

# CONFERENCIA DE DESARME

CD/NTB/WP.176  
24 de agosto de 1994

ESPAÑOL  
Original: INGLÉS

---

Comité ad hoc sobre la prohibición  
de los ensayos nucleares

Documento de trabajo preparado por un Colaborador del Presidente

## SISTEMA DE VIGILANCIA INFRASONICA

### Resumen

La vigilancia infrasónica es un sistema acreditado de detección y localización de explosiones nucleares en la atmósfera. Un sistema diseñado adecuadamente consigue la detección en un plazo de pocas horas y una aproximación de localización de 100 km o menos. Se dan especificaciones de resultados para el equipo necesario, que puede obtenerse en el comercio. Se describen varias opciones de red con distintos niveles de capacidad que se resumen en el cuadro siguiente 1/.

### Opciones de sistema infrasónico (costo en miles de dólares de los EE.UU.)

	<u>Estaciones</u>	<u>Detección*</u>	<u>Localización*</u>	<u>Gastos de capital</u>	<u>Gastos de operación</u>
Opción 1	25	Moderada	Mala	4 200	1 600/año
Opción 2	50	Buena	Moderada	8 500	3 200/año
Opción 3	100	Buena	Buena	16 800	6 200/año

---

\* Basada en una explosión de 1 kt.

---

1/ El apéndice contiene información suplementaria sobre los costos.

Gracias a su capacidad, el sistema infrasónico es un complemento perfecto de los sistemas de obtención de muestras de la atmósfera, que ofrece pronta detección del fenómeno y buena información de localización, mientras que los sistemas de obtención de muestras de la atmósfera solamente ofrecen identificación del fenómeno. En cuanto al aspecto operacional, el sistema infrasónico se adapta bien para colocarlo en las inmediaciones de las estaciones sismológicas, lo que simplifica las comunicaciones y reduce considerablemente los costos. Se estima que se necesitan tres años para el despliegue, desde el momento de la asignación de fondos hasta que el equipo sea plenamente operacional. Además, se prevé un año de evaluación y perfeccionamiento de los procedimientos una vez puesto en marcha el sistema. Se calcula que deberán transcurrir cuatro años desde el comienzo del programa hasta que toda la red esté funcionando plenamente de modo normalizado.

#### Introducción

Desde hace tiempo se reconoce que el sistema infrasónico es una técnica útil para detectar y localizar explosiones nucleares en la atmósfera. La detección de las explosiones mediante el sistema infrasónico mejora la capacidad de vigilancia atmosférica en tres aspectos. En primer lugar, ofrece una indicación totalmente independiente de que se ha producido una explosión, lo que combinado con la información de otros sistemas aumenta en gran medida la confianza en la identificación de un fenómeno como explosión nuclear. En segundo lugar, ofrece detección rápida y comunicación de datos en un plazo de horas y no de días. Todo ello permite a los operadores de otros sistemas, tales como los de obtención de muestras de la atmósfera, disponer de manera óptima sus sistemas para la detección en una zona determinada. Por ejemplo, se podría cambiar los tiempos de interacción, dar prioridad a las muestras de determinados colectores, etc. La prontitud en la información es también conveniente para apoyar una solicitud de inspección in situ u otras medidas. Los sistemas infrasónicos adecuadamente diseñados pueden localizar fenómenos en un radio de unos 100 km, con mucha más exactitud que una red normal de obtención de muestras de la atmósfera, y tienen una tasa de falsas alarmas extremadamente reducida.

### Equipo

Una estación normal de vigilancia infrasónica consta de un conjunto de tres elementos de microbarógrafos de amplio espectro y una unidad central de registro, análisis y comunicación de datos. En la configuración normal, los microbarógrafos estarán desplegados en un conjunto triangular con una separación de línea de base de 1 a 10 km. Quizá sea necesario cambiar el número y la configuración de los microbarógrafos para adaptarse a las condiciones locales en determinados lugares. Los microbarógrafos deberían tener una respuesta de frecuencia de 0,01 a 10 Hz, con una definición de 0,05 Pascal o aún mejor a 0,1 Hz y una gama dinámica de 80 dB como mínimo. Este tipo de equipo se puede obtener en el comercio. A causa de la distancia hasta la unidad central de registro, se podrán transmitir los datos de los sensores mediante cables de fibra óptica o enlaces de radio locales de baja potencia. La unidad central de registro de datos deberá contar con un microprocesador que aplique programas de activación lógica y de formación de haces, y ofrezca una información de activación y dirección fiable. Se aplicarán algoritmos normalizados basados en los métodos que se utilicen normalmente con la aprobación de la Secretaría Técnica.

Los datos deberían transmitirse al Centro Internacional de Datos por un enlace de comunicaciones exclusivo que podría compartirse con otro equipo de vigilancia tal como una estación sismológica. Existen algunas opciones para la transmisión de datos. Dado que se han desarrollado y ensayado algoritmos de activación bien fundados, el sistema puede operar en una modalidad activada en la que solamente se transmitan los datos sobre los fenómenos al CID cuando el sistema se active. Sin embargo, dado que las activaciones son raras, sería preferible enviar datos de manera continua con una tasa de muestreo reducida a fin de lograr que los sensores y el enlace de comunicaciones funcionen adecuadamente. En este caso, cuando se produzca una activación, solamente se enviarían completos los datos de alta definición. La tasa reducida de obtención de muestras es lo bastante baja para que no repercuta de manera considerable sobre el flujo total de información procedente de una estación sismológica/infrasónica combinada. En todo caso, en el lugar del registro se mantendrá por un período limitado, quizá dos

semanas, un registro de todos los datos, activados o no, que estará a disposición de quien lo solicite.

### Red

La configuración de la red depende de las metas que se quieran obtener. Se describen tres opciones con distintas capacidades. Con las sensibilidades de los instrumentos antes mencionadas se puede detectar fiablemente una explosión de 1 kt, en condiciones favorables de observación, con un alcance medio de 2.000 km según las temporadas. De no haber vientos importantes, la zona de cobertura para un sistema determinado será circular. El efecto del viento aumenta el alcance de detección a favor del viento desde el lugar de la explosión y lo disminuye en la dirección contraria, y transforma la superficie circular de cobertura en una elipse. Este efecto puede ser pronunciado si el viento tiene velocidad elevada. El radio de detección varía exponencialmente al cubo de la potencia, por lo cual el alcance medio según las temporadas será de unos 4.000 km para 10 kt, o de 1.000 km para 0,1 kt. Se utilizará el radio para un kilotón como orientación para evaluar los resultados de las distintas opciones de redes.

La densidad de la red determina su capacidad de detección y de localización. Una sola estación del complejo puede facilitar información sobre la dirección de la explosión según se observe desde el lugar en que se encuentre el detector pero solamente dará una estimación aproximada del alcance. La detección mediante dos estaciones del complejo dará una posición aproximada y la detección por tres o más estaciones del complejo ofrece una localización muy exacta. Dado que la zona de cobertura de una determinada estación varía considerablemente según los cambios de los vientos, es difícil dar una descripción simple del alcance que ofrece una red determinada. Para mayor sencillez, en el presente informe se utiliza un alcance uniforme medio según las temporadas, pero debe tenerse presente que la cobertura real de la red variará de acuerdo con las condiciones meteorológicas.

La primera opción es una red mínima que ofrece una capacidad de detección de estación única como promedio para las principales masas de tierra. Comprende aproximadamente cinco estaciones distribuidas en el mundo. La distribución de los posibles emplazamientos por país figura en el cuadro 1. La capacidad de detección del sistema se encuentra en la figura 1,

que es un mapa del mundo en el que se indica un conjunto de complejos de estaciones como ejemplo. El contorno del mapa indica las distancias desde cualquier punto en el mundo hasta la estación más cercana. El umbral medio de detección para esta localización se puede estimar según la información acerca de los alcances antes mencionados. Así, si una zona se encuentra a 2.000 km de la estación más próxima el umbral medio de detección es de 1 kt, si la distancia es de 3.000 km a la estación más próxima el umbral medio de detección es de 3 kt, etc. Si se observan las cifras queda claro que este sistema no garantiza una capacidad de detección plena en cualquier momento para las explosiones de baja potencia. Sin embargo, ofrece una capacidad de detección intermitente para la mayor parte de las masas de tierra, y es difícil calcular por adelantado la zona exacta de cobertura en un momento determinado. La capacidad de localización se limita en general a dar una dirección hacia el punto de explosión a causa de la detección por estación única.

La segunda opción está diseñada para ofrecer una capacidad de detección plena para todas las masas de tierra importantes en condiciones normales. Está formada por unos 50 posibles emplazamientos, incluidos los utilizados en la primera opción. La distribución de estos emplazamientos por países figura en el cuadro 2. Las figuras 2 y 3 indican las distancias de la detección para una y dos estaciones utilizando un complejo de estaciones como ejemplo. En la figura 2 se puede ver que este sistema debería ofrecer una buena probabilidad de detección en condiciones normales. La capacidad de localización se puede estimar a partir de la figura 3 y vemos que la capacidad de localización del sistema es irregular y que variará según las estaciones cuya cobertura se superponga en un momento determinado.

La tercera opción está diseñada a fin de ofrecer capacidad plena de detección y de localización para todas las principales masas de tierra en condiciones normales. Esta red comprende unas 100 estaciones aproximadamente. En el cuadro 3 se da la distribución de los emplazamientos por país. En las figuras 4, 5 y 6 se dan mapas de distancias para la detección de una, dos y tres estaciones, utilizando un complejo de estaciones de conjunto como ejemplo. En la figura 4 podemos ver que la capacidad de detección es excelente en la actualidad. A partir de la figura 5 se puede estimar la capacidad de localización de dos estaciones, que es buena sobre

todas las zonas de tierra. La figura 6 se utiliza para estimar la capacidad de localización con gran exactitud. Se puede ver que la capacidad de localización con gran exactitud no está garantizada, pero que se podrá disponer de ella en muchas zonas la mayor parte del tiempo. Como puede verse, esta red ofrece una buena capacidad de detección y localización sobre las masas de tierra y da una cobertura bastante buena para muchas zonas oceánicas.

#### Sinergia

La vigilancia infrasónica complementa muy adecuadamente las demás técnicas que se están examinando respecto de la dirección de la explosión nuclear. Hay posibilidades de sinergia tanto de capacidad como de operaciones.

En primer lugar se estudian las capacidades. El sistema infrasónico es un complemento perfecto para la obtención de muestras de radionúclidos de la atmósfera. Si bien la obtención de muestras de la atmósfera suele considerarse como la técnica primordial de vigilancia para las explosiones nucleares en la atmósfera, a causa de su capacidad de identificar inequívocamente fenómenos como explosiones nucleares, por sí sola tiene algunos inconvenientes. La imprevisibilidad de las corrientes de aire hace difícil deducir la localización de fenómenos detectados mediante muestras obtenidas del aire. El tiempo necesario para que el material llegue al detector, se recoja y luego se analice, puede causar un retraso de una semana o más entre el momento en que se produce el fenómeno y el que se detecta. La vigilancia infrasónica compensa estos inconvenientes de manera simple y rentable. Facilita información de localización que sería mucho más costosa de obtener mediante un sistema de obtención de muestras de la atmósfera. Además, el carácter expeditivo de la detección infrasónica puede dar indicaciones a los operadores de los sistemas de obtención de muestras acerca de un posible fenómeno en una zona determinada. Ello les permitiría cambiar su modalidad operacional para mejorar temporalmente sus capacidades de una forma concentrada. Por ejemplo, quizás prefiriesen cambiar los tiempos de integración, dar prioridad a las muestras de determinados colectores, etc. La posibilidad de presentar rápidamente los informes es también útil para iniciar una solicitud de inspección in situ o adoptar otras medidas.

La técnica infrasónica está enfocada primordialmente a la detección de explosiones en la atmósfera pero también tiene una capacidad marginal para detectar explosiones por debajo de la superficie, si bien con un alcance reducido. En algunos casos, también podría ofrecer información útil para la corroboración a los sistemas sismológicos e hidroacústicos.

En cuanto a las operaciones, las estaciones infrasónicas y sismológicas tienen unas necesidades casi idénticas respecto del emplazamiento, lo que significa que casi siempre será posible colocarlas juntas. Además, hay fuertes analogías en la estructura de los datos, lo cual permite combinar directamente los datos sismológicos e infrasónicos en la misma corriente de datos y simplifica grandemente las comunicaciones. Dado que la tasa de datos de las estaciones infrasónicas es muy reducida en comparación con la de las estaciones sismológicas, se podrán añadir los datos infrasónicos a los actuales enlaces de datos sismológicos sin tener que hacer ningún cambio en la anchura de banda.

#### Costos

Se desglosan los costos en cuatro categorías: equipo, instalación, preparación del emplazamiento, operaciones y mantenimiento, y comunicaciones. Los costos de equipo solamente incluyen los gastos de los sensores y el equipo central de tratamiento, que son iguales para todos los emplazamientos. Los costos de instalación y preparación del emplazamiento incluyen edificios, equipo de calefacción y refrigeración, instalación de cables, etc., que podrán variar considerablemente de un lugar a otro. Los costos de operaciones y mantenimiento incluyen la seguridad en el emplazamiento cuando sea necesaria, y los costos de comunicaciones también variarán según donde se encuentre el emplazamiento. Se han calculado los costos generales del sistema suponiendo que el 85% de los emplazamientos se encontrarán junto a las actuales o planeadas estaciones sismológicas y que el 15% de los emplazamientos serán estaciones independientes, generalmente en medios donde los factores meteorológico y geográfico hacen difíciles las operaciones o las comunicaciones.

Costos del sistema infrasónico\*

<u>Categoría</u>	<u>Costo por emplazamiento</u>	<u>Opción 1</u>	<u>Opción 2</u>	<u>Opción 3</u>
Equipo	50-70	1 300	2 700	5 300
Instalación y preparación del emplazamiento	100-200	2 900	5 800	11 500
Operaciones y mantenimiento	20-200/año	1 200/año	2 400/año	4 700/año
Comunicaciones	0**-100/año	400/año	800/año	1 500/año

---

\* Los gastos se dan en miles de dólares de los EE.UU.

\*\* No hay costos suplementarios si se utiliza un enlace sismológico ya existente.

Tiempo de despliegue

El tiempo necesario para desplegar un sistema infrasónico dependerá en cierto modo de la opción que se elija, sin embargo pueden darse estimaciones. Para pasar de un concepto de sistema, tal como se describe en este documento, a un sistema operacional deberán llevarse a cabo las tareas siguientes:

- diseño detallado del sistema;
- adquisición de equipo;
- preparación del emplazamiento;
- instalación del equipo y establecimiento de enlaces de comunicaciones;
- ensayo, calibración y evaluación del sistema.

Para todas estas tareas se requerirán recursos financieros que tendrán que ser determinados y asignados antes de poder empezar los trabajos.

El diseño detallado del sistema podría comenzarse tan pronto como se adoptara una decisión acerca de qué concepto de sistema va a dirigirlo y se hayan hecho los arreglos financieros, debiendo durar toda la labor un año aproximadamente.

Una vez se ha concluido el diseño del sistema puede comenzar la adquisición de equipo. Teniendo en cuenta el tiempo necesario para el proceso de contratación, cabe esperar la entrega del primer equipo unos seis

meses después de que se inicie el procedimiento. Para concluir el suministro de todo el equipo quizás se necesiten otros seis meses o un año, según sea el número de estaciones.

La preparación del emplazamiento podrá comenzar al mismo tiempo que se inicia la adquisición del equipo. El plazo necesario para concluir esta labor variará considerablemente según donde se encuentre el emplazamiento. Para los emplazamientos que se coloquen vecinos a las estaciones ya existentes, los preparativos son mínimos y podrán concluirse en unos pocos días. Para emplazamientos completamente nuevos, especialmente en puntos remotos, quizá se requiera una labor amplia que podrá durar varios meses.

La instalación puede comenzar tan pronto como empiezan los suministros de equipo y puede hacerse al mismo tiempo que la adquisición. El establecimiento de comunicaciones será muy simple para los emplazamientos cerca de una estación, pero podrá requerir un cierto tiempo para los emplazamientos nuevos en localidades remotas.

Se calcula que desde que comienza la adquisición hasta que se ha concluido la instalación de todo el sistema pueden transcurrir unos dos años aproximadamente.

Una vez esté todo el equipo instalado hay que ensayar el sistema. Los ensayos iniciales se pueden llevar a cabo rápidamente en unas pocas semanas. En este momento ya se podrá utilizar el equipo, si bien no con el rendimiento óptimo. Para evaluar plenamente la red y reajustarla a fin de que funcione al rendimiento máximo se requerirá aproximadamente un año de experiencia operacional. Así pues, son de esperar cambios en los detalles de los procedimientos de operación para el primer año, a medida que se va aprendiendo a hacerlo funcionar con mayor eficacia, tras lo cual se instalará en su modalidad normal de operación.

Calendario de despliegue del sistema infrasónico

Asignación de fondos	Conclusión del diseño	Conclusión de la instalación	Funcionamiento normal
Un año	Dos años	Un año	
Comienzo del diseño	Comienzo de la adquisición	Comienzo de las operaciones de evaluación	

Apéndice sobre el sistema de vigilancia infrasónica

Nueva información de los costos del sistema infrasónico

Durante los debates se encontró una amplia gama de experiencia en la esfera de instalación y operación de estaciones infrasónicas que condujo a estimaciones muy distintas de los costos necesarios. Quisiéramos explicar en qué se basan las estimaciones de costos incluidas en este suplemento.

La mayor parte de las instalaciones que pertenecen al equipo infrasónico son instalaciones análogas que se han emplazado contiguamente a alguna instalación ya existente. En ese caso, ya se dispone de energía eléctrica, carreteras, enlaces de comunicaciones y, con frecuencia, un edificio u otro tipo de abrigo. En ese caso, los únicos costos de la instalación que debe sufragar directamente la estación infrasónica son los gastos de transporte y personal. En esas condiciones la instalación puede terminarse en pocos días y el costo total de instalar una estación infrasónica completa es de unos 100.000 dólares de los EE.UU. o menos. Los costos pueden reducirse aún más, quizás hasta en un 50%, si se puede compartir la utilización del equipo existente, tal como suministro de energía eléctrica, sistemas de calefacción y refrigeración, equipo de almacenamiento de datos, etc. Sin embargo, ello podría imponer algunas limitaciones y quitar flexibilidad a las operaciones. Se estima que los gastos de operación son de unos 10.000 dólares de los EE.UU. por año para la reparación y sustitución de equipo, así como otros 10.000 dólares por año para las actividades relacionadas con el emplazamiento, tales como la seguridad, la limpieza de carreteras, etc., que podrían suplementar los requisitos de otros usuarios del emplazamiento. Quizá no sea necesario este tipo de gastos operacionales en todos los emplazamientos.

Por el contrario, algunos de nuestros colegas compartieron sus experiencias en cuanto a la instalación y operación de estaciones independientes, emplazadas en zonas remotas y en condiciones ambientales severas. En esos casos era necesario hacer levantamientos topográficos para encontrar el emplazamiento, construir carreteras, facilitar energía eléctrica y enlaces de comunicaciones y construir edificios. Con ello, los gastos de instalación aumentaban a 200.000 dólares de los EE.UU. En esas estaciones las operaciones son también más caras. Los costos del suministro eléctrico y

de comunicaciones son más elevados. Las necesidades de calefacción y refrigeración pueden ser mayores para mantener el equipo en un ambiente de operación adecuado. Quizá sea necesario tener personal permanente en el emplazamiento para garantizar la seguridad y la integridad de la estación. El mantenimiento será más difícil y caro si es necesario que se desplace desde grandes distancias personal capacitado. Teniendo en cuenta todos estos factores, se estima unos gastos de operación de unos 300.000 dólares por año para esos emplazamientos.

Se quiso armonizar estas estimaciones tan distintas partiendo de la hipótesis que el 85% de los emplazamientos serán de bajo costo y contiguos y el 15% de costo elevado y de tipo independiente. No contando con un diseño definitivo de la red, esta división un tanto arbitraria se considera representativa. La distinción entre estaciones de costo bajo y costo elevado tiene un efecto relativamente poco importante sobre los gastos de capital pero un gran efecto sobre los gastos de operación. Casi un 75% del total de gastos de operación del sistema se debe a las estaciones de costo elevado, que son solamente un 15% de la red. Se señala que este tipo de situación no es rara en la práctica y se estima realista tenerla en cuenta. Sin embargo, no parecería que este tipo de consideraciones se hayan tenido en cuenta en las estimaciones de gastos para otros sistemas. Para facilitar la confrontación de gastos sobre una base común se presentan los gastos en relación con varios juegos de hipótesis, a saber:

- A. Estimación original - 85% de estaciones contiguas, 15% de estaciones independientes. Los emplazamientos contiguos comparten el lugar y el enlace de datos pero no otro tipo de equipo.

Opciones del sistema infrasónico  
 (Gastos en miles de dólares de los EE.UU.)

	<u>Estaciones</u>	<u>Detección*</u>	<u>Localización*</u>	<u>Gastos de capital</u>	<u>Gastos de operación</u>
Opción 1:					
Contiguas	21	Moderada	Mala	3 200	210-420/año
Independientes	4	Moderada	Mala	1 000	1 200/año
Opción 2:					
Contiguas	42	Buena	Moderada	6 400	420-840/año
Independientes	8	Buena	Moderada	2 100	2 400/año
Opción 3:					
Contiguas	85	Buena	Buena	12 800	840-1 680/año
Independientes	15	Buena	Buena	4 000	4 500/año

---

\* Basada en una explosión de 1 kt.

- B. Sistema plenamente contiguo - Todos los emplazamientos son contiguos pero solamente se comparte el emplazamiento y el enlace de datos.

Opciones del sistema infrasónico  
 (Gastos en miles de dólares de los EE.UU.)

	<u>Estaciones</u>	<u>Detección*</u>	<u>Localización*</u>	<u>Gastos de capital</u>	<u>Gastos de operación</u>
Opción 1	25	Moderada	Mala	3 750	250-500/año
Opción 2	50	Buena	Moderada	7 500	500-1 000/año
Opción 3	100	Buena	Buena	15 000	1 000-2 000/año

---

\* Basada en una explosión de 1 kt.

C. Instalación de sinergia máxima - Todos los emplazamientos contiguos, y se comparte al máximo los componentes del equipo

Opciones del sistema infrasónico  
(Gastos en miles de dólares de los EE.UU.)

	<u>Estaciones</u>	<u>Detección*</u>	<u>Localización*</u>	<u>Gastos de capital</u>	<u>Gastos de operación</u>
Opción 1	25	Moderada	Mala	2 500	250-500/año
Opción 2	50	Buena	Moderada	5 000	500-1 000/año
Opción 3	100	Buena	Buena	10 000	1 000-2 000/año

---

\* Basada en una explosión de 1 kt.