1. INTRODUCCION

En mayo de 1990 entró en operación la red de observación sísmica del Cenapred, donada por el gobierno japonés en el marco de un programa de cooperación técnica entre México y Japón.

El sistema consta de 16 estaciones de registro para temblores fuertes, 5 ubicadas a lo largo de la línea Acapulco - México y 10 en el Distrito Federal. Las primeras cuentan con acelerógrafos triaxiales modelo SMAC-MD instalados en superficie; las instaladas en la ciudad tienen además del registrador de superficie, sensores en pozos profundos a 30 y hasta 102 m de profundidad. En dos estaciones adicionalmente se colocaron registradores en adificios aledaños. El objetivo fundamental de la red es el estudio de los fenómenos sísmicos y en particular las características de propagación de las ondas desde la fuente, en las costas del Pacífico, su incidencia en el Valle de México y finalmente la respuesta dinámica de los distintos suelos y estructuras instrumentadas.[1]

Para el análisis y procesamiento de la información sísmica del sistema de observación, es fundamental e imprescindible el registro preciso del tiempo de ocurrencia de los eventos. Es usual para instrumentos de esta naturaleza especificar una precisión de 10 milisegundos.

Para tal efecto los acelerógrafos SMAC-MD están provistos de un reloj autónomo interno basado en un oscilador a cristal, térmicamente compensado y con una precisión de 10^{-6}, es decir, tiene un corrimiento de ±1 segundo cada 11.5 días a temperatura normal (0.8 seg/día). Como base primaria de tiempo esta precisión pudiese considerarse aceptable. Sin embargo considerando las fluctuaciones de temperatura, que se han medido entre 5 y 49°C, se han observado errores por corrimiento de este reloj de 1 hasta 4 segundos por mes, valores inaceptables para los propósitos de estudio de las señales sísmicas.

Para corregir esta falta de precisión usualmente las estaciones sísmicas se acondicionan con una referencia externa de tiempo, sincronizada con la hora universal, como la señale de radio WWVB, WWV, OMEGA, GOES, etc. En el caso de la red de observación del Cenapred el fabricante de los equipos escogió una nueva referencia, la señal NHK que se envía por onda corta desde el Japón. En este trabajo se describen las características de esta señal, los equipos de recepción y se presentan algunas pruebas realizadas en el campo y laboratorio.

2. CARACTERISTICAS DE LA SEÑAL NHK.

La NHK es quizá la principal cadena difusora de radio y televisión en el Japón. Dentro de su programación radiofónica usual, trasmite un código preciso de tiempo cada hora el cual se emplea localmente como referencia.

La señal NHK también se trasmite vía onda corta y por satélite a otros países fuera del Japón. Aquí en México se recibe en la banda de onda corta de 19m en la frecuencia de 15 325 KHz. La trasmisión de esta señal sin embargo no es contínua durante las 24 horas, sólo se envía de las 20 a las 22 horas diariamente. Por ello el código de tiempo se recibe unicamente a las 20:00 y 21:00 horas.

La gráfica de la figura 1 muestra la forma de la señal y el código trasmitido. Consta de tres tonos de 440 Hz de frecuencia y 0.1 seg de duración, trasmitidos exactamente al principio de los segundos 57, 58 y 59 del minuto 59 de la hora por terminar y un tono final de 880 Hz, cuyo inicio coincide exactamente con el segundo 0, es decir con la hora. La duración de esta última señal es aproximadamente 2 segundos.

3. SINCRONIZACION DEL RELOJ INTERNO DEL ACELEROGRAFO SMAC-MD

En cada estación de la red de observación se tiene un receptor de onda corta con sintonizador digital, SONY modelo ICF-7600DS, programado para recibir la señal NHK de 15,325 KHz. Su salida de audio se conecta directamente a la entrada que para tal efecto tiene el acelerógrafo SMAC-MD. En su interior un circuito especial detecta el tren de tonos y decodifica el código. Mediante un par de diodos luminosos, uno para cada tono, se visualiza la detección y recepción de las dos frecuencias.

Después de decodificarse correctamente los tres primeros pulsos de 440 Hz, con el flanco positivo de la señal de 880 Hz se pone a ceros al segundero del reloj interno. De esta manera se sincroniza el reloj interno dos veces al día (8 pm y 9 pm) compensando el corrimiento que tuvo el oscilador a cristal durante las últimas 24 horas.

De lo anterior se deduce que, para que el equipo pueda sincronizarse correctamente, la desviación del reloj interno no debe ser mayor que ± 30 seg alrededor de la marca de la hora, es decir puede corregirse el tiempo desde 59:30 antes de la hora hasta 00:30 después de la hora.

4. PRUEBAS RELIZADAS

En principio se ve que la técnica para el uso de la señal NHK en la sincronía de los acelerógrafos es bastante sencilla. Sin embargo después de varios meses de haberse instalado y operado el equipo, se ha comprobado a través de los distintos registros de temblores obtenidos con el sistema, que muchas veces la sincronización y corrección del tiempo no se lleva a cabo como se previó y el sistema no opera confiablemente, ya que se observan variaciones en el registro del tiempo que están fuera de especificación.

Dada la importancia que tiene este aspecto fundamental en el registro sísmico, se procedió a hacer una serie de pruebas y calibraciones al equipo con el objeto de entender mejor el proceso y encontrar la causa del problema. Dichas pruebas se describen a continuación.

4.1 Prueba de recepción de la señal de la señal de audio.

Lógicamente la primer prueba fue la verificación de la calidad de la recepción escuchando en distintas ocasiones la señal audiofónica del programa NHK. En la mayoría de los casos se percibió una señal sumamamente clara y fuerte comparado con otras señales de onda corta. El tren de tonos antes de la hora se pudo identificar bastante bien y los mesajes de voz fueron inteligibles. Como es usual en la recepción de señales de onda corta, fue necesario mover la antena en distintas posiciones hasta lograr la mejor señal.

4.2 Grabación de la señal NHK y reproducción en el osciloscopio.

Para comprobar la forma de onda y calidad de la recepción de la señal de tiempo NHK, se grabó la señal en una grabadora de audio que posteriormente se reprodujo utilizando un osciloscopio de memoria con graficador. La señal registrada se presenta en la figura 2.

Se observa claramente el patrón descrito en la figura 1 con los tres primeros pulsos de 440 Hz seguidos por la señal de 880 Hz. Con los cursores del osciloscopio se delimitaron exactamente el inicio de la señal (punto A) y el inicio de la señal de 880 Hz (punto B). Se comprueba que la distancia del punto A al B es justamente tres segundos (2.955 seg).

En la figura 3 se amplía el primer pulso de 440 Hz, que tiene una duración de 100 mseg.

4.3 Sincronización del SMAC-MD con la señal grabada.

Para verificar el correcto funcionamiento del circuito de detección del acelerógrafo SMAC-MD y el proceso de sincronización, se utilizó la señal registrada en la grabadora de audio descrita anteriormente y se aplicó directamente al SMAC-MD, previamente defasado su reloj interno algunos segundos.

Después de varias pruebas en las que se ajustó el volumen de salida de la señal de la grabadora, se comprobó el correcto funcionamiento del equipo. Sin embargo se observó también que la amplitud de la señal era importante, ya que con un nivel muy pequeño o demasiado grande, no sincronizaba el SMAC-MD o incluso sincronizaba equivocadamente al acelerógrafo.

Básicamente debe ajustarse a un nivel de volumen tal que sincronice el reloj en el momento que comienza la señal de 880 Hz; si el volumen es muy bajo puede tardar en sincronizarse hasta 4 segundos después de haber comenzado la señal de 880 Hz. Si el volumen es demasiado alto no se logra la sincronía.

4.4 Sincronización del SMAC-MD con circuito generador de NHK.

Con el objeto de verificar la sincronización del SMAC-MD repetidamente sin la necesidad de emplear la señal grabada, se decidió construir un circuito electrónico para sintetizar y generar en forma artificial la señal NHK. Está en preparación un reporte con la descripción detallada de este ciscuito (referencia 2). Con este dispositivo, que cuenta con un ajuste del nivel de amplitud de la señal, se pudieron efectuar con facilidad diversas pruebas y seleccionar los niveles necesarios para una correcta sincronización del tiempo del acelerógrafo.

Se probó el circuito conectándolo a la entrada de audio del SMAC. En diversas pruebas realizadas se comprobó la correcta sincronización del acelerógrafo para los siguientes niveles de voltajes de la señal:

Voltaje mínimo de detección: 0.14 Vpp
Voltaje máximo de detección: 2.8 Vpp

Dentro de estos límites, el punto de sincronización de la señal NHK simulada coincide con el comienzo del pulso de 880 Hz.

4.5 Comparación de la señal real NHK con la señal de tiempo WWVB.

En la mayoría de l. registros se llegó a observar consistentemente un retraso de aproximadamente 1 segundo del reloj interno del acelerógrafo SMAC-MD. Para investigar la razón de este retraso, se procedió a efectuar una prueba en el laboratorio para comparar la señal de la NHK respecto a la señal

de referencia WWV. Esta última es una señal codificada de tiempo que se envía en forma contínua en 5, 10 y 15 MHz desde Boulder, Colorado, E.U.

Para la prueba se utilizaron los equipos mostrados en la figura 4. Con el fin de tener un pulso de referencia cada segundo se sincronizó inicialmente un registrador DCA-310 con la señal WWV empleando un osciloscopio de memoria. La salida del pulso por segundo (1PPS) del DCA-310, la señal de la WWV y la de la NHK se regsitraron simultáneamente en un osciloscopio digital con impresora.

La primer prueba se efectuó con la recepción de la señal NHK a las 20:00 horas. El resultado se muestra en la figura 5. En la parte superior se tienen las marcas de 1 pulso por segundo (sincronizadas a la WWV), en medio la señal de la WWV y en la inferior la de la NHK. Las señales WWV y NHK se aprecian algo ruidosas; esto se debe parcialmente a la velocidad de muestreo relativamente baja del oscilsocopio. De la gráfica se observa claramente un retardo de 560 ms entre el pulso del segundo correspondiente de las 20:00:00 y el arribo del pulso de 880Hz de la señal NHK.

Una segunda prueba se efectuó el mismo día a las 21:00. El resultado de la medición se presenta en la figura 6. En esta ocasión se recibió en forma muy clara la señal de la NHK. Se observa nuevamente un retardo respecto a la WWV de 560 ms.

5. CONCLUSIONES

El registro confiable y preciso del tiempo, es indispensable en los sistemas de observación sísmica. Para tal fin la red acelerográfica del Cenapred utiliza un sistema de sincronización basado en la señal de onda corta NHK. Desafortunadamente los equipos no han funcionado como esperado y requieren algunos ajustes y mejoras. Para conocer mejor sus características y funcionamiento se procedió a una serie de pruebas de cuyos resultados se puede concluir lo siguiente:

En principio se ve factible el uso de la señal NHK como señal de referencia de tiempo para el sistema de observación. Sin embargo se detectan 3 problemas potenciales que deben cuidadosamente analizarse:

- La recepción de la señal de onda corta no es totalmente confiable; se deben mejorar los equipos de recepción para lograr una mejor calidad de la señal.

- El nivel de amplitud de la señal NHK recibida, con la cual se sincroniza el reloj del acelerógrafo SMAC-MD, es crítico considerando las fluctuaciones normales de una señal de onda corta debido a condiciones atmosféricas cambiantes. Todavía no se conoce bien el procedimiento óptimo de ajuste.

- Queda claro de las pruebas que la señal NHK llega retardada respecto al tiempo estándar. Se midió un retardo de 560 ms que se debe seguramente a los distintos enlaces y retrasmisiones que la señal de radio tiene desde su orígen en Japón. Habrá que ver si este retardo es constante o sufre alguna variación. Si fuera el caso, sería muy desfavorable su uso para el sistema de observación sísmico.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a J. M. Velasco, R. Vázquez Larquet y a D. Almora de la Coordinación de Sismología e Instrumentación Sísmica del Instituto de Ingeniería, UNAM, por su activa participación en las pruebas realizadas y por los equipos e instalaciones prestadas al Cenapred.

7. REFERENCIAS

[1] R. Quaas, E. Guevara, R. González, "Red de observación sísmica del Centro Nacional de Prevención de Desastres, Cenapred", memorias VI Congreso Nacional de Instrumentación, Guanajuato, Gto., septiembre 1990.

[2] E. Guevara, R. González, R. Quaas, Informe RT-6: "Diseño de un generador de la señal de tiempo NHK", Cenapred, en preparación.

DOCUMENTO ORIGINAL EN MAL ESTADO

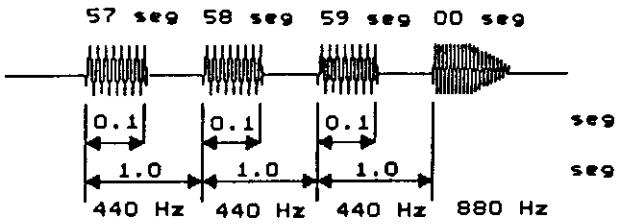

Fig 1. Señal de tiempo NHK

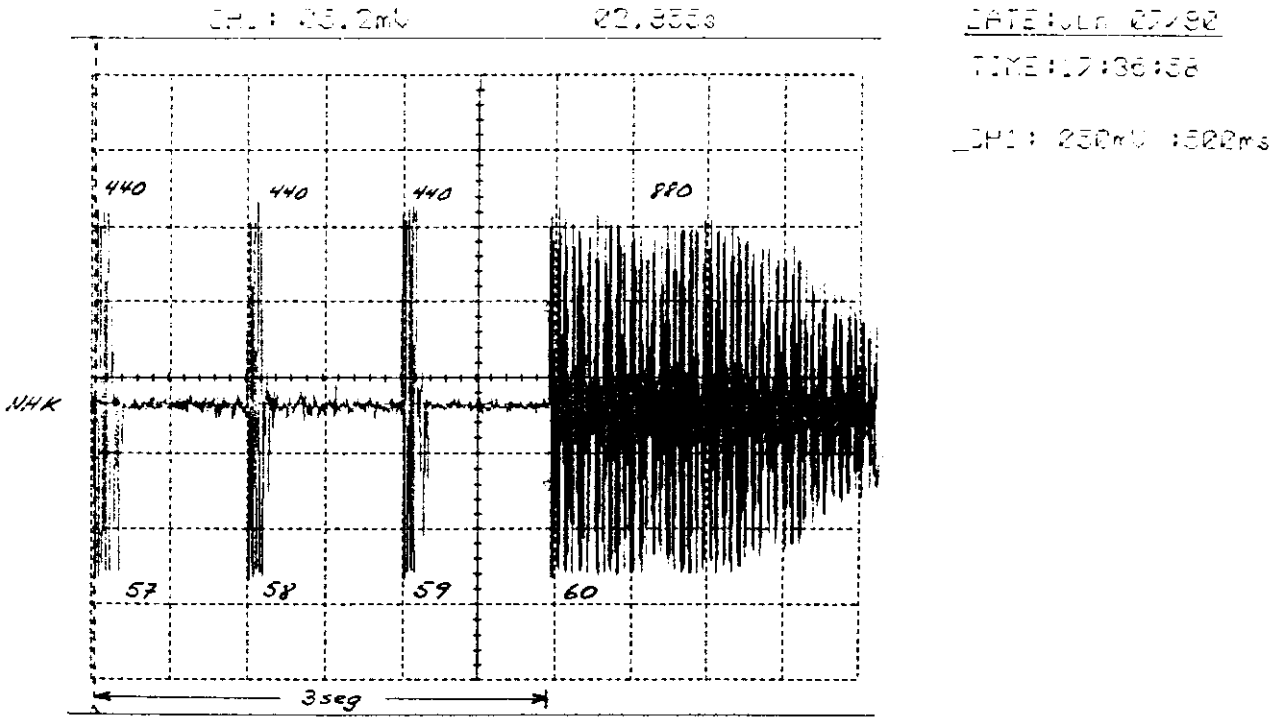

Fig 2. Registro de la señal NHK recibida

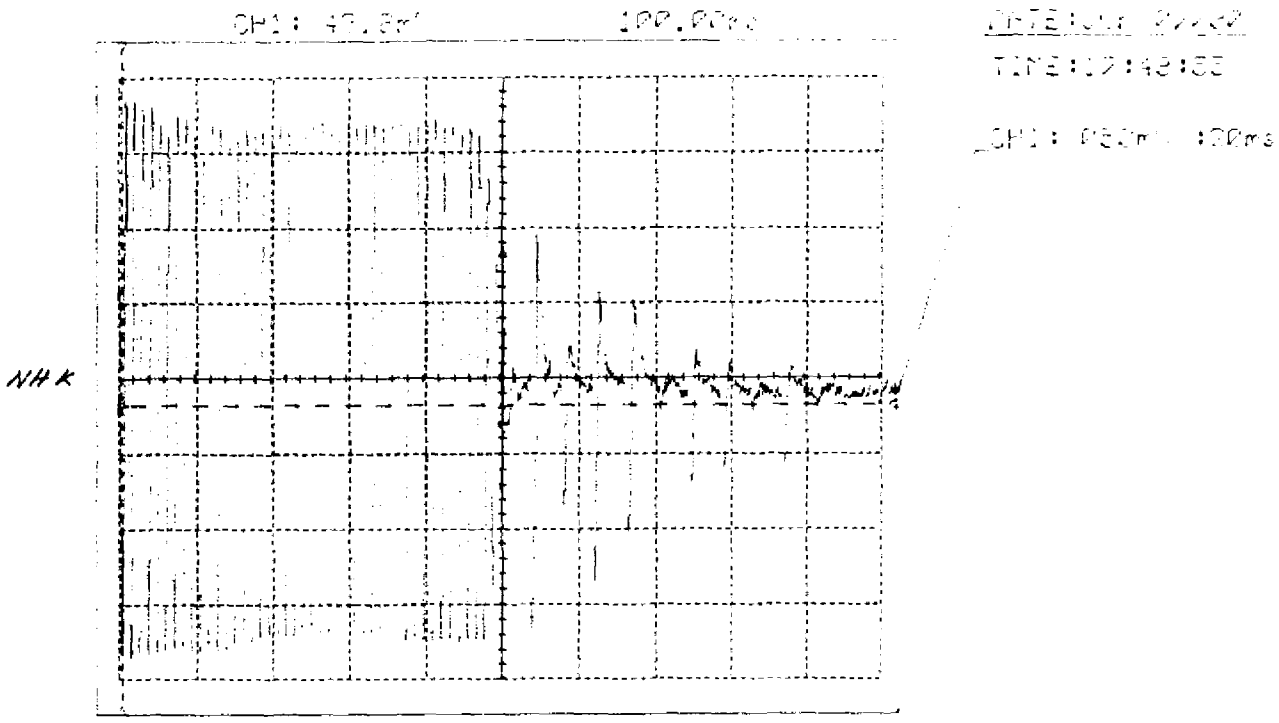

Fig 3. Detalle del primer pulso del código NHK registrado.

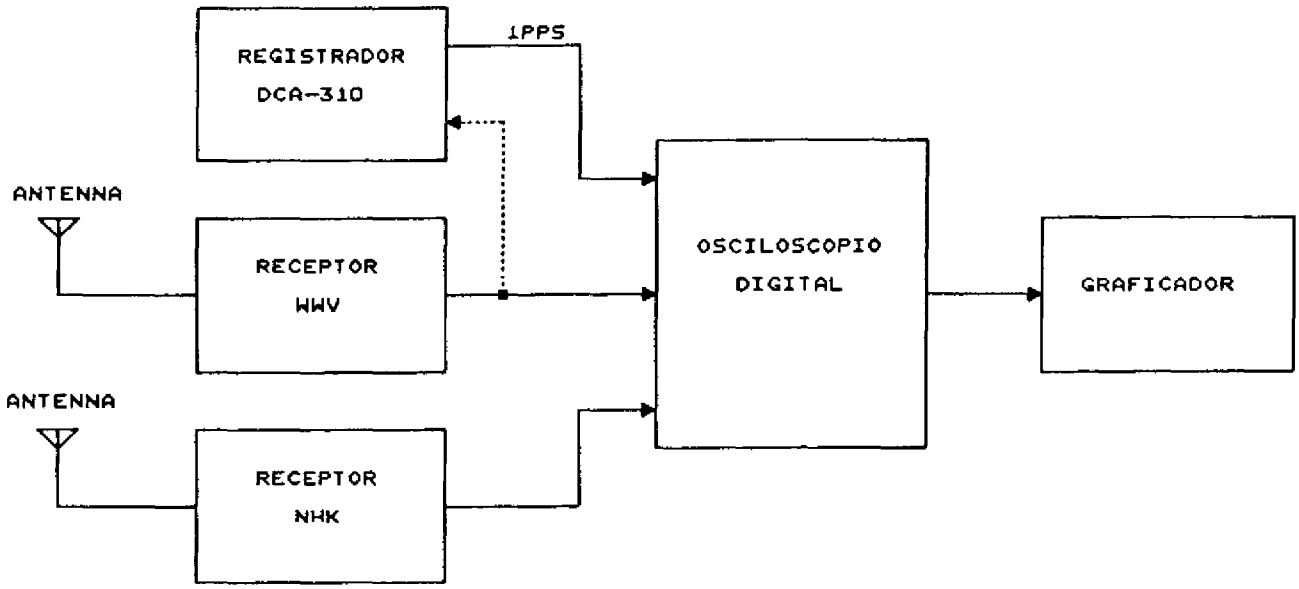

Fig 4. Configuración de los equipos para la medición del retardo de la señal NHK referente a la WWV

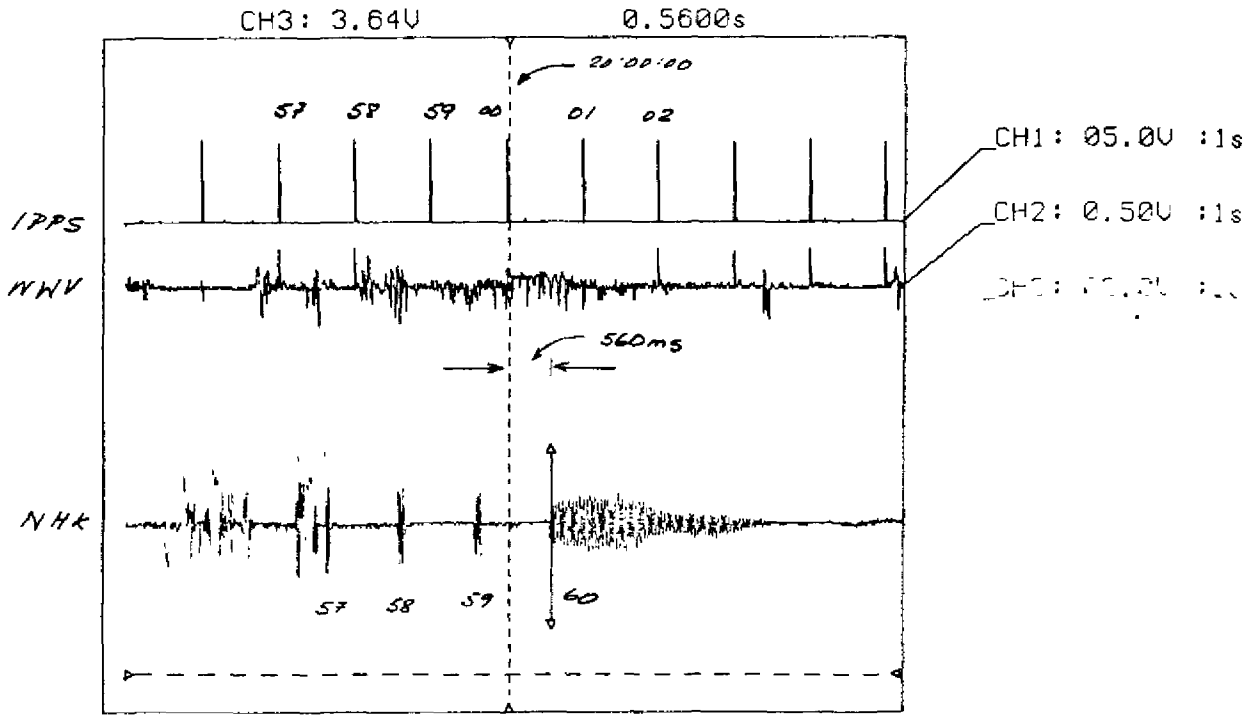

Fig 5. Resultado de la prueba de recepción de la señal NHK a las 20:00 y retardo de la señal.

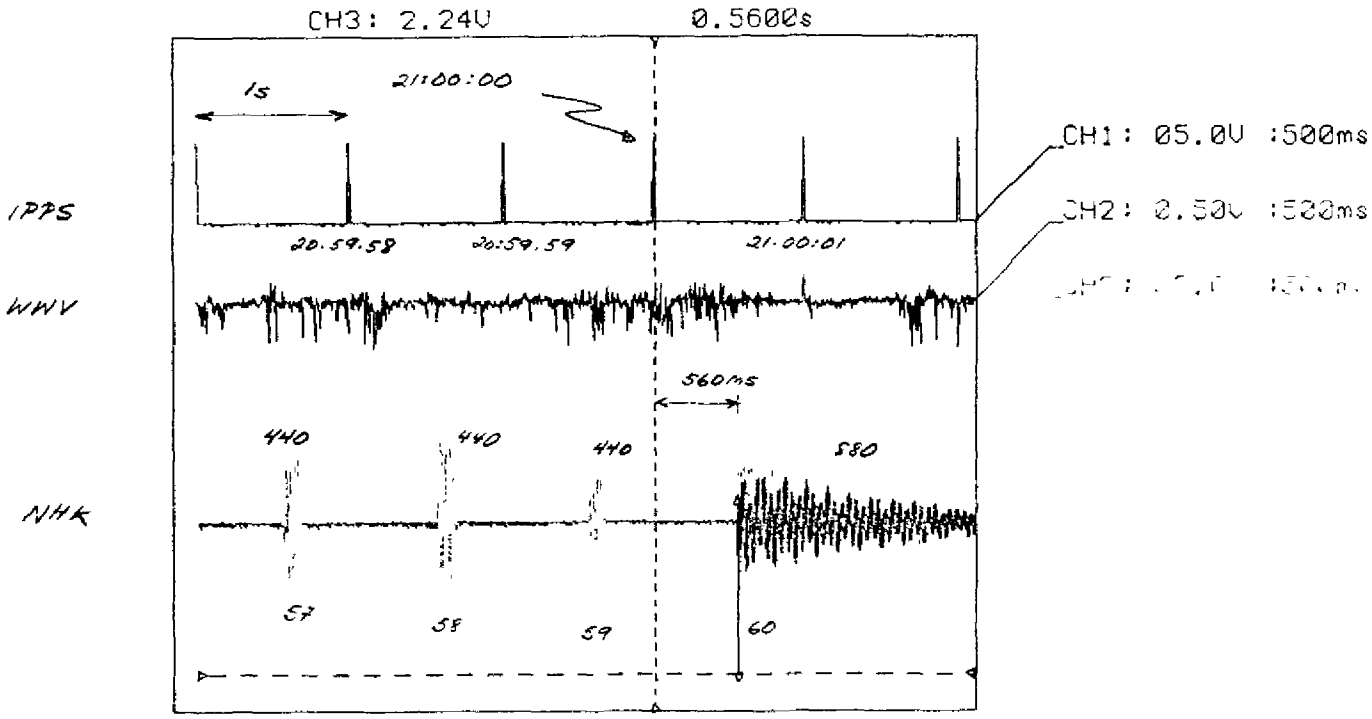

Fig 6. Resultado de la prueba de recepción de la señal NHK a las 21:00 y retardo de la señal.