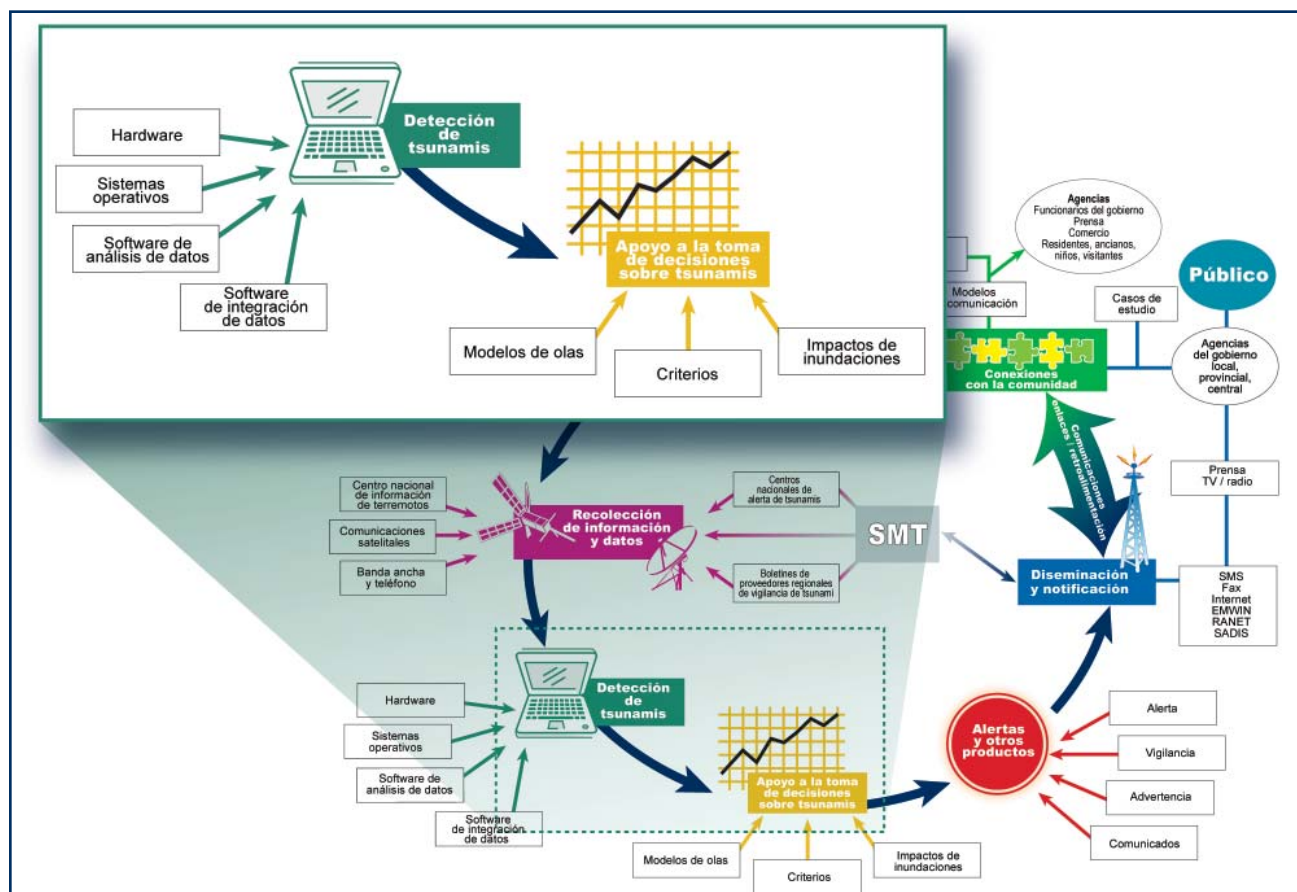
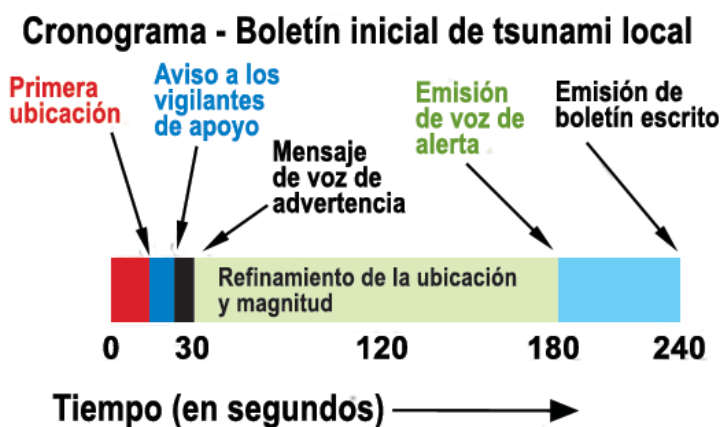


Figura 5-1. Componentes necesarios en los centros de alerta de tsunamis para detectar y predecir tsunamis.

## ¿Cómo encaja la detección de tsunamis en un sistema integral de alerta de tsunamis?

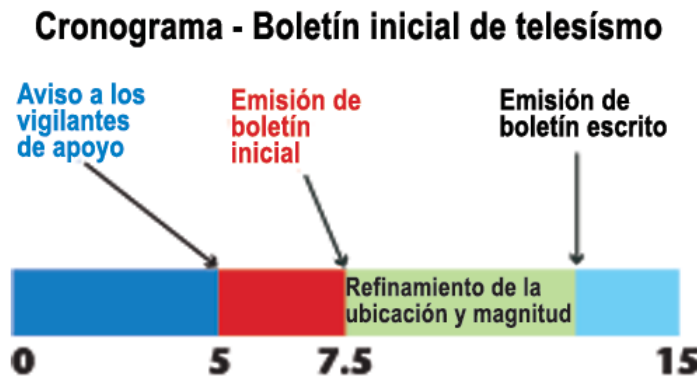
El funcionamiento diario de un centro de alerta de tsunamis es similar al de un observatorio sismológico. El centro debe esforzarse para realizar dos cosas tan rápido como sea posible. Primero, localizar cualquier movimiento sísmico moderado o grande que se produzca dentro de su área de responsabilidad; segundo, calcular su magnitud. Una vez hecho esto, el centro puede empezar a calcular cualquier amenaza potencial de tsunami para su área de responsabilidad. Si el terremoto presenta un riesgo de tsunami, el personal de turno debe utilizar la extensa red de estaciones mareográficas y cualquier tsunámetro que esté a disposición del centro para buscar evidencia de actividad de tsunamis. Para detectar la señal de un tsunami y predecir su impacto se requiere un nivel de pericia científica y experiencia práctica en el campo que permita tomar decisiones rápidas y emitir productos en muy poco tiempo, especialmente cuando se trata de un tsunami local (figura 5-2). Por eso los sistemas de alerta de tsunamis no pueden ser totalmente automatizados.



**Figura 5-2.** Cronograma de emisión de un boletín de tsunami local (en segundos).  
(Adaptado del plan de operaciones del Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico)

En comparación con los eventos de tsunami locales, los eventos telesísmicos (cuyo origen se encuentra a más de 1.000 km de distancia) dejan más tiempo para emitir un boletín, de modo que se dispone de minutos en vez de segundos (figura 5-3). No obstante, ambos cronogramas ilustran por qué es esencial que el centro de alerta cuente con canales de comunicación redundantes y confiables y programas que permitan recolectar, procesar y visualizar los datos de manera eficaz, así como generar y disseminar boletines de voz y de texto. Para satisfacer estos requisitos, el centro necesita hardware (redes, estaciones de trabajo) y software (sistemas operativos, aplicaciones).

La capacidad de análisis y presentación de datos para el personal de turno del centro constituye el elemento esencial del componente de detección y pronóstico de riesgo de un sistema integral de alerta de tsunamis. La detección y caracterización rápida de los movimientos sísmicos que engendran tsunamis por medio de programas informáticos



**Figura 5-3.** Cronograma de emisión de un boletín de teletsunami (en minutos).

brindan el primer indicio del potencial de un tsunami en un sistema integral de alerta de tsunamis. Las alertas iniciales generadas sobre la base de las mediciones del sismo obtenidas por las redes de sismómetros se perfeccionan una vez que el software analice los cambios en el nivel del mar generados por un tsunami detectados por los mareómetros y las boyas. El uso de los datos de cambio del nivel del mar para perfeccionar las alertas iniciales generadas a partir de datos sísmicos puede aumentar la credibilidad de las alertas y reducir las falsas alarmas.

Los centros de alerta de tsunamis deben recibir y procesar rápidamente los datos sísmicos y de nivel del mar de importancia crítica para poder utilizarlos en el proceso de alerta. Por eso los sistemas de comunicación que se emplean para recolectar datos son esenciales para el éxito del sistema de alerta.

## ¿Qué contiene este capítulo?

Las secciones de este capítulo tratan los temas siguientes:

- **Redes de tecnología de la información (TI)** requeridas por los centros. Esta sección abarca las redes de área amplia (*Wide Area Network*, WAN) que conecta el centro a redes de recolección de datos distantes y las redes de área local (*Local Area Network*, LAN) que permiten analizar e integrar los datos en sistemas de visualización y modelos informáticos.
- **Sistemas operativos y hardware** (estaciones de trabajo) disponibles para uso en los NTWC y RTWP.
- **Software** necesario para recolectar, analizar, integrar y visualizar los datos en los centros.
- **Requisitos sobre programas de mantenimiento** de los NTWC y RTWP.
- **Programas de redundancia** y su importancia.

## ¿Cuáles son los puntos más importantes que recordar acerca de las necesidades de los NTWC y RTWP para detectar tsunamis?

- Los centros de alerta de tsunamis requieren varios tipos de hardware, sistemas operativos y otros programas, y sistemas de comunicación para procesar y analizar los datos sísmicos y de nivel del mar con el fin de detectar la ocurrencia de un tsunami.
- Los programas que analizan y permiten visualizar los datos de observaciones terrestres para el personal de turno constituyen el elemento esencial del componente de detección y pronóstico de riesgo de un sistema integral de alerta de tsunamis.
- Los datos sísmicos y de nivel del mar de importancia crítica se deben recibir y procesar rápidamente en los centros de alerta de tsunamis para poderse utilizar en el proceso de alerta.
- Para detectar la señal de un tsunami y predecir su impacto se requiere un nivel de pericia científica y experiencia práctica en el campo que permita tomar decisiones rápidas y emitir productos en muy poco tiempo.

## Requisitos de tecnología de la información

Los NTWC y los RTWP requieren suficiente potencia de procesamiento para recolectar, procesar, observar y visualizar los datos sísmicos y de nivel del mar, y generar y disseminar los productos de forma eficaz. Esto significa que los centros de alerta de tsunamis deben contar con una o más conexiones a redes distantes, especialmente internet, con lo cual el centro esencialmente integra una o más redes de área amplia (*Wide Area Network*, WAN). Mucha de la información sobre redes WAN y LAN proviene de los artículos de Wikipedia [http://en.wikipedia.org/wiki/Local\\_area\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Local_area_network) (para LAN) y [http://en.wikipedia.org/wiki/Wide\\_area\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Wide_area_network) (para WAN), y se usa bajo la Licencia de documentación libre de GNU.

### Redes de área amplia (WAN)

Una WAN es una red de equipos informáticos que abarca un área geográfica amplia, a diferencia de las redes de área local (LAN), las cuales se limitan a una sala, un edificio o un grupo de edificios. El internet es la WAN más grande y mejor conocida.

Las redes de área amplia se utilizan para interconectar las redes de área local de manera que los usuarios y los equipos informáticos de un lugar puedan comunicarse con los usuarios y los equipos de otros lugares. Muchas redes de área amplia pertenecen a organizaciones particulares y son privadas. Otras han sido construidas por proveedores de servicios de internet, que son las empresas que suministran las conexiones entre la red de área local de una organización e internet. La mayoría de las WAN se crean sobre la base de líneas arrendadas. En un extremo de la línea arrendada hay un router que conecta a la red de área local; en el otro extremo, un

router conecta a un concentrador dentro de la WAN. Debido a que arrendar estas líneas puede ser muy costoso, es frecuente configurar una WAN utilizando métodos de conmutación de circuitos o de paquetes, cuyo costo es menor. Los protocolos de red, como el Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*, TCP/IP) cumplen funciones de direccionamiento y transporte. Los proveedores de servicios hacen uso de muchos protocolos para establecer las conexiones utilizadas en las WAN, como en envío de paquetes sobre SONET/SDH, MPLS, ATM y Frame Relay.

**Tabla 5-1. Diferentes opciones de conectividad a WAN.**

| Opciones                        | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Ventajas                                           | Desventajas                          | Rango de ancho de banda | Algunos protocolos utilizados                                                                                                  |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Línea arrendada</b>          | Enlace entre dos equipos de punto a punto                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Más segura                                         | Muy costoso                          |                         | Protocolo de punto a punto,<br>Control de enlace de datos de alto nivel (HDCL)<br>Control sincrónico de enlace de datos (SDLC) |
| <b>Conmutación de circuitos</b> | Se crea un circuito dedicado entre puntos terminales. El mejor ejemplo es una conexión de discado (acceso telefónico).                                                                                                                                                                                                                 |                                                    | Configuración de las llamadas        | 28 Kb/s a 144 Kb/s      | Protocolo de punto a punto,<br>Red de servicio digital integrado (ISDN)                                                        |
| <b>Conmutación de paquetes</b>  | Se utilizan dispositivos para transportar los paquetes a través de un simple enlace punto a punto compartido o de un enlace de punto a múltiples puntos a través de la red de conexión de un proveedor.<br><br>Los paquetes de longitud variable se transmiten sobre circuitos virtuales permanentes o circuitos virtuales conmutados. |                                                    |                                      |                         | X.25 Frame-Relay                                                                                                               |
| <b>Transmisión de celdas</b>    | Similar a la conmutación de paquetes, pero se usan celdas de longitud fija en vez de paquetes de longitud variable. Los datos se dividen en celdas de longitud fija y luego se transportan a través de circuitos virtuales.                                                                                                            | La mejor opción para uso simultáneo de datos y voz | La sobrecarga puede ser considerable |                         | Modo de transferencia asincrónico                                                                                              |

Por lo general, las WAN deben cruzar la vía pública y dependen al menos en parte de las conexiones suministradas por una empresa de telecomunicaciones. Típicamente, una red de área ancha consiste de cierto número de nodos de conmutación interconectados. Las transmisiones desde un dispositivo cualquiera se encaminan a través de estos nodos internos hasta el dispositivo de destino especificado. Estos nodos (incluidos los que se encuentran en zonas vecinas) no son sensibles al contenido de los datos, ya que su propósito es facilitar el servicio de comunicación que permite el movimiento de los datos de un nodo a otro hasta que lleguen a su destino. La tabla 5-1 presenta algunas opciones disponibles de conectividad a WAN.

La tasa de transmisión suele variar entre 1200 bits por segundo y 6 megabits por segundo. Los enlaces de comunicación más comunes en las WAN son las líneas telefónicas, los enlaces de microondas y los canales de satélites. La figura 5-4 muestra un ejemplo del programa de red de área amplia de un centro de alerta de tsunamis. La figura ilustra las conexiones entre el Centro de Alerta de Tsunamis de la Costa Oeste/Alaska (*West Coast/Alaska Tsunami Warning Center, WC/ATWC*) y varias WAN.

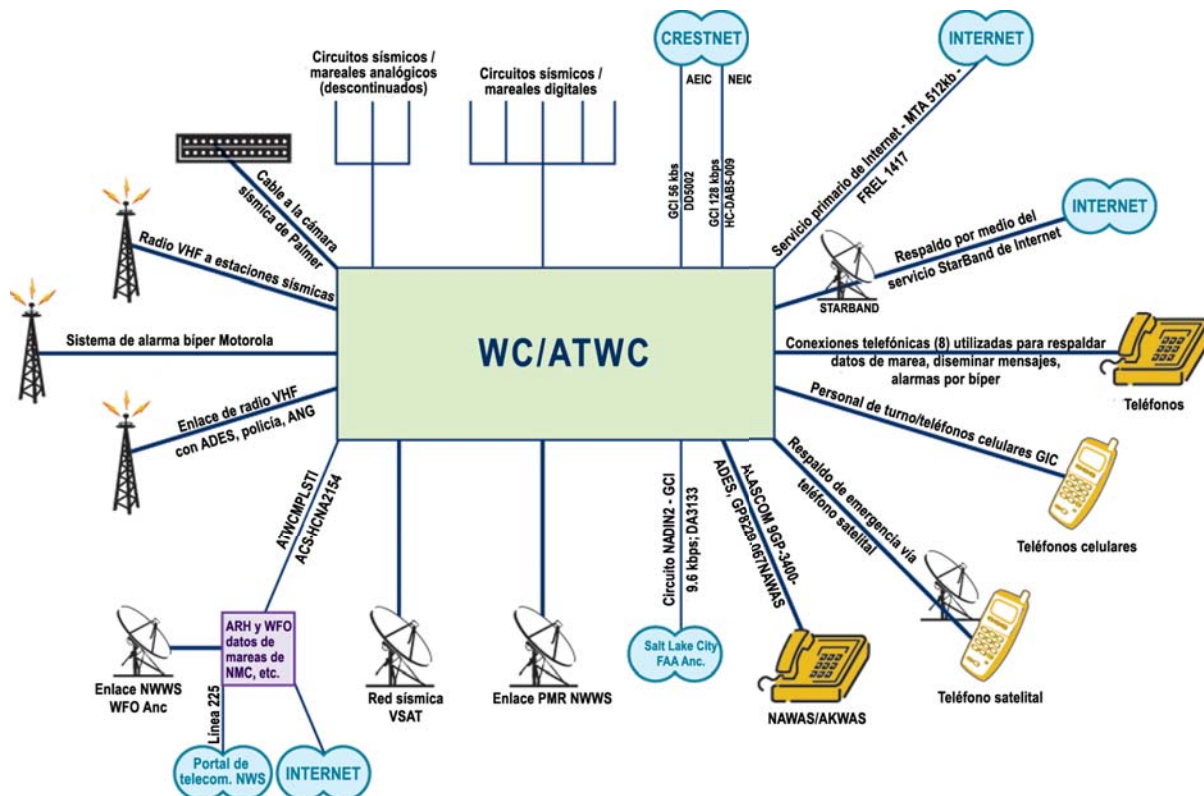


Figura 5-4. Conexiones del WC/ATWC a varias redes de área amplia (WAN).

## Redes de área local (LAN)

Los NTWC y RTWP también necesitan un sistema que permita las comunicaciones entre varios equipos informáticos con el fin de observar, procesar y visualizar los datos dentro de una red de área local (*Local Area Network*, LAN) que cubre una zona limitada, como una casa, una oficina o un grupo de edificios. La mayoría de las LAN actuales utilizan un conmutador Ethernet IEEE 802.3 que funciona a 10, 100 ó 1000 megabits por segundo, o bien la tecnología Wi-Fi.

Las características que diferencian una LAN de una WAN son una tasa de transferencia de datos mucho más alta, un alcance geográfico menor y el hecho de no necesitar una línea de telecomunicación arrendada. La figura 5-5 muestra una red de área local en forma esquemática. Observe que además de las PC y las estaciones de trabajo, la LAN puede incluir otros dispositivos y debe contar con un cortafuegos (*firewall*) si está conectada a una WAN pública, como internet.

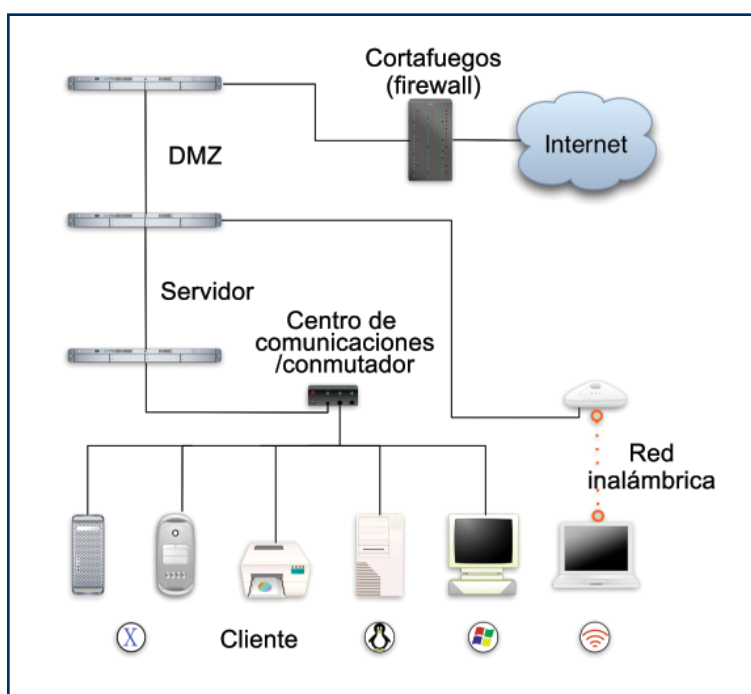


Figura 5-5. Diagrama esquemático de una LAN idealizada.

## Componentes físicos de una LAN

Los elementos físicos de una LAN incluyen las unidades de interfaz de acceso a la red (interfaces) que conectan las computadoras personales a la red. Estas unidades, que son esencialmente tarjetas de interfaz instaladas en la placa madre de la computadora, cumplen la función de proveer la conexión, monitorear la disponibilidad del acceso a la LAN, establecer o regular la velocidad de transmisión de los datos, asegurar que no se produzcan colisiones o errores de transmisión, y reunir los datos de la red de manera que la computadora los pueda utilizar.

Otro elemento de la LAN es el cableado, que constituye la conexión física entre una computadora y otras PC, las impresoras y los servidores de archivos. Las propiedades del cableado determinan la velocidad de la transmisión. Las primeras LAN empleaban cable coaxial, el mismo tipo de cable que se utiliza para distribuir la señal de televisión. Este tipo de cable es relativamente barato y fácil de conectar, y su elevado ancho de banda (la tasa de transferencia de datos del sistema) permitía transmitir a velocidades hasta de 20 megabits por segundo.

En la década de 1980 se desarrolló otro tipo de cableado que emplea cable de par trenzado ordinario del mismo tipo que se usa para las líneas telefónicas. Las ventajas principales de este tipo de cable son su bajo costo, facilidad de empalme en comparación con el cable coaxial y el hecho de que ya está instalado en la mayoría de los edificios; el único inconveniente es que ofrece un ancho de banda mucho más limitado.

Un desarrollo más reciente es el uso del cable de fibra óptica en las redes de área local. Este tipo de cable, que utiliza filamentos de vidrio muy delgados para transmitir pulsos de luz entre los terminales, brinda un enorme ancho de banda y permite alcanzar velocidades de transmisión muy altas; además, debido a que la transmisión es óptica en vez de electrónica, es menos sensible a las interferencias electromagnéticas. Por otro lado, unir estos cables puede ser difícil y requiere un alto grado de destreza. La principal aplicación de la fibra óptica no es entre PC terminales, sino entre los buses de la LAN localizados en diferentes pisos, de forma que la interfaz de datos distribuidos por fibra óptica se utiliza principalmente entre pisos, en la columna ascendente de cables del edificio. Dentro de cada piso individual el cableado de la LAN se realiza con cable coaxial o de par trenzado.

Cuando no se puede realizar una conexión física entre dos redes de área local, ya sea a través de una calle o entre dos edificios, una opción es el uso de microondas de radio, aunque no es siempre posible obtener una frecuencia para este medio. Otra alternativa para esta aplicación son los transceptores ópticos, los cuales proyectan un rayo de luz similar al de la fibra óptica, pero a través del aire, en lugar de un cable. Estos sistemas evitan los problemas de asignación de frecuencias y de radiación asociados con las microondas, pero son susceptibles a interferencia por niebla y otras obstrucciones naturales.

## Topologías de LAN

Las redes de área local se organizan en diferentes topologías o diseños físicos que representan el diseño de las conexiones físicas entre terminales. Las conexiones pueden hacerse en línea directa o en un anillo. Cada terminal de la LAN compete con otras para tener acceso al sistema. Una vez que una terminal tenga acceso seguro al sistema, envía sus mensajes a todas las demás terminales a la vez para que la terminal o el grupo de terminales específico al cual van dirigidos los capture. Otro tipo de conexión es la topología en árbol, que es una extensión del bus (línea de comunicación compartida) que provee un enlace entre dos o más buses.

Una tercera topología, la topología de estrella, también funciona como un bus en términos de contención y transmisión, pero con esta configuración las estaciones están conectadas a un único nodo central (una computadora individual) que administra el acceso a la red. Algunos de estos nodos pueden estar conectados entre sí. Por ejemplo, un bus que atiende a 6 estaciones puede estar conectado a otro bus que atiende a 10 estaciones y a un tercero que está conectado a otras 12 estaciones. La topología de estrella es la más utilizada cuando la conectividad se obtiene con cable coaxial o de par trenzado.

La topología de anillo conecta cada estación a su propio nodo y estos nodos se conectan en forma circular. El nodo 1 se conecta al nodo 2, el cual se conecta al nodo 3 y así sucesivamente hasta que el último nodo se vuelve a conectar al nodo 1. Los mensajes enviados por la red se vuelven a generar en cada nodo, pero sólo se retienen en los nodos a los que iban dirigidos. Eventualmente, el mensaje completa el círculo y regresa al nodo de origen, el cual lo quita de la corriente de datos.

## Métodos de transmisión utilizados por las LAN

Las redes de área local funcionan porque su capacidad de transmisión es mayor que la de cualquier terminal individual en el sistema. En consecuencia, se puede asignar cierta cantidad de tiempo en la red a cada terminal, un arreglo para compartir el uso. Para economizar dentro de esta pequeña ventana de oportunidad, las estaciones organizan sus mensajes en paquetes compactos que se pueden distribuir con rapidez. Cuando dos mensajes coinciden y se envían simultáneamente, pueden colisionar en la red y causar la interrupción temporal del sistema. Las redes que tienen mucho tráfico suelen utilizar un software especial que se dedica a brindar acceso ordenado sin contención, con lo cual casi se elimina el problema de las colisiones.

Los métodos de transmisión utilizados en las LAN pueden ser de banda base o de banda ancha. El medio de banda base utiliza una señal digital de alta velocidad que consiste en una onda cuadrada con un voltaje de corriente directa. Si bien es rápido, el medio de transmisión de banda base puede acomodar sólo un mensaje a la vez, de modo que es apropiado para redes pequeñas en las cuales hay poca competencia por los recursos disponibles. Es también muy simple de usar, ya que no requiere sintonización o un circuito de frecuencia discreta. Este medio de transmisión se puede conectar directamente a la unidad de acceso a la red con cable de par trenzado.

En contraste, el medio de banda ancha sintoniza las señales a frecuencias especiales, de forma análoga a la televisión por cable. Las estaciones reciben señales con instrucciones para sintonizar un canal específico cuando necesitan recibir información. La información en cada canal del medio de banda ancha puede ser digital, pero está separada de los demás mensajes por su frecuencia. Por lo tanto, este medio suele necesitar cableado de alta capacidad, como cable coaxial, por ejemplo. Los sistemas de banda ancha son más adecuados para redes con mucho tráfico y requieren dispositivos de sintonización en la unidad que controla el acceso a la red para filtrar todos los canales y admitir sólo el canal que se necesita.

## Servidores de archivos

El software de administración de la LAN reside en un servidor de archivos dedicado o, en el caso de una red más pequeña con menos tráfico, en una computadora personal que funciona como servidor. Además de ser una especie de controlador de tráfico, el servidor almacena los archivos de uso compartido en sus discos duros, administra el uso de las aplicaciones, como el sistema operativo, y asigna las funciones.

Cuando se utiliza una computadora individual como estación de trabajo y servidor a la vez, es posible que el tiempo de respuesta aumente, porque el procesador se ve forzado a desempeñar varias funciones a la vez. Este sistema almacena ciertos archivos en diferentes computadoras de la red, de manera que si un equipo deja de funcionar, todo el sistema puede verse afectado. Si el sistema colapsa por falta de capacidad, se pueden perder o corromper datos.

La adquisición de un servidor dedicado puede ser costosa, pero brinda ciertas ventajas sobre un sistema distribuido. Además de asegurar el acceso incluso cuando algunos equipos dejan de funcionar, su única función es almacenar archivos y controlar el acceso.

## Otros equipos de LAN

Por lo general, el tamaño de una red de área local está limitado por las propiedades intrínsecas de la red, como la distancia, la impedancia y la carga. Existen algunos aparatos, como los repetidores, que pueden extender el alcance de una LAN. Los repetidores no tienen capacidad de procesamiento, sino que se limitan a regenerar las señales debilitadas por la impedancia. Otros equipos que tienen capacidad de procesamiento y se utilizan en las redes de área local, como las puertas de enlace o pasarelas (*gateways*), permiten la transferencia de información entre redes con protocolos de funcionamiento diferentes traduciéndola a un código más sencillo, como ASCII. Los puentes funcionan como las *gateways*, pero en vez de utilizar un código intermedio traducen directamente de un protocolo a otro. Los routers ejecutan esencialmente las mismas funciones que un puente, excepto que administran las comunicaciones en rutas alternativas. Las *gateways*, los puentes y los routers pueden actuar como repetidores y reforzar la señal para recorrer mayores distancias. Estos equipos también permiten las comunicaciones entre las LAN de edificios diferentes.

La conexión de dos o más LAN a cualquier distancia se reconoce como una WAN. El sistema operativo de la WAN requiere programas especiales para realizar conexiones de discado por medio de líneas telefónicas u ondas de radio. En ciertos casos, las redes de área local ubicadas en diferentes ciudades (hasta en diferentes países) se pueden enlazar por medio de la red pública.

## Problemas de las LAN

Las redes de área local son susceptibles a muchas clases de errores de transmisión. La interferencia electromagnética de los motores, las líneas de energía eléctrica y las

fuentes de estática, así como también los cortocircuitos causados por la corrosión del cableado, pueden corromper los datos. Los errores de programación del software y las fallas de hardware, así como las irregularidades del cableado y las conexiones, pueden también producir errores. Las LAN suelen compensar dichos errores con el uso de suministros eléctricos ininterrumpidos, como baterías, y software de respaldo que permite “memorizar” la actividad más reciente y recuperar el material no guardado. Algunos sistemas se diseñan para ser redundantes, por ejemplo, con dos servidores o cableado alternativo que permite esquivar las fallas.

Los problemas de seguridad pueden también ser un problema en las LAN y a veces son difíciles de manejar y encontrar debido a que con frecuencia los datos utilizados por la red están distribuidos en muchos equipos diferentes que están conectados a la red. Además, a menudo estos datos están almacenados en diferentes estaciones de trabajo y servidores. En la mayoría de las compañías hay administradores asignados específicamente a la LAN para hacerse cargo de estos problemas y del uso del software de LAN, así como de realizar las copias de respaldo y recuperar cualquier archivo que se pierda.

## Comentario

Los centros de alerta de tsunamis deben asegurarse de mantener cortafuegos y otras medidas de seguridad para proteger la integridad de sus redes.

## Puntos importantes que recordar acerca de las redes informáticas

- Una red de área amplia (WAN) es una red de computadoras que cubre un área geográfica amplia y se utiliza para interconectar las redes de área local (LAN) de manera que los usuarios y las computadoras de un lugar puedan comunicarse con los usuarios y las computadoras de otros lugares.
- Una LAN es una red de computadoras que cubre un área local, como una casa, una oficina o un grupo de edificios. Las LAN tienen tasas de transmisión de datos mucho más altas, un alcance geográfico menor y no requieren una línea de telecomunicación arrendada como la mayoría de las WAN.
- Si se conecta a una WAN pública como internet, la LAN debe contar con un cortafuegos.

## Requisitos de hardware y sistema operativo de los NTWC y RTWP

Los NTWC y RTWP necesitan computadoras y sistemas operativos para recolectar, procesar, vigilar y visualizar los datos sísmicos y del nivel del mar en forma efectiva y producir y diseminar los productos. En la actualidad, existen dos opciones principales en lo referente a hardware y sistema operativo para los centros de alerta de tsunamis: las computadoras personales con el sistema operativo Windows u OS X de

Apple, y las estaciones de trabajo con base en UNIX. Cada una de estas opciones tiene sus fortalezas y debilidades y todas requieren considerable trabajo de mantenimiento.

## Sistemas operativos

Los sistemas operativos más apropiados para los NTWC y los RTWP equipados con computadoras personales son los de Microsoft, como Windows NT Advanced Server, Windows for Workgroups y Windows XP.

En el pasado, las estaciones de trabajo UNIX producidas por Sun Microsystems, Hewlett-Packard, Silicon Graphics, Intergraph, NeXT, Apollo y otras compañías han utilizado redes basadas en TCP/IP. Aunque este segmento del mercado se ha reducido mucho, la tecnología desarrollada en este sector sigue siendo un factor para el internet y las redes Linux y Apple/Macintosh con sistema operativo Mac OS X. El protocolo TCP/IP ha reemplazado casi por completo los protocolos IPX (*Internetwork Packet Exchange*), AppleTalk, NETBEUI (*NetBIOS Extended User Interface*) y otros utilizados en versiones anteriores de LAN basadas en computadoras personales.

Aunque las LAN basadas en Windows tienen sus ventajas y desventajas, implementar una LAN con base en UNIX/Linux también puede traer beneficios y problemas en el entorno de un NTWC o RTWP. En ambos casos es preciso contar con cierto grado de redundancia y atender al tema de la seguridad, para asegurar la confiabilidad y capacidad de procesamiento de los datos en todo momento.

## Estaciones de trabajo

Existen dos tipos básicos de estación de trabajo que se pueden utilizar para llevar a cabo las operaciones propias de un centro de alerta de tsunamis (es decir: recolectar datos, ejecutar aplicaciones y diseminar productos). Por lo general, las estaciones de trabajo más avanzadas están asociadas a alguna variante del sistema operativo UNIX. Por otro lado, las computadoras personales suelen ejecutar alguna versión de Windows o Mac OS X, en el caso de las Apple/Macintosh, aunque hoy en día casi todas las computadoras personales más avanzadas pueden utilizar Linux como sistema operativo.

Una tendencia general es que las computadoras personales actuales suelen ser más potentes que la mejor estación de trabajo de la generación anterior. Esto significa que el mercado de las estaciones de trabajo es cada vez más especializado, ya que muchas de las operaciones complejas para las cuales antes se requería un sistema avanzado ahora se pueden ejecutar con una computadora personal de uso general. Sin embargo, el hardware de las estaciones de trabajo está optimizado para altas tasas efectivas de transferencia de datos, gran capacidad de memoria, multiproceso y multihebra. Cuando se requiere considerable potencia de cálculo, las estaciones de trabajo constituyen la mejor alternativa, ya que las PC son menos eficientes.

Con frecuencia, los componentes instalados en las computadoras personales son tecnológicamente muy avanzados, y las estaciones de trabajo han cambiado considerablemente. Debido a que muchos de los componentes son ahora los mismos que se utilizan en el mercado orientado al consumidor, las diferencias de precio entre las estaciones de trabajo y las computadoras personales son mucho menores. Por ejemplo, algunas de las estaciones de trabajo menos avanzadas utilizan la arquitectura CISC (*Complex Instruction Set Computer*) basada en procesadores tales como el Pentium 4 de Intel o Athlon 64 de AMD como unidad de procesamiento central (CPU). Las estaciones de trabajo más avanzadas utilizan una CPU más sofisticada, como el Itanium 2 de Intel, el Opteron de AMD, POWER de IBM o UltraSPARC de Sun, y alguna variante de UNIX, para ofrecer una herramienta de trabajo sólida y confiable para tareas de cómputo intensivo. Esto complica la decisión de comprar o no una verdadera estación de trabajo. Aunque a veces realmente se requiere uno de estos sistemas, muchas organizaciones optan por sistemas más baratos tipo computadora personal, pese a que son más propensos a fallas. Ambas rutas presentan ventajas y desventajas, pero, en general, satisfacen los requisitos de un NTWC o RTWP.

Lo ideal sería que todos los NTWC y RTWP utilizaran el mismo hardware, sistema operativo y software, ya que esto permitiría estandarizar el desarrollo, el mantenimiento la identificación de problemas y las operaciones y, al mismo tiempo, reducir los costos. La realidad es que a menudo las decisiones sobre sistemas operativos y hardware en los centros se toman de acuerdo con normas institucionales, las habilidades y capacidades del personal y/o los límites de presupuesto.

## Comentario

Todos los NTWC y RTWP deberían hacer un esfuerzo para utilizar el mismo hardware, sistema operativo y software.

La cantidad de estaciones de trabajo necesarias para llevar a cabo las operaciones de un centro depende del hardware y el sistema operativo, del número de programas, del alcance de las comunicaciones y del criterio empleado para asegurar la redundancia de las funciones críticas.

El Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC) utiliza estaciones de trabajo RISC con el sistema UNIX y el centro de operaciones consiste de 6 computadoras Sun Microsystems (SUN). Dos de ellas sirven como puertos de carga. Todos los datos de ondas sísmicas y la mayoría de los datos de parámetros sísmicos pasan a través de los puertos de carga. Las restantes cuatro estaciones de trabajo se utilizan para procesar los datos sísmicos y del nivel del mar y ejecutan otro tipo de software, como, por ejemplo, para calcular el tiempo de propagación y para fines de mensajería. Las operaciones del PTWC están separadas en una parte principal y una parte redundante, para eliminar la posibilidad de un punto único de falla. La configuración de hardware del PTWC se ilustra en la figura 5-6.

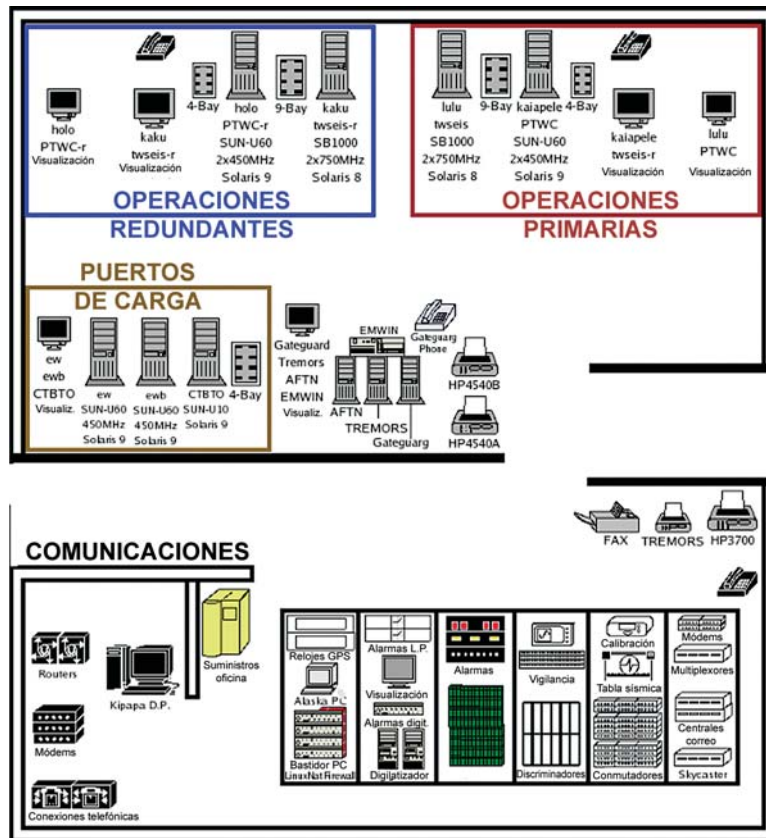


Figura 5-6. Configuración del hardware del PTWC en julio de 2006.

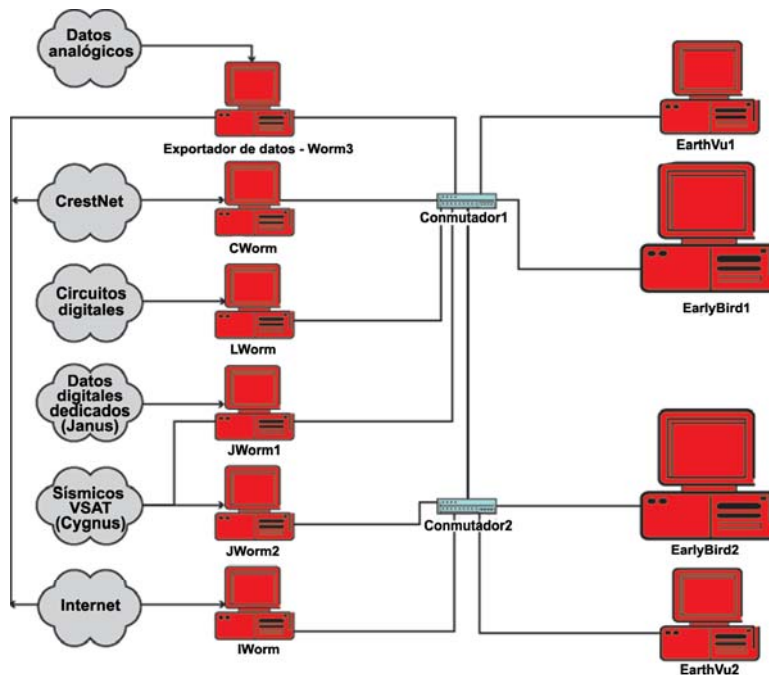


Figura 5-7. Red de procesamiento de información sísmica del WC/ATWC (note la redundancia).

En la actualidad, el WC/ATWC utiliza computadoras personales con la última versión del sistema operativo Windows. El centro tiene dos redes básicas interconectadas con servidores redundantes: EarlyBird, para procesar los eventos sísmicos, y TideTool, para datos de nivel del mar. La figura 5-7 ilustra la topología básica de la red sísmica del WC/ATWC, que comprende 10 computadoras personales con Windows XP que conforman el sistema de procesamiento sísmico EarlyBird. Hay cinco computadoras personales dedicadas a la importación y exportación de datos mediante los módulos estándar del software Earthworm. Dos de las computadoras personales restantes son el procesador principal de datos sísmicos y el equipo de respaldo. Ambas vigilan constantemente la actividad de terremotos en aproximadamente 200 canales sísmicos. Cada procesador sísmico tiene una PC asociada que ejecuta el sistema de información geográfica (GIS) EarthVu. Estas PC visualizan la ubicación de los terremotos procesados con EarlyBird 1 y 2 y brindan una interfaz gráfica de acceso a la base de datos. Es posible sobreponer a los mapas de la interfaz gráfica mucha información de interés para el personal de turno.

## Puntos importantes que recordar acerca de los sistemas operativos y el hardware

- En la actualidad, Windows NT Advanced Server, Windows for Workgroups y Windows XP son los sistemas operativos de red más apropiados para un NTWC o RTWP que utiliza computadoras personales.
- En el entorno de un NTWC o RTWP, el uso de una LAN basada en Windows tiene ciertas ventajas y desventajas, como las tiene la implementación de una LAN basada en UNIX/Linux.
- Ambos sistemas operativos (Windows y UNIX) requieren redundancia y atención a la seguridad para garantizar la disponibilidad y el procesamiento de los datos en todo momento.
- Lo ideal sería que todos los NTWC y RTWP utilizaran el mismo hardware, sistema operativo y programas, lo cual permitiría estandarizar y hacer más económicas las tareas de desarrollo, operación, mantenimiento y solución de problemas.

## Requisitos de software y procesamiento de los NTWC y RTWP

El software es esencial para mantener al personal de turno al tanto de la situación. Algunos programas también procesan los datos de observación terrestre para generar información que permite al personal del centro de alerta tomar la decisión sobre qué producto publicar después de un terremoto. Para realizar un análisis rápido de las características de un terremoto y determinar si existe la amenaza de un tsunami, se deben satisfacer varios requisitos en cuanto a la velocidad de procesamiento, un número suficiente de observaciones sísmicas y del nivel del mar, e intervalos de interrogación suficientemente cortos.

## Software (programas o aplicaciones)

Los programas son conjuntos de código de programación que suministran al personal de turno de un centro de alerta de tsunamis las herramientas necesarias para mantenerse al tanto de la situación, colaborar, tomar decisiones, preparar productos y diseminarlos de manera oportuna. En otras palabras, los programas ayudan al personal de turno a hacer su trabajo y son prácticamente indispensables. El sistema operativo del centro suele determinar el lenguaje de programación empleado para crear las aplicaciones. Por ejemplo, en los sistemas UNIX se utiliza el lenguaje de herramientas de comando Tcl/Tk, mientras que en Windows se programa con C++. La experiencia adquirida en los NTWC indica que las aplicaciones pueden dividirse en varias categorías, según su función:

- recolección de datos sísmicos y del nivel del mar en tiempo real;
- generación de bases de datos y procesamiento en tiempo real;
- supervisión automática de los datos que exceden un umbral;
- cálculo de los parámetros que se derivan de los datos observados;
- visualización de información y datos para que el personal de turno esté al tanto de la situación;
- diseminación de productos de texto y gráficos a los asociados y a otros centros de alerta de tsunami.

Independientemente de que el centro utilice software desarrollado internamente o en otro centro, debe contar con ciertos programas, como los que se mencionan a continuación. Algunos programas se describen en detalle en los manuales de operaciones del PTWC y del WC/ATWC.

### *Recolección de datos sísmicos y del nivel del mar en tiempo real*

Normalmente, los datos de nivel del mar se obtienen de las redes internacionales a través del Sistema Mundial de Telecomunicaciones (SMT) de la OMM, ya sea por internet o mediante la WAN de un país. Por lo general, los programas de recolección de datos sísmicos utilizan las comunicaciones por internet y los módulos estándar del programa Earthworm del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) para:

- digitalizar datos analógicos (aunque ahora esto se hace principalmente en el campo);
- recibir datos de la red del proyecto de implementación internacional de acelerómetros IDA (*International Deployment of Accelerometers*) de IRIS para su asimilación en Earthworm;
- reunir los trazados y datos de hipocentros provenientes de otros centros de alerta;
- iniciar y reiniciar todos los módulos cuando sea necesario.

#### **C**omentario

El programa Earthworm del USGS es muy bueno para procesar los datos sísmicos.

## Generación de bases de datos y procesamiento en tiempo real

- Registrar los hipocentros en disco y en EarthVu
- Procesar los datos de ondas superficiales para calcular la magnitud del momento ( $M_w$ )
- Procesar los datos de tensor momento sísmico

## Supervisión automática de los datos que exceden un umbral

- Leer, visualizar y analizar datos sísmicos
- Archivar datos
- Consultar las bases de datos de terremotos y de tsunamis
- Leer, visualizar y analizar las lecturas de mareógrafos y boyas DART
- Leer, visualizar y analizar los datos de detección de penetración máxima (*runup*)

## Cálculo de los parámetros que se derivan de los datos observados

- Seleccionar ondas P y determinar la magnitud por medio de algoritmos
- Localizar de forma interactiva el hipocentro del sismo
- Disparar el procesamiento y calcular la magnitud de Richter, la magnitud en la superficie ( $M_s$ ), la magnitud en el manto ( $M_m$ ), la magnitud del momento ( $M_w$ ), la magnitud del momento con respecto a ondas P ( $M_{wp}$ ), etc.
- Calcular y mostrar los tiempos de propagación de tsunamis

## Visualización de información y datos para que el personal de turno esté al tanto de la situación

- Mostrar los datos sísmicos de período corto en tiempo real
- Mostrar los parámetros de hipocentro calculados y corregir los datos de ondas P
- Mostrar los datos sísmicos de período largo en tiempo real y procesar los datos de  $M_s$
- Visualizar los datos de ubicación y datos de ondas P en pantalla
- Mostrar un resumen de datos del sismo a vigilar
- Visualizar los epicentros en mapas a escala grande, pequeña y regional
- Sobreponer información pertinente, como tsunamis y terremotos históricos, volcanes, isohipsas, carreteras, tuberías y áreas de vigilancia y alerta de tsunami
- Visualizar mapas a gran escala
- Visualizar mapas a pequeña escala
- Visualizar mapas regionales con los epicentros de los últimos 7 días
- Disparar la visualización y creación de mapas de tiempo de propagación de un tsunami cuando se genera un mensaje de tsunami

## Diseminación de productos de texto y gráficos a los asociados y a otros centros de alerta de tsunami

- Enviar trazados y datos de hipocentro a otros centros
- Enviar mensajes de alarma desde un puerto serial (para el sistema de buscapersonas)
- Crear alertas de tsunami y otros mensajes con base en los parámetros del hipocentro de un terremoto
- Visualizar la información en mapas para su publicación en internet con mensajes sobre tsunamis
- Crear mapas en segundo plano y grabarlos en disco para transferencia al sitio web
- Enviar mensajes electrónicos automáticamente a la lista de abonados

## Requisitos de procesamiento de datos de nivel del mar

Varias décadas de experiencia en diversos centros nacionales y regionales han permitido determinar los requisitos de capacidad de procesamiento para que las redes mareográficas puedan apoyar de forma adecuada a los programas de alerta de tsunamis. El programa Sistema Mundial de Observación del Nivel del Mar (*Global Sea Level Observing System*, GLOSS) definió estas pautas sobre la base de principios científicos y considerando la gran importancia del tiempo en el proceso de emisión de los productos para proteger vidas y propiedad. Las explicaciones que siguen se basan en las diversas necesidades de los programas de alerta, según se trate de tsunamis locales y de teletsunamis. Cada nación o jurisdicción tendrá que evaluar sus propias necesidades en términos de los requisitos de alerta temprana.

Las especificaciones actuales del componente de nivel del mar in situ a lo largo y ancho de la cuenca oceánica (a nivel regional) para los sistemas de alerta de tsunami exigen normas de recolección y transmisión de datos que incluyen “muestras de promedios de 1 minuto y un ciclo de transmisión continua de 15 minutos a través del SMT de la OMM a la Agencia Meteorológica de Japón (*Japanese Meteorological Agency*, JMA), al PTWC y a otros centros de alerta y/o proveedores de vigilancia apropiados”. Estas pautas se definieron en base a consultas con el personal científico de los centros de alerta de tsunamis existentes, el personal técnico del PTWC, la JMA y las agencias a cargo de las operaciones de satélites geoestacionarios, como la JMA y EUMETSAT (Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos).

La Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) y el programa GLOSS siguieron estas pautas para establecer y/o facilitar las estaciones mareográficas como parte de la red central de estaciones mareográficas del Sistema de Alerta de Tsunamis en el Océano Índico (*Indian Ocean Tsunami Warning System*, IOTWS). Sin embargo, las reuniones posteriores del Grupo Intergubernamental de Coordinación (GIC) en Europa y el Caribe y del equipo de concepto de operaciones (CONOPS) identificaron la necesidad de establecer estándares de recolección y transmisión de datos a nivel

subregional y nacional. Los estándares propuestos por el GIC incluyen los siguientes requisitos:

**Sitios subregionales** (es decir, sitios a 1 hora de viaje de una zona tsunamigénica):

- Muestras de promedios de 15 segundos con ciclos de transmisión continua de 5 minutos.
- Transmisión inmediata mediante el SMT de la OMM a la JMA, al PTWC y a otros centros de alerta apropiados. (Sin embargo, hay que recordar que los satélites meteorológicos geoestacionarios europeos y japoneses no se pueden utilizar, ya que están limitados a ciclos de transmisión de 15 minutos).

**Sitios nacionales** (es decir, sitios a 100 km de una zona tsunamigénica):

- Muestras de promedios de 15 segundos con ciclos de transmisión continua o de 1 minuto para sitios que están dentro de los 100 km de una zona tsunamigénica.
- Transmisión inmediata mediante el SMT de la OMM a la JMA, al PTWC y a otros centros de alerta y proveedores de vigilancia apropiados.

Los estándares deben incluir informes de datos que cubran un período mayor que la frecuencia de transmisión (para transmitir datos redundantes).

## Software de procesamiento de datos de nivel del mar

El paquete de software TideTool brinda al usuario final la capacidad de decodificar, visualizar y manipular los datos de nivel del mar enviados a través del SMT de la OMM. El software utiliza el paquete Tcl/Tk, y de forma específica la extensión BLT. Tcl/Tk es un software de código abierto independiente de la plataforma que ofrece un robusto lenguaje de programación shell y un juego de herramientas gráficas.

### Comentario

El programa **TideTool** es un buen programa para procesar los datos de nivel del mar.

El programa fue desarrollado en el PTWC para crear una herramienta operativa de vigilancia de tsunamis constante y en tiempo real en el Océano Índico. Los usuarios principales serían los servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales u otras agencias con un enlace descendente del SMT o acceso a un archivo de datos con la misma información en un formato similar. Este software se ha probado en entornos Linux, Windows 2000 y Windows XP en Indonesia y Malasia. Hay un manual disponible que brinda información de instalación y uso, así como información adicional sobre el programa en el documento *Display and Decode of Sea Level Data Transmitted Over the WMO Global Telecommunications System* que se puede descargar de la siguiente página web:

[http://www.iotws.org/ev\\_en.php?ID=1414\\_201&ID2=DO\\_TOPIC](http://www.iotws.org/ev_en.php?ID=1414_201&ID2=DO_TOPIC)

## Requisitos de red de datos sísmicos y procesamiento para los centros que necesitan un tiempo de respuesta de 5 minutos

Para producir magnitudes de momento exactas, los NTWC y RTWP requieren datos sísmicos en tiempo real que sean confiables, de frecuencia amplia, bajo nivel de ruido y rango dinámico alto. El tiempo de respuesta de los datos es clave para emitir un boletín inicial dentro de 5 minutos después de que ocurra un sismo, algo que es particularmente importante para los centros con fuentes de tsunami locales.

### *Densidad de datos de la red sísmica y requisitos de tiempo*

- Doce sismómetros distribuidos de manera uniforme dentro de 900 km (equivalente a 2 minutos de propagación de las ondas P) de todas las áreas fuente costeras.
- Se debe suponer que en cualquier momento dado sólo estará disponible el 80 % de los datos (entre 9 y 10 de los 12 sitios estarán en funcionamiento).
- Latencia de datos máxima de 30 segundos.
- Estas condiciones brindarán entre 9 y 10 observaciones de ondas P dentro de 2 minutos y medio después de ocurrido el sismo (hora cero). Esto permitirá determinar la ubicación correcta del hipocentro utilizando el sistema de procesamiento adecuado.
- En 60 segundos más se registrarán las ondas P, lo cual dará los datos necesarios para calcular la magnitud del momento.
- La magnitud del momento y la ubicación del hipocentro pueden estar disponibles 3 minutos y medio después de la hora cero.
- 30 segundos para análisis por parte del personal capacitado.
- 60 segundos para redactar y enviar un boletín = 5 minutos en total desde la hora cero.

### *Capacidad de procesamiento de datos sísmicos*

- Procesar los datos sísmicos para producir horas de llegada de las ondas P y parámetros de magnitud apropiados.
- Disparar alarmas con base en la detección de fuertes sacudidas del suelo en una o dos estaciones.
- Producir de inmediato la ubicación del hipocentro, si se ha recibido una cantidad suficiente de ondas P (5 a 7 llegadas).
- Mantener una interfaz gráfica de usuario que permita a un analista examinar y modificar los datos en tiempo real y cambiar la ubicación de un evento en forma interactiva.
- Calcular la magnitud del momento dentro de 60 segundos después de la llegada de las ondas P a una estación dada.
- Interactuar directamente con el software de generación de productos para emitir los boletines con el mínimo esfuerzo.

## Software de procesamiento de datos sísmicos

Se debe utilizar el sistema de procesamiento de datos sísmicos Earthworm del USGS como arquitectura de procesamiento base para interoperabilidad con otros centros y por la disponibilidad del código fuente y la facilidad de intercambio de módulos y procesos. Encontrará la versión 7.3 de Earthworm en: <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc/>.

## Puntos importantes que recordar acerca de los requisitos de software y procesamiento

- La experiencia en centros de alerta de tsunamis ya establecidos indica que las aplicaciones necesarias se pueden dividir en varias categorías:
  - recolección, procesamiento y almacenamiento en bases de datos en tiempo real de los datos sísmicos y del nivel del mar;
  - supervisión automática en busca de datos que exceden determinados umbrales;
  - cálculo de los parámetros que deben derivarse de los datos observados;
  - visualización de información y datos para que el personal de turno se mantenga al tanto de la situación;
  - diseminación de productos de texto y gráficos a los asociados y a otros centros de alerta de tsunami.
- El GIC y CONOPS identificaron la necesidad de establecer estándares de recolección y transmisión de datos a nivel subregional y nacional.
- El paquete de software TideTool brinda al usuario final la capacidad de decodificar, visualizar y manipular los datos de nivel del mar enviados por el SMT de la OMM.
- La obtención oportuna de datos es esencial para emitir un boletín inicial tan sólo 5 minutos después de ocurrido un evento. Esto es particularmente importante para los centros con fuentes de tsunami locales.
- Se debe utilizar el sistema de procesamiento de datos sísmicos Earthworm del USGS como arquitectura de procesamiento base para la interoperabilidad con otros centros.

## Capacidad de respaldo y redundancia

Como ya vimos en la sección sobre comunicaciones de respaldo del capítulo 4, se deben utilizar varios tipos de sistemas de respaldo en los centros de alerta de tsunamis. Cada NTWC y RTWP necesita contar con rutas de comunicación alternativas para fines de recolección de datos y diseminación de los productos. En caso de que uno de los enlaces de comunicación primarios de un centro falle, la información se puede ser redirigir a través de un enlace secundario. De forma análoga, los centros no deben depender exclusivamente de una red o un mareógrafo, sino que deben utilizar redes redundantes, de forma que si su red primaria de datos terrestres no está disponible, ya sea por falla del equipo o problemas de comunicación, el centro aún podrá funcionar utilizando las redes alternativas.

Para que un centro pueda respaldar la funcionalidad de otro, deben haberse establecido procedimientos para que un RTWP pueda asumir las funciones de uno de sus NTWC en el caso de que ese centro nacional perdiera todos los enlaces de comunicación. De forma similar, cada RTWP debe establecer acuerdos con otro RTWP para que se haga cargo de la situación si ocurre un evento catastrófico en el centro regional cuyas funciones se ven interrumpidas. Normalmente, un centro de alerta de tsunamis debe tener conexiones con al menos otros dos centros y cada RTWP debe tener acuerdos al menos con otro proveedor regional para que opere como respaldo en las comunicaciones.

## Comentario

La creación de sistemas redundantes de comunicación, hardware y software reduce la necesidad de acudir a un respaldo completo.

La capacidad de respaldo total por parte de otro centro brinda, en teoría, redundancia completa de las funciones del centro original. Sin embargo, mantener esta capacidad implica un costo alto, ya que el centro de respaldo debe estar entrenado en los procedimientos y responsabilidades de la otra oficina y normalmente se necesitan canales adicionales de comunicación para que el centro de respaldo pueda recolectar todos los datos pertinentes y poder comunicarse con todos los asociados del centro original. Y, por supuesto, el personal del sitio de respaldo debe realizar pruebas frecuentes del procedimiento de respaldo.

Debido al alto costo de financiamiento y de los recursos y a la alta probabilidad de que surjan problemas debido al uso poco frecuente del sistema, debe utilizarse el respaldo completo sólo como último recurso. Los centros deben tratar de establecer redundancias in situ en materia de comunicaciones, hardware y software, de modo que puedan mantenerse en funcionamiento si ocurre una interrupción menor del servicio en el sistema.

Como muestran las figuras 5-6 y 5-7, la redundancia de hardware es un requisito importante para los centros, y es un aspecto que va de la mano con la necesidad del centro de obtener de manera redundante los datos sísmicos y del nivel del mar de varias redes y por medio de diferentes canales de comunicación. La redundancia ayuda a asegurar que haya datos disponibles para el software cuando más se necesiten, es decir, durante un evento. Una ventaja adicional es que el sistema de respaldo se puede configurar como una herramienta de entrenamiento.

## Puntos importantes que recordar acerca de las operaciones de respaldo y redundancia

- En teoría, la capacidad de un centro para respaldar a otro en todas sus funciones brinda redundancia completa y debe establecerse.
- Debido al alto costo y a la alta probabilidad de encontrar problemas debido al uso poco frecuente del sistema, conviene evitar las situaciones que requieren el traspaso completo de las funciones y todos los centros deben tratar de establecer redundancias in situ en materia de comunicaciones, hardware y software.

## Requisitos de mantenimiento

Un programa de mantenimiento con buen apoyo y coordinación es un aspecto esencial para el éxito de un centro de alerta de tsunamis. El alcance y el peso de los requisitos del programa de mantenimiento dependerán del tipo de equipo instalado en el centro y la medida en que el centro mantiene su propio equipo. Por ejemplo, si un NTWC utiliza sus propios sismómetros o mareógrafos, el personal técnico en electrónica deberá tener conocimientos y entrenamiento distintos frente a otro centro que se maneja sólo con redes de sismómetros y mareógrafos internacionales, o de un centro cuyas redes nacionales son mantenidas por otras agencias del gobierno o por contratistas. La situación es similar en el caso de los equipos informáticos y de comunicación, y para el software.

Existen varios motivos que favorecen el uso de un programa de mantenimiento interno en vez de depender de otros grupos para el mantenimiento del equipo esencial. Lo contrario también es cierto; existen buenas razones, especialmente con respecto a presupuestos y redundancia de trabajo, para depender de personal experto para el mantenimiento del equipo esencial de un centro. Lo que sí es claro, sin embargo, es que los centros de alerta de tsunamis deben contar con un buen programa para especificar, registrar y rastrear el trabajo de reparación del equipo esencial.

Independientemente de que un centro tenga un programa de mantenimiento interno, subcontrate todo el mantenimiento o cree un programa que incluye una combinación de las dos propuestas, debe rastrear todas las actividades de mantenimiento para poder manejar el programa de forma eficaz. El centro debe establecer un sistema de informes de mantenimiento e ingeniería similar a los que utilizan muchas agencias meteorológicas nacionales. Los datos recopilados de esta forma son esenciales para una máxima capacidad de respuesta a la misión del centro. Este sistema debe ser la principal herramienta administrativa para recolección de datos, análisis y flujo de trabajo utilizado por el centro. Estos datos permiten:

- Determinar la confiabilidad y capacidad de mantenimiento de los sistemas
- Anticipar los requisitos de mantenimiento de los sistemas e instalaciones
- Medir la efectividad de las actualizaciones y modificaciones en los sistemas e instalaciones
- Configurar los datos en sistemas e instalaciones específicas
- Contar con evidencia del estado operativo del sistema para uso en asuntos legales
- Supervisar los recursos de ingeniería gastados en el diseño de los sistemas y las instalaciones
- Proveer datos de desempeño del programa
- Administrar el flujo de trabajo para el mantenimiento del centro
- Evaluar los requisitos de mantenimiento de los sistemas y las instalaciones, y asistir en la planificación del personal en el futuro

El centro debe determinar qué eventos de mantenimiento merecen inclusión en los informes, ya que estos se utilizarán en el mantenimiento de los programas del centro. En términos generales, hay 5 tipos de eventos de mantenimiento que merecen inclusión en informes:

- **Mantenimiento correctivo.** La medida que debe tomarse para corregir fallas y restaurar el funcionamiento del sistema/equipo o de las instalaciones a los niveles de capacidad y tolerancia recomendados. Esto incluye las reparaciones no planeadas ni periódicas, así como también la administración de sistemas debido a evidencia de que ocurrió o es inminente que ocurra una falla.
- **Administración del equipo.** Llevar a cabo funciones de activación, desactivación, reubicación del sistema/equipo o las instalaciones, y otras actividades similares.
- **Modificación.** Ejecución de los cambios autorizados en la configuración del hardware y/o software necesarios para mejorar o extender las operaciones o la vida útil de un sistema/equipo o las instalaciones, o bien para satisfacer nuevos requisitos.
- **Actividades especiales.** La recolección autorizada por un período corto de tiempo o de ciertos datos específicos (muestreo especial), la instalación de un sistema o equipo, la reubicación de un equipo, la pruebas del sistema después de la modificación de un equipo y otras actividades similares con fines específicos.
- **Mantenimiento preventivo o de rutina.** Las medidas de mantenimiento realizadas en un sistema/equipo o en las instalaciones para asegurar la operación continua dentro de las capacidades prescritas y minimizar la probabilidad de fallas. El mantenimiento de rutina incluye las medidas de mantenimiento preventivo programadas, planeadas o periódicas.

Los programas de informes de mantenimiento e ingeniería son esenciales para mantener el equipo más importante, determinar los niveles de personal y formular presupuestos.

## Mantenimiento del software

La mayor parte del mantenimiento del software cae dentro de unas cuantas categorías generales:

- Instalar software comercial, incluidos los sistemas operativos y los programas.
- Actualizar el software comercial (sistemas operativos y programas). Esto incluye cargar los parches provisionales.
- Asistir al personal de programación local en el trabajo de desarrollo, depuración y mantenimiento de los programas creados por el personal del centro y la distribución de dichos programas a otros centros.
- Adaptar los programas desarrollados por otros NTWC y RTWP para satisfacer las necesidades del centro y posiblemente mejorarlos para luego distribuirlos a otros centros.

## Mantenimiento del hardware

Dependiendo del enfoque y los objetivos del programa de mantenimiento del centro (p. ej., si el servicio de mantenimiento es interno o contratado), el mantenimiento del hardware puede involucrar trabajo en cualquiera de los sistemas mencionados a continuación. Aunque esta lista no es completa, ilustra el amplio espectro de habilidades que el personal de electrónica del centro debe cultivar:

- Sismómetros
- Mareómetros
- Boyas DART
- Computadoras personales (parte operacional y administrativa)
- Estaciones de trabajo RISC
- Servidores
- Routers
- Cableado
- Cortafuegos (*firewall*)
- Sistemas telefónicos, incluidas las máquinas contestadoras
- Enlaces satelitales entrantes y salientes
- Conexiones UHF y VHF
- Transmisores de radioaficionado

## Entrenamiento del personal técnico en electrónica

El personal de electrónica debe ser muy competente en al menos tres áreas diferentes:

- Dispositivos mecánicos (p.ej. mareógrafos)
- Dispositivos electrónicos y microelectrónicos
- Software

Se puede obtener entrenamiento a nivel internacional para el mantenimiento y la instalación de mareógrafos y sismómetros, algo que se mencionará en detalle más adelante. También se puede utilizar y conseguir fácilmente entrenamiento para software, incluidos los aspectos de programación y sistemas operativos.

El entrenamiento para otros dispositivos electrónicos, como routers, enlaces satelitales y transmisores de radioaficionado es un poco más difícil de obtener y, por tanto, se debe presupuestar, ya que estos sistemas son esenciales para las operaciones del centro.

## Sismómetros

En julio de 2003, la Fundación Nacional para la Ciencia de EE.UU. publicó un informe titulado, *Review of the Global Seismographic Network* (Estudio de la Red Sísmica Mundial), en el cual declaró que el comité de evaluación se complacía en observar que este proyecto comunitario de red sísmica mundial (*Global Seismic Network*,

GSN) había sido un éxito extraordinario y que se había logrado establecer una red digital mundial de alta calidad que ya servía como la fuente principal de datos de sismógrafos alrededor del mundo.

El sensor preferido ha sido el STS-1, con otro sensor alternativo aceptable, el KS-54000I. Ambos producen datos de alta calidad, pero el STS-1 tiene una amplitud de respuesta significativamente mayor. Sin embargo, la disponibilidad del STS-1 en el futuro está en duda, por dos razones:

- (a) La alta calidad y uniformidad del sensor depende de la destreza personal del diseñador/ensamblador, que ha indicado que ya no desea fabricar más el instrumento.
- (b) El material de fabricación original está casi agotado y la uniformidad depende en parte del uso de ese material.

Debido a que la GSN comienza una década de operaciones y mantenimiento, las averías de los sensores se volverán más comunes. La pregunta que surge es dónde se podrán obtener STS-1 de reemplazo y si, en última instancia, será posible desarrollar un sistema de reemplazo. Una posibilidad sería cerrar las estaciones de bajo desempeño y reciclar sus instrumentos; otra sería comprar instrumentos de repuesto de otras redes con excedente de equipo. Pero a largo plazo es necesario desarrollar un sensor de banda ancha de reemplazo.

Dadas las salvedades anteriores, queda claro que no es fácil para un NTWC tomar la decisión de desplegar sus propios sismómetros. A corto plazo, es probable que las redes existentes satisfagan las necesidades del sistema de alerta de tsunamis, excepto en aquellas regiones oceánicas donde la red es escasa o inexistente y los deslizamientos submarinos son una amenaza importante. Un ejemplo de esta situación son las Islas Hawai, donde el Estado y el PTWC han instalado sismógrafos adicionales. Las necesidades a largo plazo dependerán de las acciones que tomen las autoridades a cargo de operar estas redes internacionales en el futuro.

Si un NTWC opta por aumentar las redes existentes con sus propios sismómetros, existen numerosas referencias que pueden asistir en dicha tarea. Uno de estos documentos es la publicación del USGS *Methods of Installing United States National Seismographic Network (USNSN) Stations-A Construction Manual, Open-File Report 02-144 2002*. Después de muchos años de operar la red, el USGS llegó a la conclusión de que algunas de las características de diseño más importantes de la Red Nacional de Sismógrafos de EE.UU. son:

- equipo electrónico, en lo posible, que se pueda usar tal como se vende;
- posibilidad de instalación de la estación sísmica en diversos ambientes;
- ambiente físico protegido, seco y térmicamente estable para los sensores de banda ancha;
- estación diseñada para fácil mantenimiento;
- costos de instalación manejables.

Los NTWC pueden obtener más orientación sobre la instalación de estaciones sísmicas en el documento *GSN Design Goals Subcommittee Report—Global Seismic Network Design Goals Update* de IRIS del 26 de agosto de 2002.

Además del material de entrenamiento para la instalación de estaciones sísmicas dado por el USGS y otros gobiernos, los fabricantes de sensores ofrecen entrenamiento específico para el modelo de sensor. Por ejemplo, Guralp Corp. ofrece entrenamiento en el sitio <http://www.guralp.com/>.

El sitio de la red sismológica pública (<http://psn.quake.net>) ha publicado los manuales de varios tipos de sismógrafos de uso extendido:

- Manual de mantenimiento y operación del sensor de período largo Teledyne/Geotech BB-13
- Manual técnico del sistema sísmico portátil Sprengnether MEQ800
- Instrucciones para fabricar el sismómetro Lehman, por Kelly Knight

## Mareógrafos

La COI/UNESCO coordina las redes mareográficas internacionales. Los datos y el entrenamiento se administran a través de diversas entidades, principalmente el Servicio Permanente del Nivel Medio del Mar (*Permanent Service for Mean Sea Level*, PSMSL) del *Proudman Oceanographic Laboratory* (POL), de Inglaterra, que se puede consultar en <http://www.pol.ac.uk/psmsl/>. Los materiales pertinentes a los mareógrafos están en Manuales y Guías No. 14: Volúmenes I-IV de la COI.

Los volúmenes I-IV comprenden el Manual de Medición e Interpretación del Nivel del Mar de la COI. El volumen I (Principios básicos) se publicó en 1985 y trata de los cursos de entrenamiento presentados por el POL bajo los auspicios del PSMSL y la COI. Este volumen contiene información sobre los aspectos científicos de los cambios del nivel del mar y los aspectos prácticos de la medición del nivel del mar y el proceso de datos. El volumen II (Tecnologías emergentes) se publicó en 1994 y es el complemento de un volumen anterior, en el que se extiende y actualiza el material relativo a las mediciones.

Hacia finales de los años 90, se vio que el contenido de los volúmenes I y II necesitaba actualización, y se publicó el volumen III en el año 2000. Un volumen IV mucho más amplio se publicó en el 2006. Sin embargo, los volúmenes I a III siguen siendo útiles y aún brindan información básica sobre la instalación y operación de mareógrafos.

Los manuales I a IV están disponibles tanto en formato impreso como electrónico. Las versiones impresas se pueden solicitar por correo electrónico a [psmsl@pol.ac.uk](mailto:psmsl@pol.ac.uk). Las versiones electrónicas se pueden obtener en <http://www.pol.ac.uk/psmsl/manuals/> en formato de archivo PDF.

- *Volumen I: Basic Procedures (Procedimientos básicos)*, disponible en español
- *Volume II: Emerging Technologies (Tecnologías emergentes)*

- *Volume III: Reappraisal and Recommendations for the year 2000 (Reevaluación y recomendaciones para el año 2000)*
- *Volumen IV: An Update to 2006 (Una actualización al 2006)*

Hay también disponibles algunas secciones actualizadas de los manuales antiguos:

- *List of tide gauge manufacturers (Lista de fabricantes de mareógrafos; actualización de los vols. 1 y 2).*
- *Glossary of terms used in tidal measurements and análisis (Glosario de términos utilizados en el análisis y medición de las mareas, actualización del vol. 1).*
- *Frequently used abbreviations and acronyms (Abreviaciones y acrónimos de uso frecuente, actualización del vol. 1).*

Desde 1983 se han impartido cursos de entrenamiento de GLOSS (o relacionados con GLOSS) aproximadamente una vez al año, en todos los continentes y en todos los idiomas. Para quienes no pueden asistir a los cursos, la mayoría del material que se emplea en un curso típico está disponible en la página de entrenamiento del PSMSL (<http://www.pol.ac.uk/psmsl/training/>).

Otra fuente de documentación sobre la instalación, el mantenimiento y el uso de los mareógrafos se encuentra en: <http://www.icsm.gov.au/tides/SP9/> a través de la cual se accede a la publicación especial No. 9 del de manual de mareas Australiano (*Australian Tides Manual*).

## Puntos importantes que recordar acerca de los programas de mantenimiento de los sistemas de alerta de tsunami

- Un programa de mantenimiento bien apoyado y coordinado es esencial para el éxito de los NTWC y RTWP.
- Independientemente de que un centro opere un programa de mantenimiento interno o completamente subcontratado, o trabaje con una combinación de ambos, debe hacer el seguimiento de todas las actividades de mantenimiento para manejar el programa de manera eficaz.
- Los centros deben establecer los eventos de mantenimiento que deben incluirse en los informes. Estos son los eventos que se deben vigilar con el objetivo de mantener los programas del centro.
- Hay entrenamiento internacional disponible para la instalación y el mantenimiento de mareógrafos y sismómetros.
- El entrenamiento para otros dispositivos electrónicos, como routers, enlaces satelitales y transmisores de radioaficionado es un poco más difícil de obtener y, por tanto, debe presupuestarse, ya que estos tipos de sistemas son esenciales para las operaciones del centro.