

SIMPOSIO PANAMERICANO DEL MANTO SUPERIOR  
PAN-AMERICANO SYMPOSIUM ON THE UPPER MANTLE

(MÉXICO, D. F., MARZO 18-21, 1968)  
MARCH

GROUP V-SEISMOLOGY  
GRUPO V-SISMOLOGÍA

**SISTEMA TELEMETRICO PARA UNA RED  
SISMICA CUADRIpartita**

ENRIQUE GAJARDO W \*

RESUMEN

Se describe un sistema telemétrico de micro-ondas, para una red cuadripartita para una red sísmológica. Se detallan los instrumentos, circuitos y métodos de análisis empleados para los datos a obtener. Su principal uso es la determinación, con suficiente rapidez y exactitud, de los epicentros, con fines de información para medidas de emergencia y prevención de maremotos.

INTRODUCCION

Chile es un país de elevada sismicidad y largo historial de daños producidos por terremotos y tsunamis y es indispensable contar con un método rápido, eficaz y exacto para la determinación de epicentros.

Se decidió diseñar y construir un sistema telemétrico que permitiera usar la información simultánea de cinco estaciones sísmológicas muy distantes entre sí. Era imposible la compra de equipos comerciales, pues la mayoría son difícilmente adaptables para transmisión de señales por enlaces radiales con micro-ondas y por otra parte, su costo sería prohibitivo para nuestros escasos recursos.

**TELEMETRIC SYSTEM FOR A QUADRIpartite  
SEISMIC NETWORK**

ENRIQUE GAJARDO W \*

ABSTRACT

A micro-wave telemetric system is described here to be used in a quadripartite seismological network. Details about instruments, circuits and methods of analysis of data that will be obtained are given. Its main use is the sufficiently rapid and accurate determination of epicenters for information purposes in taking measures of emergency and tsunami prevention.

INTRODUCTION

Chile is a country of high seismicity and a long history of damages produced by earthquakes and tsunamis, so, it is indispensable to have a rapid efficient and exact method for determination of epicenters.

It was decided to design and construct a telemetric system that would handle simultaneous information from five seismologic stations located far away from each other. It was not possible to buy commercial equipment because most of it is difficult to adapt for purpose of transmission of signals by radial connections of micro-waves, and besides, their cost would be prohibitive for our small economic resources.

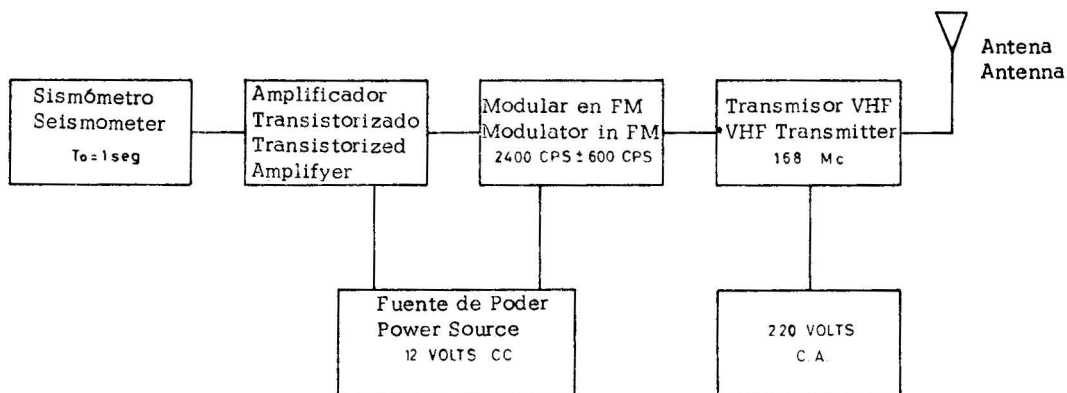


Fig. 1

\* Departamento de Geofísica y Geodesia, Universidad de Chile

\* Department of Geophysics and Geodesy, University of Chile

## DESCRIPCION GENERAL DE EQUIPOS

Unidad telemétrica (Fig 1). La señal sísmica es captada por un sismómetro de período corto, basado en el principio de los Wilson-Lamison y manufacturada en Chile. La señal eléctrica, de la bobina del sismómetro es amplificada por un amplificador transistorizado, del cual pasa a la unidad moduladora que transforma la señal sísmica en una audioséñal, de onda cuadrada, cuya frecuencia es proporcional a la amplitud de la señal sísmica. Se utiliza una frecuencia base de 2400 cps con un rango de variación de  $\pm 600$  cps. ( $\pm 25\%$ ). Finalmente, la señal de audio-frecuencia es transmitida en frecuencia modulada por un enlace de microondas usando transmisores General Electric de 80 watts y en frecuencias de 135 a 139 Mc. Tanto para la transmisión como para la recepción se utilizan antenas Yagi unidireccionales.

## GENERAL DESCRIPTION OF THE EQUIPMENT

Telemetering unit (Fig. 1). The seismic signal is caught by a short-period seismometer, based on the principle of the Wilson-Lamison and manufactured in Chile. The electric signal, from the seismometer coil is amplified by a transistorized amplifier, from which it goes through the modulating unit which transforms the seismic signal in a square wave audio signal whose frequency is proportional to the amplitude of the seismic signal. A frequency base of 2400 cps is used with a variational range of  $\pm 600$  cps ( $\pm 25\%$ ). Finally, the audio-frequency signal is transmitted on modulated frequency, by a micro-wave link using an 80 watt General Electric transmitter operating on 135 and 130 Mc frequencies. Unidirectional Yagi antennae for both transmission and reception are used.

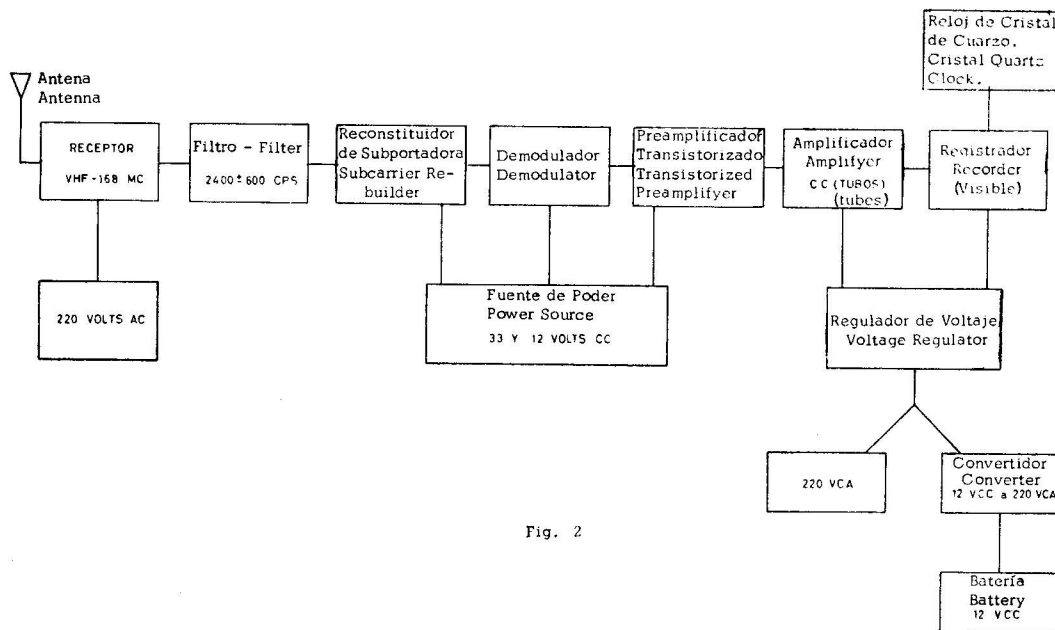


Fig. 2

Estación receptora (Fig. 2). La señal radial es captada por un receptor General Electric, de cuya salida se obtiene la subportadora de audio-frecuencia. Después ésta es filtrada con un filtro L-C de 1200 cps de ancho de banda y frecuencia central de 2400 cps. Este filtro elimina cualquier ruido que pudiera producirse en la transmisión, pues generalmente son de más baja frecuencia.

La subportadora, ya filtrada, pasa a un circuito reconstituidor, que es sensible a cualquier señal superior a 0.2 volts, regenerándose nuevamente la onda cuadrada original que se entrega al demodulador a una amplitud constante de 10 volts.

El demodulador es un circuito medidor de frecuencia que entrega un voltaje directamente proporcional a la frecuencia de la señal de entrada, con lo que tenemos reconstituida la señal sísmica.

Receiving Station (Fig. 2). A General Electric receiver gets the radial signal, from whose outlet the audio frequency subcarrier is got. Afterwards this one is filtered with a 1200 cps bandwidth and 2400 cps central frequency L-C filter. This filter eliminates any noise that could have been produced during the transmission, because usually they are of lower frequency.

The subcarrier already filtered, goes to a restoring circuit, sensitive to any signal above 0.2 volts; this signal is regenerated again to the original square wave and delivered to the demodulator at a constant 10 volts amplitude.

The demodulator is a frequency measuring circuit that produces a voltage directly proportional to the frequency of the input signal. Thereby the seismic signal is restored.

El voltaje de la señal sísmica es amplificado en un amplificador pretransistorizado y luego su corriente amplificada por un amplificador comercial Geotech que alimenta al registrador visible Helicorder.

### UBICACION DE LOS LUGARES

La selección de sitios para ubicar cada una de las cuatro estaciones remotas tiene que considerarse principalmente desde dos puntos de vista.

En primer lugar, el sitio elegido debe ser sísmicamente apropiado, es decir, con bajo nivel de ruido natural o artificial y por lo tanto, lejos de posibles fuentes de perturbación.

Por otra parte, es necesario asegurar la confiabilidad de la transmisión por micro-ondas, por lo que cada lugar debe tener, en lo posible, visibilidad entre la estación y el punto de registro, o a lo menos ser posible un enlace transhorizonte. Por todo ello, las estaciones quedarán instaladas en cumbres de cerros con suministros de energía eléctrica. Para obtener la seguridad de enlaces y seleccionar los sitios más adecuados, se necesitaron pruebas de propagación radial por cierto lapso.

Finalmente, para lograr la mejor resolución posible en exactitud de determinación de epicentros, el área encerrada por la red debe tener extensión máxima.

La ubicación de las cinco estaciones se muestra en el mapa de la Fig 3.

The voltage of the seismic signal is amplified in a pre-transistorized amplifier after which the current is amplified through a Geotech commercial amplifier which sends the signal to the visible Helicorder recorder.

### LOCATION OF SITES

The site selection to locate each one of the four remote stations has to be done taking into account mainly two points of view.

Firstly, the selected site must have proper seismic conditions, i.e., a low level of natural or artificial noise, therefore away from possible perturbation sources.

On the other hand, it is necessary to guarantee the reliability of the transmission through micro-waves, so that each phase may have as far as possible visibility between the station and the recording point, or at least the possibility of a transhorizontal link. Because of this all, the stations will be installed on top of hills having an electric energy supply. To guarantee the links and select the best sites, it was necessary to perform radial propagation tests for some time.

Finally, to get the most accuracy in the determination of epicenters, the network enclosed area should have maximum extension. The location of the five stations is shown in the map of Fig. 3.

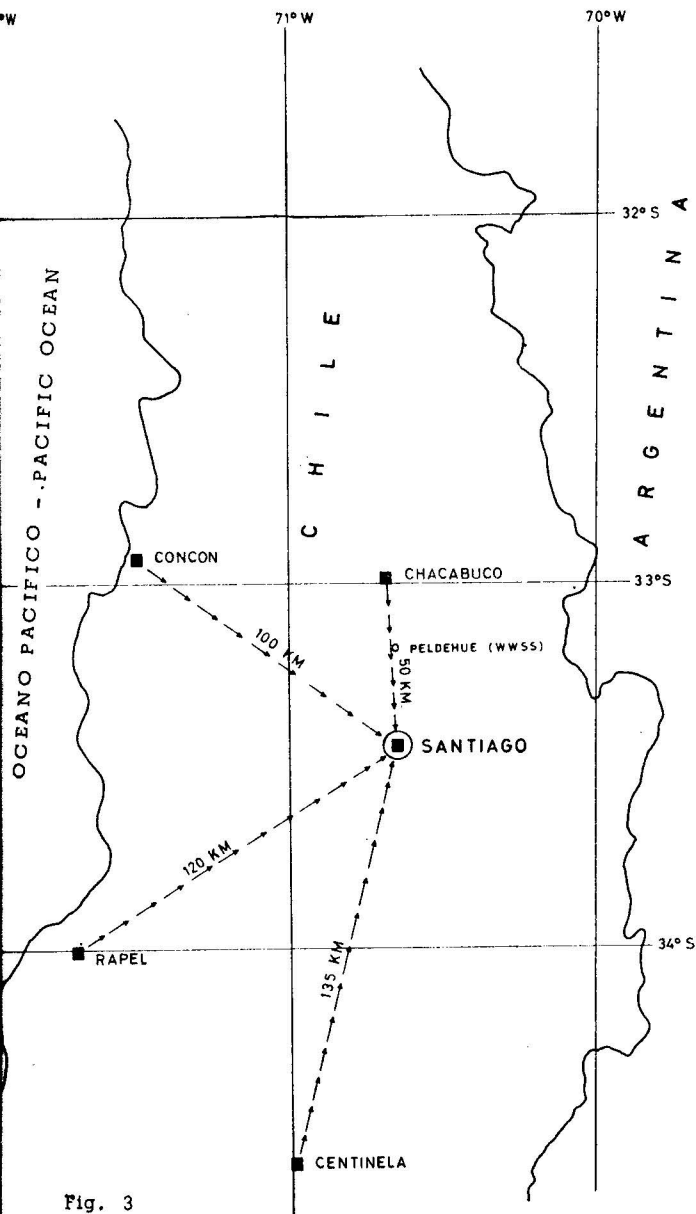


Fig. 3

## METODOS DE INTERPRETACION

## A) MÉTODO GRÁFICO

La principal actividad sísmica de Chile está prácticamente alineada de Norte a Sur, siguiendo la dirección de la Cordillera de los Andes y con un ancho promedio de cuatro grados de longitud.

Esta peculiar distribución nos facilita considerablemente la determinación de epicentros, ya que están concentrados de modo único y se presta especialmente para aplicación de métodos gráficos con curvas precalculadas.

Seguimos el método gráfico descrito por E. S. Husebye y utilizado en el Instituto Sismológico de Upsala (Suecia). El método se basa en la determinación previa de las llamadas "líneas epicentrales", que nos dan las diferencias de tiempos de llegada de una misma onda a dos estaciones distintas. Se calculan estas líneas epicentrales para diversas partes de estaciones y la intersección de tres o más determina el epicentro.

Para el cálculo de líneas epicentrales, determinamos las distancias de cada punto a cada una de las estaciones y con las tablas de Jeffreys-Bullen calculamos los tiempos de llegada de una misma onda a cada estación y luego la diferencia de tales tiempos. Este cálculo es fácilmente hecho por una calculadora eléctrica.

Para dibujar las líneas epicentrales debemos suponer *a priori* una profundidad de foco fija y si queremos tener varias posibilidades con distintas profundidades, será necesario efectuar varias series de mapas.

## B) MÉTODO ANALÍTICO

El método gráfico descrito anteriormente no pretende substituir a otros métodos, sino se utiliza por la rapidez de las determinaciones y sólo con fines de información y satisfacción de las necesidades de un servicio sismológico.

Para determinaciones definitivas y más precisas se cuenta con un programa de computación basado en trayectorias rectilíneas en un modelo de corteza de espesor linealmente variable, al cual se aplican velocidades de propagación obtenidas de la experiencia o de trabajos de refracción sísmica. El manto se supone homogéneo y por lo tanto con una velocidad fija. Se aplican también correcciones por curvatura de la tierra y altura de la estación y es posible calcular los datos usados.

El programa de computación está preparado en Fortran IV y para usarse en un computador IBM 360.

## RESULTADOS A OBTENER

Además de la evidente ventaja que prestará para el mejor desempeño del servicio sismológico se espera que después de un tiempo de observación será posible hacer estudios precisos de la sismicidad de la zona comprendida y adyacente a la red sísmica.

Por otra parte, a partir de los datos de la sismicidad natural, podrá llegarse a establecer un modelo de la corteza y

## METHODS OF INTERPRETATION

## A) GRAPHICAL METHOD

The main seismic activity in Chile is practically aligned from North to South, following the Cordillera de los Andes direction, and with an average width of less than four degrees of longitude.

This peculiar distribution gives us great facilities for epicenter determinations, because they are clustered in a unique manner that specially suits purposes of methods of graphical application with precalculated curves.

We use the graphical method described by E. S. Husebye and utilized in the Uppsala Seismologic Institute (Sweden). This method is based on the previous determination of the so-called "epicentral lines" that give us the differences of travel time at two different stations for one same wave. These curves are calculated for several station couples, and the intersection of three or more determines the epicenter.

To compute epicentral lines we determine the distance from each point to each one of the stations calculating from the Jeffreys Bullen tables travel times for one wave arriving to each one of the stations, and then, we compute the differences in those travel times. With a desk calculator this is easily done.

To draw the epicentral lines we should assume *a priori* an established focal depth, and if we wish to have several possibilities with different depths, it is necessary to draw several series of maps.

## B) ANALYTICAL METHOD

The graphical method described above does not pretend to substitute other methods, but to be used because of the fastness in its determinations and only for purpose of information, and to satisfy the needs of a seismological service.

For definitive and more accurate determinations, a computational program is available based on rectilinear trajectories on a crustal model with a linear variation, to which are applied the propagation velocities obtained from experiments or from seismic refraction studies. The mantle is supposed to be homogeneous and with an established velocity. We also apply corrections because of the earth's curvature, station height; it being possible to compute the used data.

The computational program is prepared in Fortran IV to be used in a 360 IBM computer.

## RESULTS TO BE OBTAINED

Besides the evident advantage in helping to improve a seismological service, we hope that after some time of observation it will be possible to make more precise studies on the seismicity of the interior and adjacent zones of the seismic network.

On the other hand, from data of natural seismicity it will be possible to establish a model for the crust and mantle in

del manto en la zona considerada. Para este estudio se busca, por medio del computador, el modelo teórico que produzca los errores mínimos en las determinaciones de hipocentros. Después de haber aplicado este método a un número estadístico de sismos, es posible llegar a obtener el mejor modelo.

#### DESCRIPCION DE CIRCUITOS Y SUS FUNCIONES

##### A) UNIDAD TELEMÉTRICA

1) Sismómetro. Se utiliza un sismómetro del tipo Wilson-Lamison, con período ajustable entre 0.7 y 3 segundos y un amortiguador de aceite para atenuar vibraciones de alta frecuencia del resorte de suspensión. El campo magnético está proporcionado por un imán permanente Alnico, que se carga una vez instalado. Tiene dos bobinas paralelas, una con señal de 3600 ciclos y otra de amortiguamiento o calibración de 100 ciclos.

2) Amplificador transistorizado (Fig. 4). Se utiliza el circuito de algunas de las primeras etapas del amplificador R-C transistorizado, tipo TR-6CT diseñado por el Department of Terrestrial Magnetism, de la Carnegie Institution of Washington. El amplificador es cargado por una fuente de energía de 12 volts c.c., desde un acumulador de 12 V.

3) Modulador (Fig. 5). Esta unidad es un convertidor de voltaje de frecuencia de elevada linealidad, cuya fórmula de conversión es:  $f_{\text{salida}} = 2000 + 1350 V \text{ eps}$ .

La frecuencia base se fija por medio de un potenciómetro que varía el nivel de potencial de corriente continua aplicándosele la variación de voltaje.

El circuito es insensible a las pequeñas variaciones del voltaje de alimentación y prácticamente no es afectado por las variaciones normales de temperatura.

La estabilidad del circuito es bastante elevada y en todo caso, superior a una parte en 100,000. La sensibilidad es de 1.35 cps por milivolt. La salida es una onda de frecuencia variable en torno a la frecuencia central y alimenta directamente al transmisor en F. M.

4) Transmisor. Se utiliza un transmisor de frecuencia modulada, marca General Electric, modelo DO 37N, con potencia de salida de 80 Watts en servicio continuo y en las frecuencias de 135 a 139 Mc.

5) Antenas. Se emplean antenas del tipo Yagi dobles con 10 db de ganancia y unidireccionales.

##### B) ESTACIÓN RECEPTORA Y REGISTRADORA

1) Antenas. Se utilizan antenas idénticas a las transmisoras.

2) Receptor. Es un receptor General Electric con frecuencia modulada de alta sensibilidad al cual se fija una frecuencia de recepción a cristales.

3) Filtro (Fig. 6). Es un circuito L-C formado por una bobina de 725 ciclos de alambre 3SWG en un núcleo de ferrita tipo 3B3, acoplada en paralelo a un condensador de 0.05 microfarad. Entre la salida del receptor y el filtro se colocó una resistencia en serie de 6.8 K para ajustar el

the zone of study. A theoretical model to reduce to a minimum mistakes in the determination of hypocenters is being sought with a computer. Thus, after applying this method to a statistic number of seismic evidence, it will be possible to obtain the best model.

#### DESCRIPTION OF CIRCUITS AND THEIR FUNCTONS

##### A) TELEMETERING UNIT

1) Seismometer. A seismometer of the Wilson-Lamison type with an adjustable period between 0.7 and 3 seconds and an oil damper to decrease the high frequency vibrations of the suspender spring is used. A permanent Alnico magnet that is charged once installed generates the magnetic field. It has two parallel coils, one with a 3600 cycles signal, and the other with 100 cycles for damping or calibration.

2) Transistorized amplifier (Fig. 4). The circuit included in the first steps of the R-C transistorized amplifier, of the TR-6 CT type designed by the Department of Terrestrial Magnetism of the Carnegie Institution of Washington is being used. The amplifier is charged with a 12 volts DC power source, from a 12 V battery.

3) Modulador (Fig. 5). This unit is a voltage converter with a frequency of high linearity whose converting formula is  $f_{\text{outlet}} = 2000 + 1350 V \text{ eps}$ .

The frequency base is established by a potentiometer that changes the potential level of the continuous current upon which the voltage variation is applied.

The circuit is not sensitive to small input voltage variations and almost not affected by normal variations in temperature.

The circuit stability is quite high, and in any case above one part in 100,000. The sensitivity is of 1.35 cps per millivolt. The outlet is a variable frequency wave around the central frequency, and serves to give a direct input to an F. M. transmitter.

4) Transmitter. A General Electric frequency modulate transmitter, DO 37N model, with an 80 watt power outlet on continuous service with 135 and 139 Mc frequencies is used.

5) Antennae. Antennae unidirectionals Yagi, double and with a 10 db gain are used.

##### B) RECORDING AND RECEIVING STATION

1) Antennae. The same as for the transmitter unit are used.

2) Receiver. It is a General Electric frequency modulate receiver of high sensitivity with a crystal frequency reception.

3) Filter (Fig. 6). It is a L-C circuit with a 725 cycles coil of 3SWG wire with a 3B3, ferrite core, parallel coupled with a 0.05 microfarad condenser. Between the receiver outlet and the filter we have placed in series a 6.8 K resist-

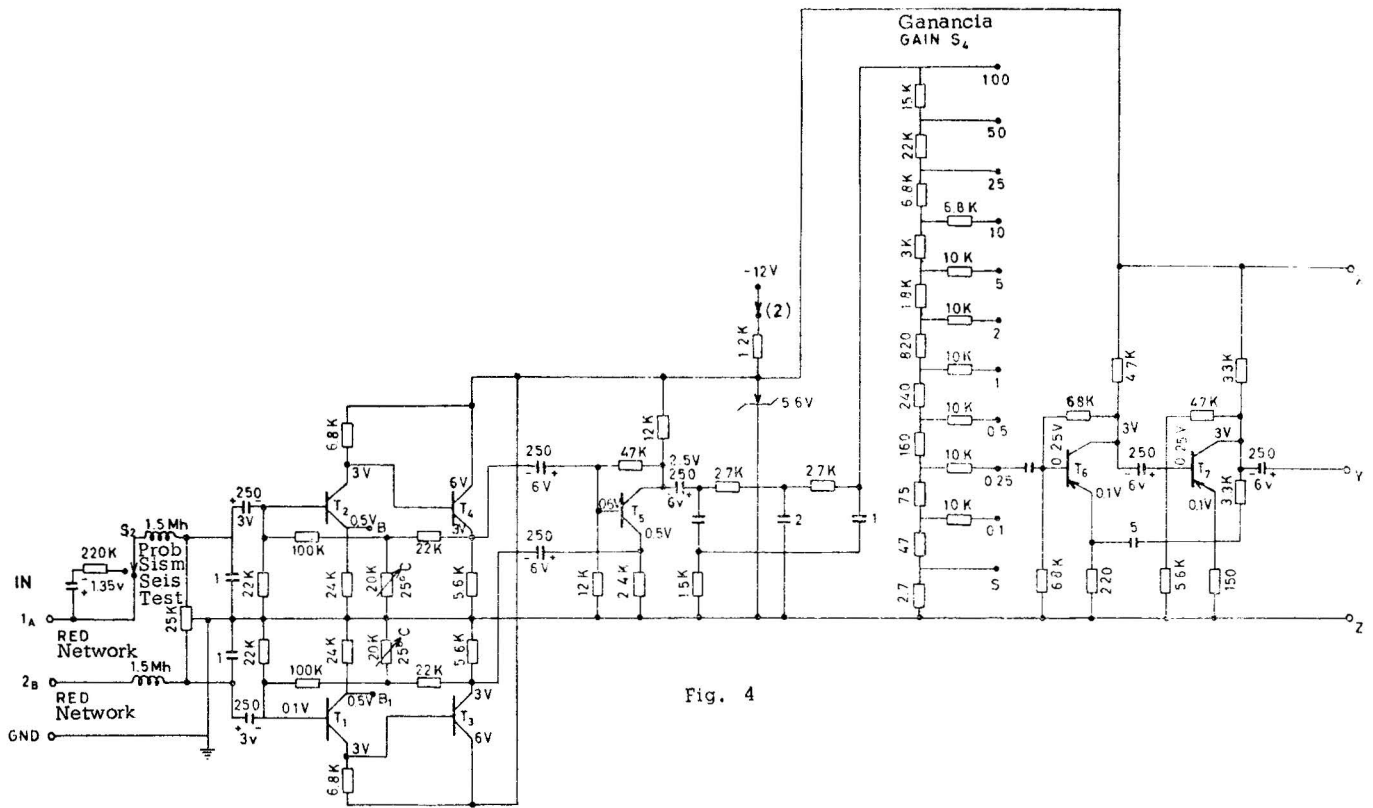


Fig. 4

ancho de banda del filtro. La frecuencia central es de 2400 cps con un ancho de banda total de 1200 cps.

4) Circuito reconstituidor (Fig. 6). La señal del filtro es una onda sinusoidal, cuya amplitud varía en parte por la curva de respuesta del filtro y por variaciones en las condiciones de propagación radial.

Debemos entregar al demodulador una señal de frecuencia modulada, pero de amplitud constante.

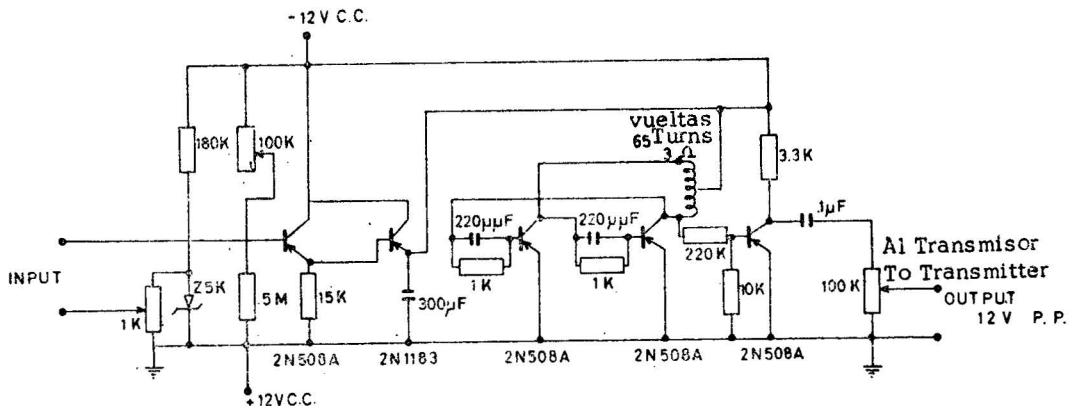
El reconstituidor opera para cualquier señal superior a 0.2 volts pp. y es un circuito oscilador que nos entrega onda cuadrada con una amplitud fija de 8 volts pp.

ance to fit the bandwidth of the filter. The central frequency is of 2400 cps with a total band of 1200 cps.

4) Restoring circuit (Fig. 6). The filter delivered signal is a sinusoidal wave with an amplitude that will vary because of the response curve of the filter and radial propagation conditions.

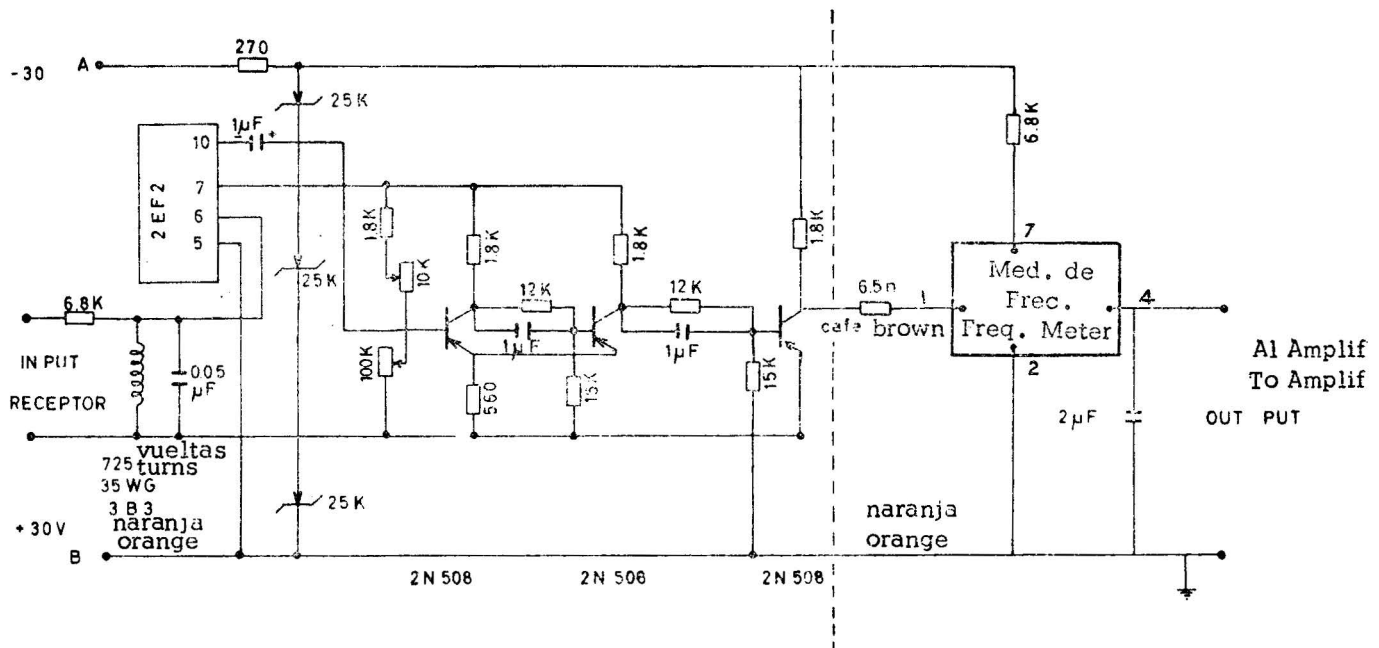
We have to send a modulated frequency signal to the demodulator with constant amplitude.

The restoring unit works for any signal above 0.2 volts pp. and it is an oscillator circuit that produces a square wave with a 8 volts pp. fixed amplitude.



MODULADOR DE LA SUBPORTADORA  
SUBCARRIER MODULATOR  
2400 ± 600 cps.

Fig. 5



2EF2
5 = +6V
6 = INPUT
7 = -6V
10 = OUTPUT

Fuente de Poder - Power Source

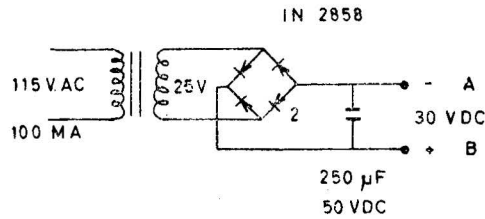


Fig. 6

Posición del Filtro S<sub>6</sub> FILTER POSITIONS

- 1 = 1.5 cps (NORMAL)
- 2 = 3 cps
- 3 = 15 cps
- 4 = 0.6 cps
- 5 = 2 cps
- 6 = 10 cps

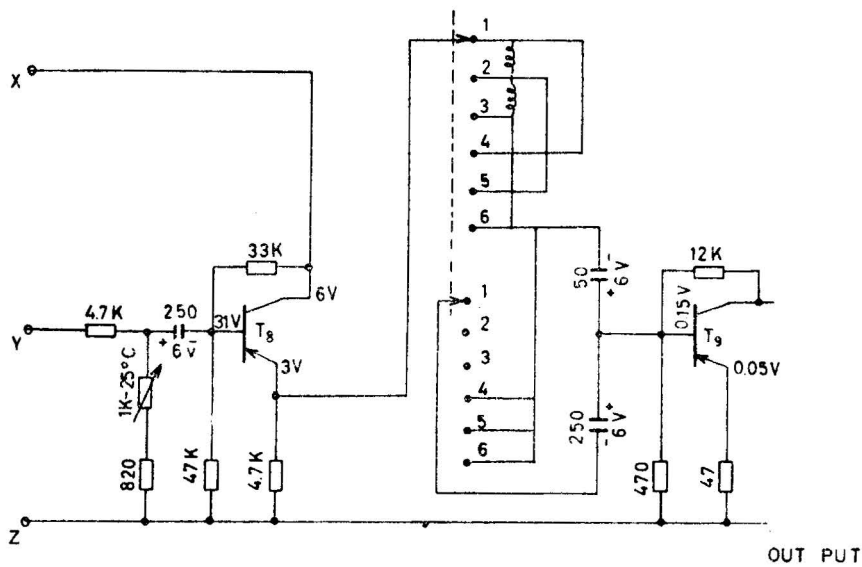
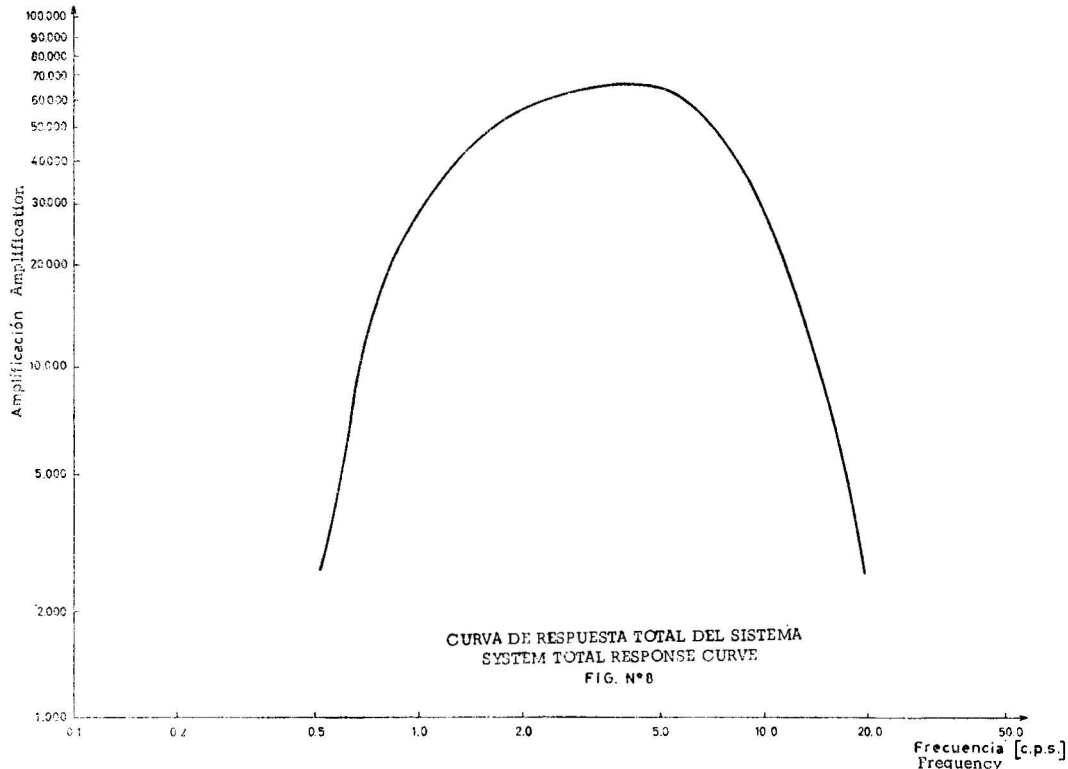


Fig. 7



La alimentación de 25 volts viene de una fuente de energía de corriente continua y el circuito tiene diodos de sener como reguladores de voltaje.

5) Demodulador (Fig. 6). Es una unidad transistorizada y sellada que actúa como medidor o convertidor de frecuencia a voltaje. Su sensibilidad, dada la entrada de amplitud fija de 8 volts, es de 452 volts/cps.

Para eliminar cualquier componente alterno a la salida, lleva conectado un condensador en paralelo de 2 F.

La linealidad del circuito es excelente dentro del rango de trabajo, 1800-3000 cps. La estabilidad se mantiene para condiciones normales de variación de temperatura.

La alimentación proviene de una fuente de energía de 25 volts de cc.

6) Pre-amplificador (Fig. 7). Es el mismo amplificador de la unidad telemétrica agregando dos etapas más de amplificación, con filtro de baja frecuencia, que fija con el sismómetro la curva de respuesta total del sistema (Fig. 8).

7) Amplificador final. Es un amplificador de corriente continua Geotech que gobierna el galvanómetro del inscriptor.

8) Registrador. Como el sistema se usará para información inmediata, los inscriptores son de registro visible del tipo Helicorder con papel sensible al calor.

Los cinco registradores estarán sincronizados con un mismo reloj de cuarzo que asegura la precisión en la regularidad de la marcha (6 cm/min).

9) Equipo auxiliar. Las señales de tiempo son dadas por un reloj de cuarzo, controlado por las transmisiones de tiempo standard por un receptor de onda corta.

The 25 volts input comes from a continuous current power source and the circuit has sener diodes that act as voltage regulators.

5) Demodulator (Fig. 6) It is a sealed transistorized unit that acts as a frequency meter or as a frequency voltage converter. The sensibility, once establishing an 8 volts amplitude inlet, is of 452 volts/cps.

To eliminate any AC component in the outlet, it has a condenser of 2 F connected in parallel.

The circuit linearity is excellent in the 1800-3000 cps working range. The stability is kept under normal temperature variations.

The input comes from a 25 volts DC power source.

6) Preamplifier (Fig. 7). We use the same amplifier as in the telemetering station to which we have added two extra amplifier steps, with a low frequency filter, that, with the seismometer establishes the curve from the total system responses, (Fig. 8).

7) Final amplifier. We use a Geotech continuous current amplifier that sends enough power to work the inscriptor galvanometer.

8) Recording unit. As the system will be used for immediate informational purposes, the inscriptor has a visible register Helicorder type with paper sensitive to heat.

The five recording units will be synchronized with one quartz clock to guarantee the precision of the regularity of the march (6 cm/min).

9) Auxiliary equipment. A quartz clock gives the time signals, and is controlled by standard time transmissions through a short wave receiver.



## METODO DE CALIBRACION

Se ha diseñado y construido un puente de Willmore, que al usarse con un oscilador variable de muy baja frecuencia, proporciona una calibración absoluta para toda la gama de frecuencias, ya que las constantes mecánicas del sismómetro son conocidas de antemano.

Esta calibración se efectuará cada 4 meses aproximadamente para comprobar las bondades del sistema telemétrico.

## CALIBRATION METHOD

We have designed and built a Willmore bridge that is being used with a variable oscillator of low frequency, giving us an absolute calibration for all the desired frequency ranges because the mechanical constants of the seismometer are known ahead.

This calibration will be approximately done each four months to test the telemetric system.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDREEV, S. S. 1961. The Use of Epicentral Lines when the Velocity Profile is unknown. *Geophysical Series, Acad. Sci., U.R.S.S.* No. 7.
- ASANO, S. 1964. On the Accuracy of Hypocenters Determination. *Bull. Earthquake Res. Inst. (University of Tokyo)*, Vol. 32.
- ROSS, R. 1959. Radio Telemetry Applied to Survey Problems. *Technical Bull.*, No. 4.
- SACKS, I. S. 1966. A Broad-Band Large Dynamic Range Seismograph. *Geophysical Monograph (The Earth beneath the Continents)* No. 19. Washington, D. C. (American Geophysical Union).
- SKOKO, D. *et al.* 1967. Optimal Distribution of Seismic Observation Points. *Bull. Earthquake Res. Inst. (University of Tokyo)*, Vol. 45.
- WILLMORE, P. L. 1959. The application of the Maxwell Impedance Bridge to the Calibration of Electromagnetic Seismographs. *Bull. Seismol. Soc. America*, Vol. 49.

## BIBLIOGRAPHY