

# Acústica vs bombas<sup>♦</sup>

## (Nucleares y Químicas)

Fernando J. Elizondo Garza<sup>\*</sup>

### Resumen

*En esta charla se describirán algunos usos de la acústica para la paz, utilizados en el contexto de los tratados contra las armas atómicas y químicas, con el fin de monitorear el uso de bombas nucleares e inspeccionar el contenido de bombas que potencialmente pudieran contener químicos prohibidos.*

### Abstract

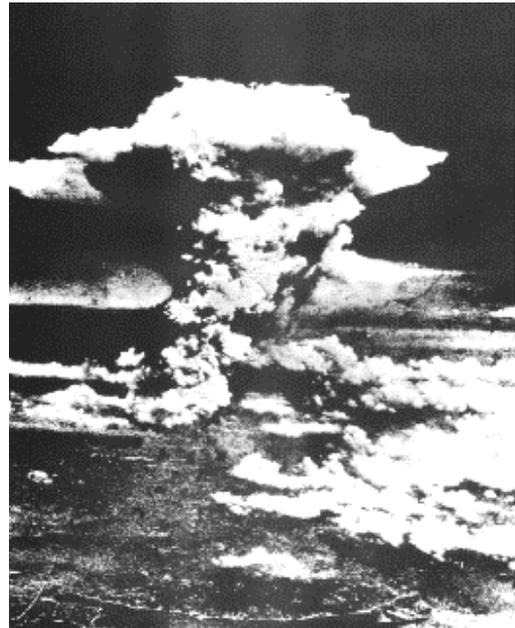
*In this paper is described how acoustics are used for peace in the context of the international treaties that ban the nuclear, chemical and biological bombs.*

### I. INTRODUCCION.

La humanidad en el siglo XX se ha caracterizado, entre otras cosas, por haber incrementado su capacidad de matar masivamente. Las guerras pasaron de ser un asunto entre ejércitos, al exterminio masivo que incluye a los civiles en general. Con el desarrollo de las bombas, el rango de acción de un ataque se amplía, prácticamente, a todo el mundo.

En este ámbito, el diseño y fabricación de bombas atómicas, químicas y biológicas, con cada vez mayor poder, se convirtió en una competencia entre naciones, y el almacenamiento de éstas para usarse en un eventual ataque, se convirtió en una política militar sobre todo entre las grandes potencias.

A mitad de este siglo la humanidad recapacita que este progreso militar ha crecido al grado de tenerse la capacidad de acabar con la vida sobre



La nube atómica sobre Hiroshima una hora después del bombardeo del 6 de agosto de 1945

la tierra y empieza un muy largo camino de negociaciones internacionales, que aún no termina, con el fin de prohibir el uso, fabricación y almacenamiento de dicho tipo de armas.

En los últimos años se han concretado acuerdos de prohibición de bombas, tanto nucleares como químico/biológicas, acuerdos que requieren de mecanismos de verificación que permitan corroborar el cumplimiento de los mismos.

La acústica ha resultado ser una ciencia de gran utilidad en los procesos de verificación de los tratados de prohibición de bombas.

<sup>\*</sup>

Ponencia presentada en el V Congreso Mexicano de Acústica realizado en la ciudad de Querétaro en Septiembre de 1998.

<sup>\*</sup>

Laboratorio de Acústica; FIME-UANL.  
fjelizondo@ccr.dsi.uanl.mx

## II. EL TRATADO CONTRA BOMBAS NUCLEARES

El 6 de agosto de 1945 el bombardero B-29 "Enola Gay" dejó caer su carga la bomba atómica "Littleboy" sobre la ciudad de Hiroshima, acelerando el final de la 2ª. Guerra Mundial y creando suspenso y consternación en todo el mundo.

Desde la década de 1950, la comunidad internacional ha intentado prohibir los ensayos nucleares.

A mediados de los años 50, las emisiones radiactivas de los ensayos nucleares atmosféricos, principalmente de los efectuados por Estados Unidos en el Pacífico, provocaron gran preocupación por sus posibles efectos en la salud y el ambiente. En 1954, India representó la primera propuesta para un Acuerdo de Prohibición de los Ensayos Nucleares.

El 31 de Octubre de 1958, Estados Unidos, la Unión Soviética y el Reino Unido, iniciaron en Ginebra, Suiza, la Conferencia para la Interrupción de Ensayos Nucleares. Estados Unidos y la Unión Soviética acordaron una moratoria.

Al final de la Conferencia, los acuerdos fueron pospuestos para ser negociados en un encuentro que se realizaría en París a partir del 16 de mayo de 1960. Pero el 2 de mayo, la Unión Soviética derribó un avión espía estadounidense U-2 y se suspendieron las negociaciones.

Durante 1961, Estados Unidos y la Unión Soviética finalizaron su moratoria y volvieron a iniciar ensayos nucleares.

El siguiente paso para limitar los ensayos nucleares llegó con el Tratado Parcial de Prohibición de los Ensayos Nucleares (TPPEN),

firmado por Estados Unidos y la Unión Soviética el 25 de Julio de 1963. Fue firmado por alrededor de 120 países y prohibía los ensayos nucleares en la atmósfera, bajo el agua y en el espacio exterior. El TPPEN entró en vigor el 10 de octubre de 1963, interrumpiendo los ensayos nucleares Estados Unidos, la Unión Soviética e Inglaterra (Francia y China, que no formaban parte del TPPEN, continuaron su programa de pruebas atmosféricas).

En mayo de 1974, Estados Unidos y la Unión Soviética sostuvieron reuniones en Moscú para limitar los ensayos nucleares. El 3 de Julio ambos países firmaron el Tratado Inicial de Prohibición de Ensayos (TIPE) que, a partir del 31 de marzo de 1976, prohibió los ensayos nucleares superiores a 150 kilotonnes bajo tierra. El TIPE fue seguido por el Tratado de Explosiones Nucleares Pacíficas (TENP) de Estados Unidos y la Unión Soviética, firmado el 28 de mayo de 1976. Ambos tratados entraron en vigor a partir del 11 de diciembre de 1980.

Durante 1985-90, fue creciendo la presión en el interior de la Naciones Unidas para realizar una enmienda al TPPEN y convertirlo en un Tratado de Prohibición Total de Ensayos Nucleares (TPTEN), *CTBT Comprehensive Test Ban Treaty*, o sea, pasar de un tratado parcial a uno total.

El 19 de noviembre de 1993, la Conferencia para el Desarme recibió el mandato de negociar el TPTEN, a partir de una resolución tomada por consenso en la Asamblea General de Naciones Unidas.

Las negociaciones sobre un tratado total de prohibición de pruebas nucleares empezaron en la Conferencia de Desarme en Ginebra en enero de 1994. El borrador final, apoyado por 127 naciones, fue enviado a la asamblea general de las Naciones Unidas 2 años después y adoptado el 10 de septiembre de 1996. El tratado fue abierto para firmas el 24 de septiembre de 1996 en las oficinas de la Naciones Unidas en Nueva York.

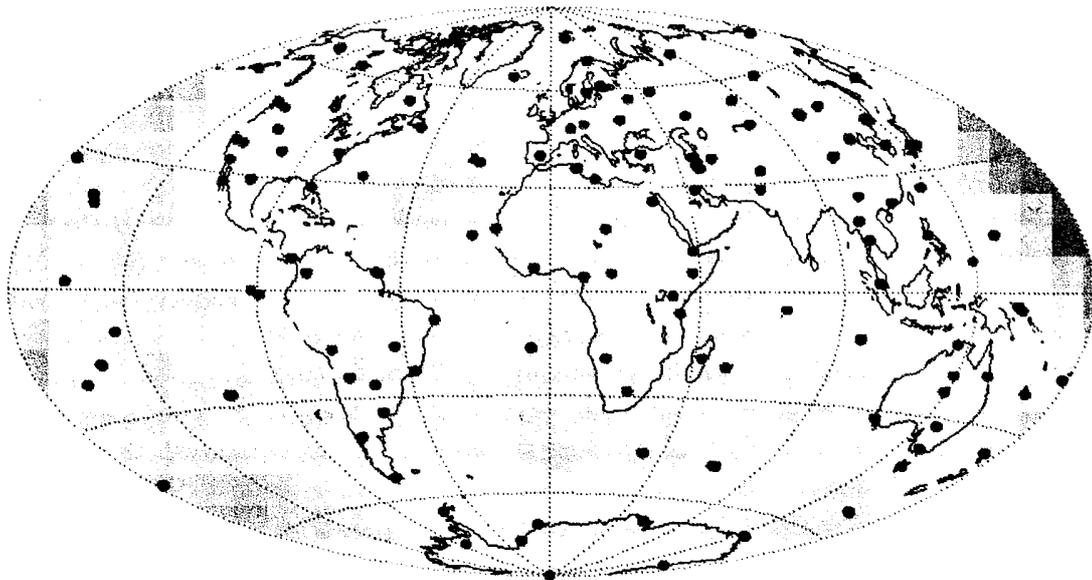


Fig. 1.- Ubicación de las estaciones que conforman el Sistema Internacional de Monitoreo de pruebas nucleares.

En una reunión de las naciones firmantes el 19 de noviembre de 1996, una Comisión Preparatoria de la organización para el tratado fue establecida. La Comisión Preparatoria es una organización

internacional que ha sido creada para establecer un régimen de verificación global del tratado y para preparar su puesta en operación.

### III. EL PROGRAMA INTERNACIONAL DE VIGILANCIA

El Tratado de Prohibición Total de Ensayos Nucleares estableció, basándose en el Artículo 6 (Verificación) del mismo, un Sistema de Monitoreo Internacional IMS *International Monitoring System* el cual está configurado en base a cuatro redes diferentes de sensores, una

red de comunicación de datos y un centro de datos internacional.

Las tecnologías de los sensores son: monitoreo sísmológico, monitoreo

radionucléico, monitoreo hidroacústico y monitoreo infrasónico. Cada una de las naciones miembros del tratado podrán tener acceso a todos los datos disponibles en el Centro de Datos Internacional *IDC International Data Center*. Los miembros del Tratado podrán también contribuir con datos suplementarios de sus propios sistemas nacionales de monitoreo al IDC.

**El sistema de monitoreo sísmico.-** Sirve principalmente para detectar explosiones subterráneas. Este sistema consta de una red sísmica primaria de 50 estaciones que pueden enviar datos al centro internacional en forma continua y en una configuración

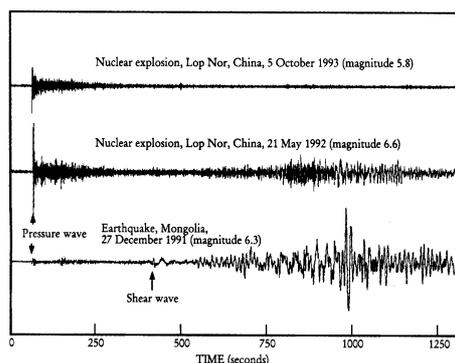


Fig. 2 Sismogramas de explosiones nucleares y terremoto

cercana al tiempo real. Aproximadamente 60% de esas estaciones son o serán arreglos de sismómetros, lo que proveen una información mejorada en cuanto a la relación de señal a ruido y en cuanto a direccionalidad. Para eventos detectados por la red primaria que se consideran dignos de una inspección más cuidadosa, podrán ser requeridos datos de la red sísmica auxiliar formada por 120 estaciones. Las estaciones auxiliares son en su mayoría estaciones de tres componentes (no arreglos), pero que se pueden encontrar más cercanas al evento detectado por la red primaria lo cual puede ser de gran ayuda para mejorar la precisión de la localización y para la discriminación de temblores o sismos con respecto a explosiones subterráneas.

Se espera que la red primaria y secundaria combinadas tengan un límite de detección para explosiones nucleares subterráneas equivalente a menos de un kilotón de TNT completamente acoplada, con un rango de localización de 100 a 1,000 km<sup>2</sup>, dependiendo de que tan bien estén caracterizadas las trayectorias de fuente a receptor.

**La red de monitoreo hidroacústica.-** Considera 6 estaciones submarinas de hidrófonos y cinco estaciones terrenas. Los

hidrófonos detectarán explosiones submarinas, las cuales se propagan rápidamente a grandes distancias en el canal sonoro oceánico. Las estaciones en islas detectarán las señales sísmicas que son generadas por una onda hidroacústica cuando choca con una isla. La sensibilidad en las áreas oceánicas abiertas (lugar predilecto para pruebas clandestinas) se espera que sea de menos de un kilotón, con localización dentro de mil kilómetros cuadrados y con estimación de la profundidad de la fuente.

**La red de monitoreo Infrasonico.-** Contempla 60 estaciones, cada una equipada con un arreglo de cuatro graficadores de milibares (tres localizados en los vértices de un triángulo equilátero de 1 kilómetro y el cuarto al centro del mismo). El rango de frecuencias de operación será de .1 a 16 hertz. Contarán con registro digital, un procesador de señales sofisticado y un sistema de reporte automático. Las señales detectadas son los componentes de baja frecuencias de las fuertes ondas de impacto producidas por una detonación atmosférica y pueden ser detectadas a algunos miles de kilómetros de distancia en virtud de la guía de onda creada por la reflexión del infrasonido en la tierra y la atmósfera.

La red infrasonica se espera que sea capaz de detectar explosiones atmosféricas en el rango de un kilotón a lo largo y ancho del mundo con precisión y sensibilidades que dependen de las condiciones atmosféricas regionales y estacionales. La incertidumbre de localización se espera que se encuentra de los 1,000 a 10,000 km<sup>2</sup>. Los Estados Unidos usaban el infrasonido para detectar las explosiones nucleares atmosféricas, a nivel mundial, desde antes de 1970.

México se ha adherido a este tratado contando dentro de la red de verificación con 5 instalaciones de monitoreo, 3 unidades sísmicas auxiliares, una estación hidroacústica y una estación de radionucléico.

#### IV. EL TRATADO CONTRA ARMAS QUÍMICAS

El uso de armas químicas y la implementación de un tratado para su prohibición es una larga historia:

- 1915 El primer uso de armas químicas fue en la Primera Guerra Mundial cuando Alemania usó cloro gaseoso en Ypres, Bélgica.
- 1925 Negociación del Protocolo de Ginebra el cual prohibía durante la guerra el uso de gases asfixiantes, venenosos, etc, sin embargo este protocolo no prohibía su desarrollo, producción y despliegue.
- 1935 Los italianos usan armas químicas contra Etiopía.
- A finales de los 30. Los japoneses usan armas químicas en China.
- Segunda Guerra Mundial. Las armas químicas no son usadas.
- 1968 Comienzo de negociaciones en Ginebra sobre un tratado para la prohibición de armas químicas.
- 1972 La discusión general sobre la prohibición de armas químicas comienza en el Comité de Desarme de las Naciones Unidas en Ginebra.
- 1988 El gobierno Iraquí usó gas venenoso para matar a su propia gente.
- 1989 Estados Unidos y Rusia firmaron el Memorándum de Wyoming para la Realización de Experimentos de Verificación Bilaterales.
- 1990 Estados Unidos y Rusia firmaron un acuerdo para detener la producción de armas químicas y para reducir los arsenales de los mismos.
- 1992 La Convención de Armas Químicas fue terminada en Ginebra y aprobada por las Naciones Unidas.
- 1993 El 13 de enero de 1993, fue suscrito en París, Francia la “Convención sobre la prohibición del desarrollo, la producción, el almacenamiento y el empleo de armas químicas y sobre su destrucción” (CWC) el cual fue el resultado de más de 20 años de negociaciones en la Conferencia de Desarme, en Ginebra.
- 1994 México firmó el convenio el 29 de agosto de 1994, siendo el primer país del Continente Americano en hacerlo.
- 1997 El acuerdo entró en vigor el 29 de Abril de 1997.
- La Convención establece en sus primeros artículos lo siguiente:
1. “Cada Estado Parte en la presente Convención se compromete, cualesquiera que sean las circunstancias, a:
    - a) No desarrollar, producir, adquirir de otro modo, almacenar o conservar armas químicas ni a transferir esas armas a nadie, directa o indirectamente;
    - b) No emplear armas químicas;
    - c) No iniciar preparativos militares para el empleo de armas químicas;
    - d) No ayudar, alentar o inducir de cualquier manera a nadie a que realice cualquier actividad prohibida a los Estados Partes por la presente Convención.
  2. Cada Estado Parte se compromete a destruir las armas químicas de que tenga propiedad o posesión o que se encuentren en cualquier lugar bajo su jurisdicción o control, de conformidad con las disposiciones de la presente Convención.

3. Cada Estado Parte se compromete a destruir todas las armas químicas que haya abandonado en el territorio de otro Estado Parte, de conformidad con las disposiciones de la presente Convención.
4. Cada Estado Parte se compromete a destruir toda instalación de producción de armas químicas de que tenga propiedad o posesión o que se encuentre en cualquier lugar bajo su jurisdicción o control, de conformidad con las disposiciones de la presente Convención.
5. Cada Estado Parte se compromete a no emplear agentes de represión de disturbios como método de guerra”.

El objetivo es eliminar completamente este tipo de armas bajo un mecanismo multilateral de verificación.

El cumplimiento total con este tratado requerirá paciencia, sensibilidad política y sobre todo vigilancia.

#### V. EQUIPO PARA INSPECCION DE ARMAS QUIMICAS

En el contexto del CWC los inspectores internacionales tienen que enfrentarse al gran reto que representa identificar bombas químicas en los enormes depósitos de bombas existentes en muchas naciones involucradas en el tratado y que son idénticas desde afuera, pero que pueden contener tanto agentes químicos como explosivos convencionales.

La técnica de la Espectroscopia de Resonancia Acústica, *Acoustic Resonance Spectroscopy* (ARS), se ha convertido en una opción importante para la verificación. El objetivo de la técnica es el identificar rápidamente, en forma no intrusiva, el tipo de

agente dentro de la bomba y discriminar entre rellenos sólidos (explosivos) y rellenos líquidos (agentes químicos).

La Espectroscopia de Resonancia Acústica ARS se basa en el concepto de que la manera en que un objeto vibra puede decirnos mucho acerca del objeto en sí mismo. En la ARS activamente se excitan un gran número de resonancias (modos normales de vibración) en un objeto que no tiene vibraciones internas, barriendo lentamente las frecuencias de excitación para obtener un espectro acústico del objeto.

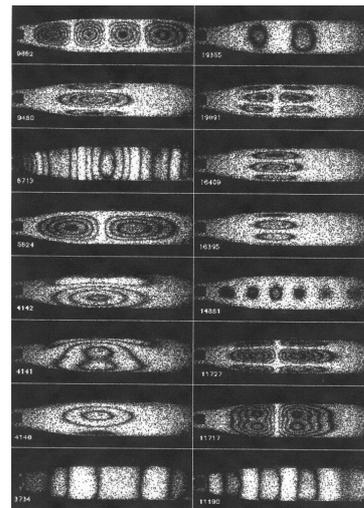


Fig. 3 Modos de vibración de una bomba obtenidos con holografía

El espectro de resonancia acústica contiene datos acerca de la estructura y composición física del objeto, a partir de la cual puede ser extraída información significativa. El objeto no necesita ser una estructura completamente sólida por ejemplo puede ser un contenedor lleno de fluidos (líquidos, gases) etc.

En general, los objetos pueden ser de cualquier tamaño, tan pequeño como de algunos milímetros o tan grandes como un cohete de muchas toneladas. Típicamente los objetos más pequeños (de tamaño en milímetros) tienen frecuencias de resonancias en los

rangos de MegaHertz, mientras que los objetos grandes (de tamaño en metros) pueden tener frecuencia de resonancia tan bajas como algunos cientos de Hertz.

En ARS dos transductores acústicos (que pueden estar en un solo dispositivo) son comúnmente usados: un transmisor un receptor. El transmisor excita las vibraciones en el objeto bajo estudio. El receptor monitorea las resonancias vibratorias resultantes.

La figura 4 describe el principio de la medición. En la parte superior se muestra, como una función del tiempo, la excitación transmitida a la bomba por unos de los transductores, el transmisor, la frecuencia de excitación es barrida uniformemente desde un valor bajo hasta uno alto.

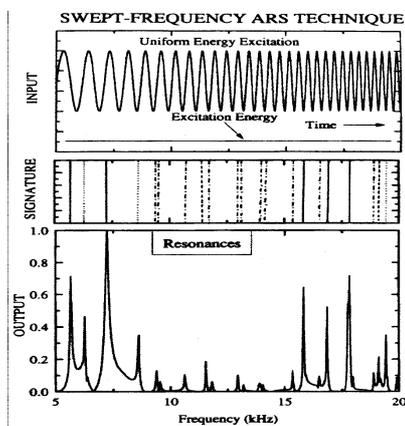


Fig. 4 Espectroscopia de Resonancia Acústica.  
 a) Señal de excitación  
 b) Patrón acústico en gráfica de barras  
 c) Espectro de vibración

La parte inferior de la figura 4 muestra una respuesta vibracional acústica típica detectada por el segundo transductor, el receptor. Se pueden observar todas las resonancias que fueron excitadas mientras se efectuaba el barrido de

frecuencias. Esta respuesta en frecuencia es obtenida en tiempo real y no a través de un análisis de FFT.

El mayor énfasis de la técnica ARS se encuentra en el patrón de frecuencias de resonancia y no tanto sobre las amplitudes de las resonancias.

En la imagen central de la figura 4 se muestra el patrón acústico derivado del objeto, en forma de un código de barras. Las diferentes amplitudes de los picos de resonancia son codificadas con diferentes tipos de estilos de líneas punteadas. Uno puede agregar diferentes colores para representar diferentes amplitudes y diferentes espesores de línea para incluir el valor Q de las resonancias.

En resumen:

- La ARS es una técnica que puede clasificar las bombas químicas en cuanto a su contenido por medio de sus modos naturales de vibración.
- La ARS lleva a cabo la clasificación del contenido de una bomba comparando mediciones acústicas realizadas en las bombas con respecto a un banco de patrones previamente evaluado en bombas del mismo tipo.
- El ARS es estrictamente un proceso comparativo. Las propiedades y configuraciones de un objeto no pueden ser directamente extraídas a partir de las mediciones. Las propiedades solamente pueden ser inferidas a través de la comparación con un patrón conocido.
- El ARS requiere la evaluación previa de cada tipo de armamento.
- El tiempo de medición del ARS es rápido, en el orden de los 60 segundos, y requiere muy poca o ninguna preparación de la muestra.

- La ARS es muy apropiada para la verificación masiva de muestras como en el caso de depósitos de armas químicas.

La ARS de una bomba puede llevarse a cabo *in situ* con un sistema simple y portátil formado por una computadora portátil y un sensor.

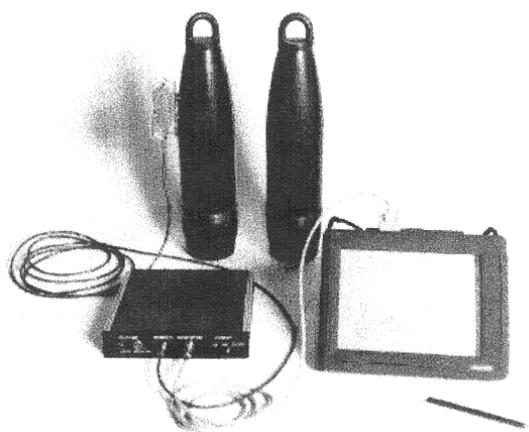


Fig. 5. Equipo portátil de Espectrometría de Resonancia Acústica para inspección de bombas

## BIBLIOGRAFIA

1. Jeremiah D. Sullivan; "The comprehensive test ban treaty", *Physics Today*, American Institute of Physics, March 1998, pp. 24 a 29, USA.
2. CTBT Organization; "CTBTO Home Page"; <http://www.ctbto.org/ctbto/summary>, 1998, Viena Austria.
3. CTBT Organization; "Summary of the comprehensive test ban treaty"; <http://www.ctbto.org/ctbto/summary>, 1998, Viena Austria.
4. Greenpeace; "Historia del tratado de prohibición de pruebas nucleares", <http://www.enter.net.mx/green/tratado.html>
5. CWC; "The chemical weapons convention homepage", <http://www.opcw.nl/ptshome.htm>
6. CWC; "Convención sobre la prohibición del desarrollo, la producción, el almacenamiento y el empleo de armas químicas y sobre su destrucción", versión corregida, 27 de enero de 1995
7. CLW; "Chemical weapons chronology", <http://www.clw.org/pub/clw/clw/cwchron.html>
8. Judy Aita; "Chemical weapons treaty will enter into force in 1997", *Daily Washington File*, <http://www.usis.it/wireless/wf961101/96110106.html>
9. Linda Perlstein; "A primer on the Chemical Weapons Convention", *The Washington Post*, <http://www.2020vision.org/cwprinter.html>
10. Dipen N. Sinha; "Acoustic resonance spectroscopy (ARS)", *IEEE POTENTIALS*, april 1992, pp.10 a 13, USA.