

MÉTODOS ELECTROMAGNÉTICOS

Activos:

Dominio de Frecuencias (FEM)

Dominio de Tiempo (TEM)

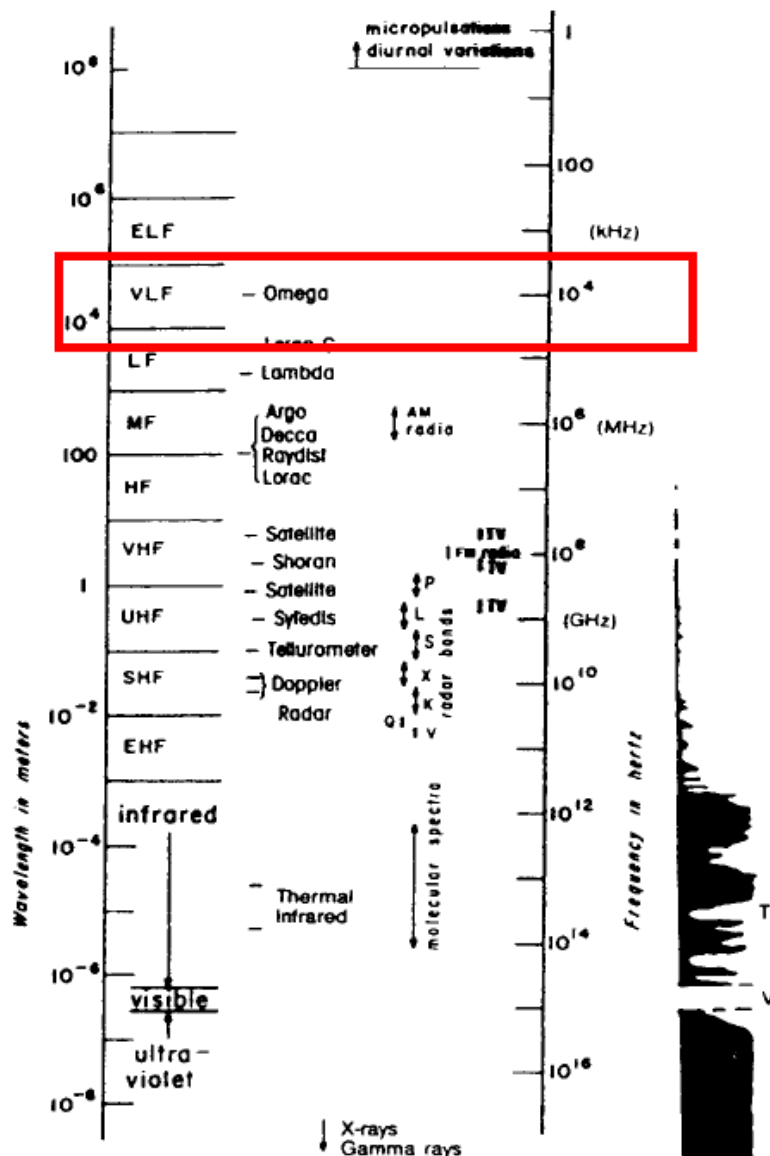
Transmisores Remotos (VLF)

Georadar (GPR)

Pasivos:

Magnetotelúrica (MT)

VLF (very low frequency method)



Frecuencias de 20 kHz, bajas en comparación con ondas de radio, pero altas con respecto a los métodos EM tradicionales

Longitudes de onda 1000-10000 metros

VLF (very low frequency method)

No tiene su propio Tx. Utiliza radio transmisores muy poderosos, que están dados por una antena vertical a lo largo de la cual alterna corriente, produciendo líneas de campo magnético en forma de círculos horizontales. Usadas para comunicaciones de largo alcance.

VLF (very low frequency method)

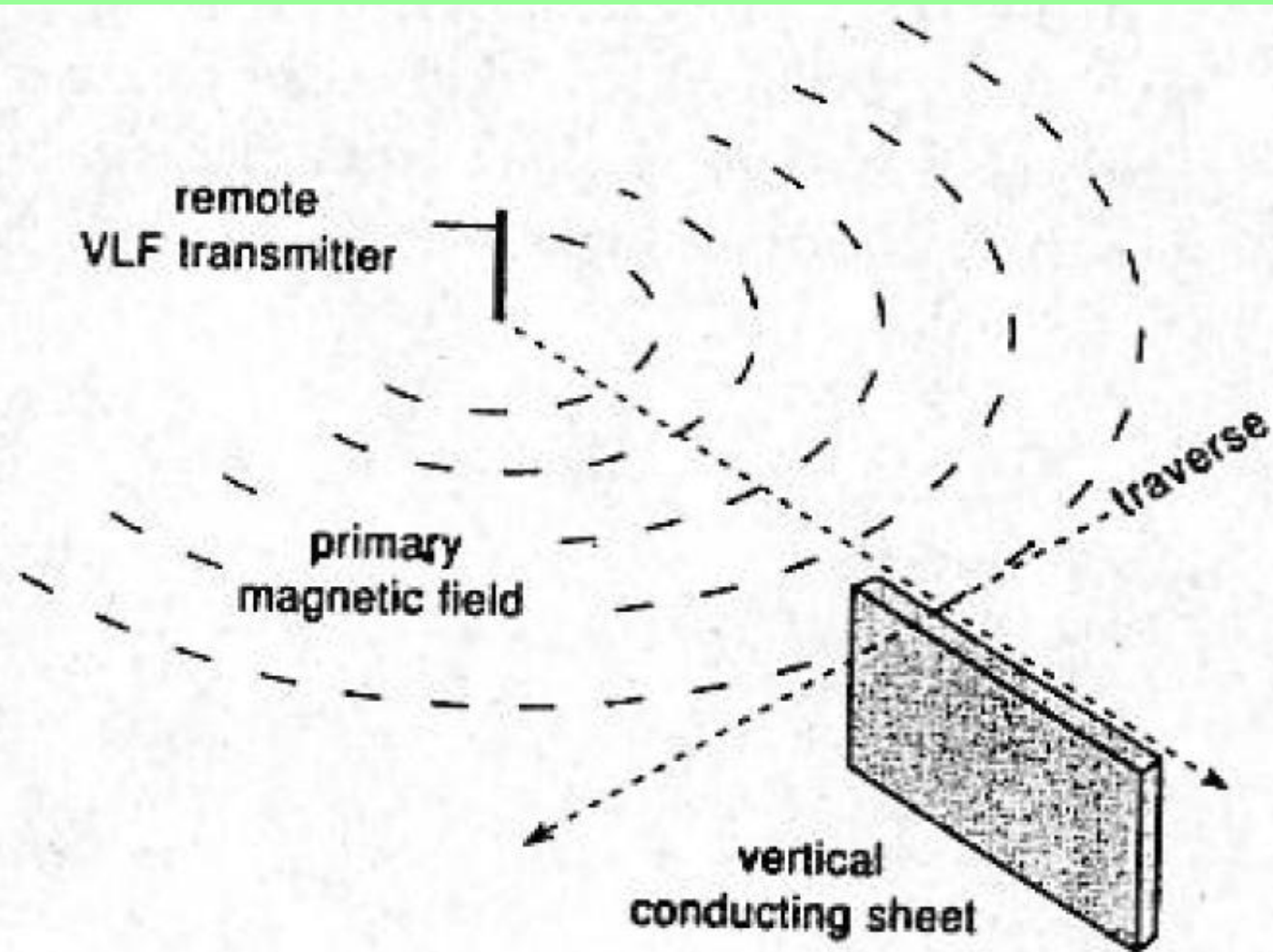


Figure 14.13 Transmitter of VLF radio waves.

VLF (very low frequency method)

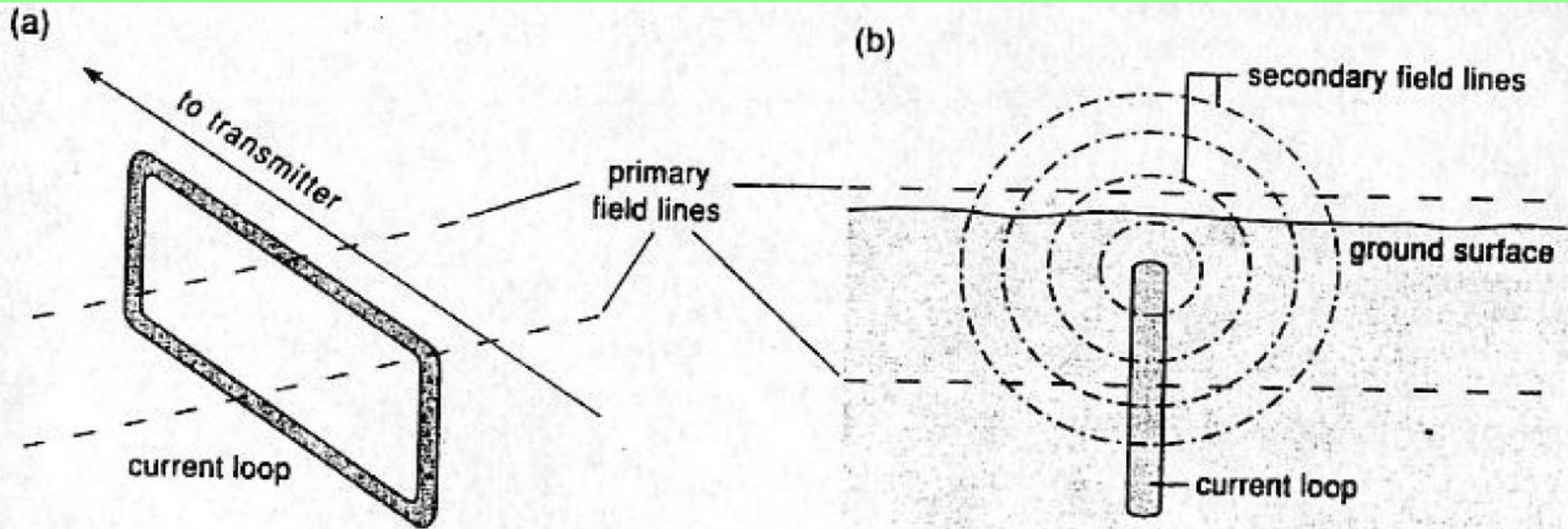
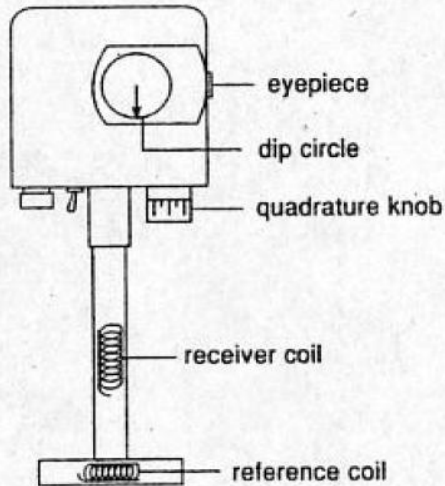


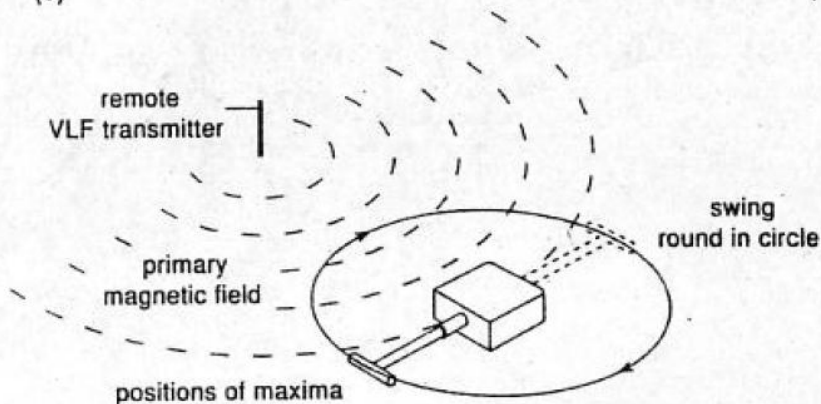
Figure 14.14 Field due to a vertical conducting sheet.

VLF (very low frequency method)

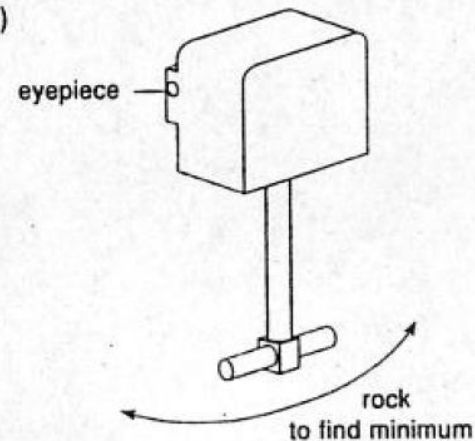
(a)



(c)



(d)

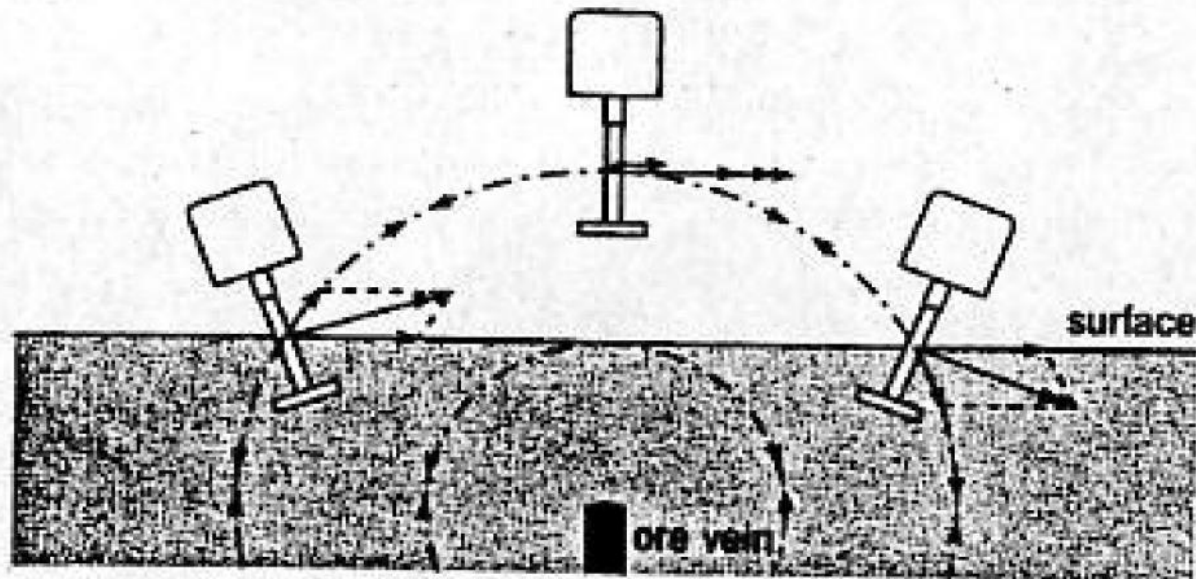


Dispositivo con dos bobinas ortogonales. La dirección del transmisor se ubica rotando la bobina horizontal alrededor de un eje vertical hasta que se encuentra una posición de cero.

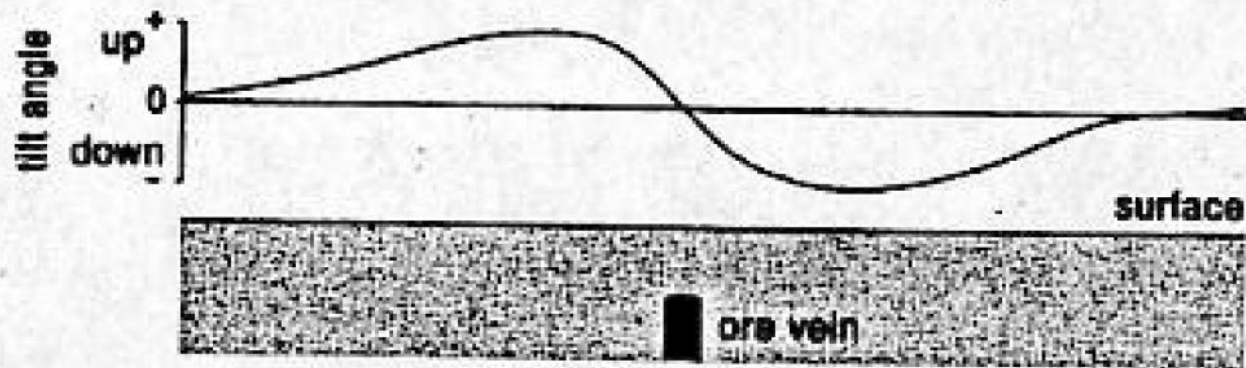
Se realizan perfiles en el área de estudio perpendiculares a esa dirección. Se rota el instrumento alrededor de un eje horizontal perpendicular a la dirección del perfil y se registra el ángulo de dicha rotación cuando se encuentra una posición de cero.

VLF (very low frequency method)

(a) tilt-angle measurement



(b) tilt anomaly of a vertical sheet



VLF (very low frequency method)



Receptor EM16 VLF

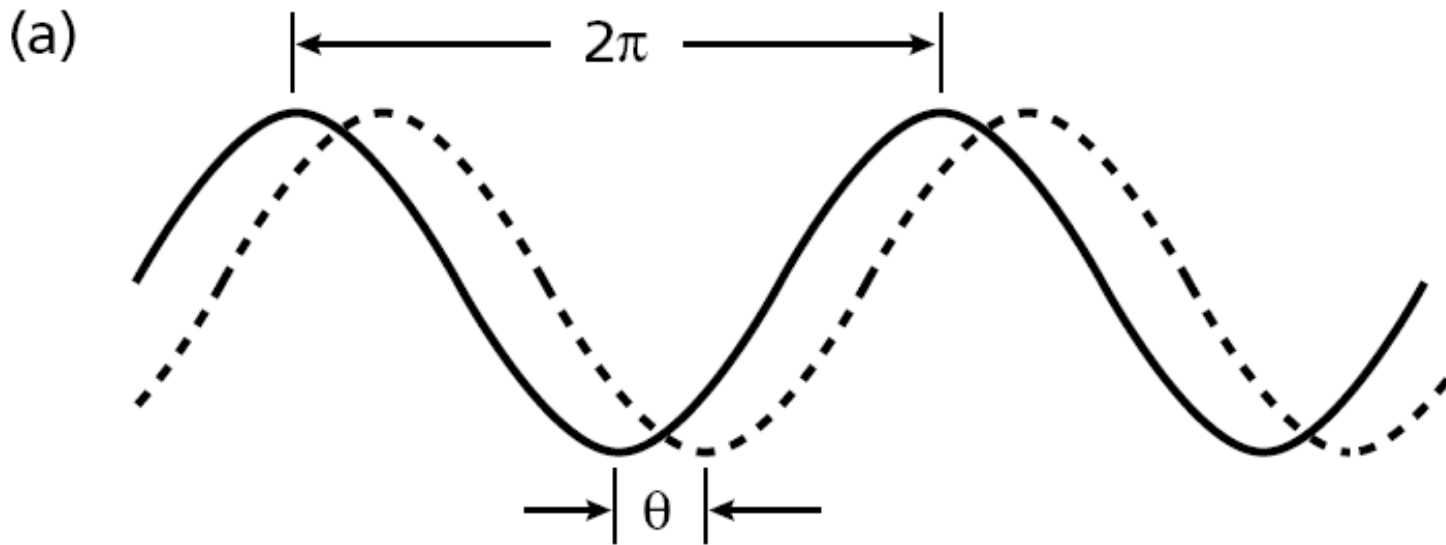
Mide tilt y elipticidad (comps. En fase y cuadratura). Opera en 15-25 kHz.

Peso 2 kg, funciona con 6 pilas AA

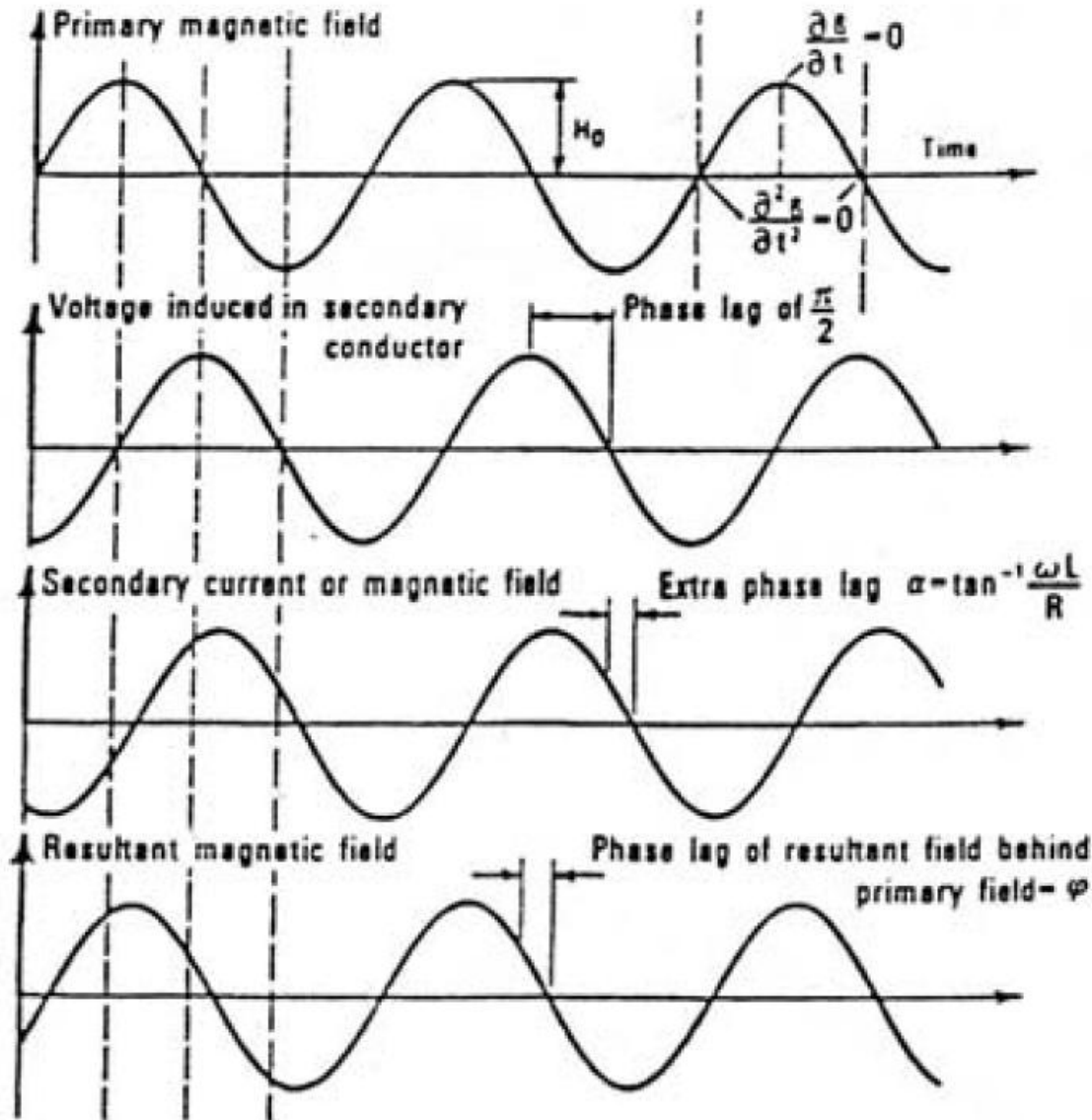
Transmisor de 18.6 kHz, para un loop de 500x500 m

(ambos pesan 32 kg, mas un generador de 17 kg)

Componentes en Fase y Cuadratura

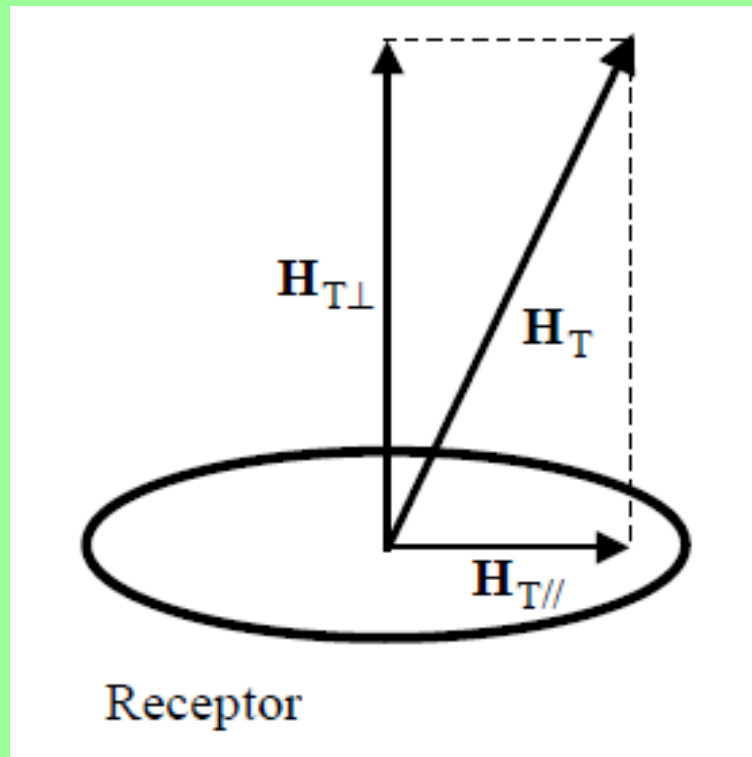


En el receptor se tiene una superposición del campo magnético primario \mathbf{H}_P , generado por la corriente que circula en el transmisor, el cual es conocido, y del campo secundario \mathbf{H}_S , producido por las corrientes inducidas en el subsuelo, que contiene información sobre la estructura eléctrica del terreno. \mathbf{H}_P está en fase con la corriente que lo genera, \mathbf{H}_S está desfasado (atrasado en fase) un ángulo Φ_S respecto de la corriente y de \mathbf{H}_P



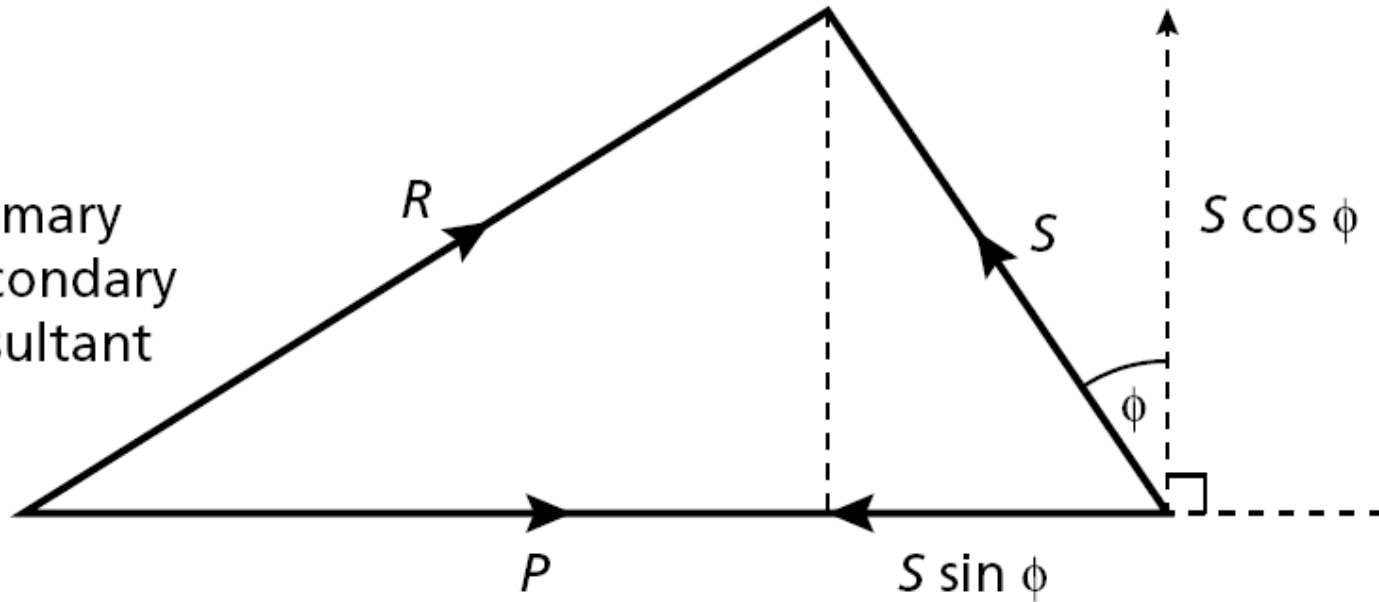
El voltaje inducido por el CM primario en un conductor perfecto está atrasado $\pi/2$. Las propiedades eléctricas del blanco conductor generan un desfase extra ϕ . Para buen conductor es cercano a $\pi/2$, para conductor pobre es cercano a cero.

El campo total, \mathbf{H}_T , en el receptor, es la suma de \mathbf{H}_P y \mathbf{H}_S . \mathbf{H}_T puede separarse en dos componentes, una componente perpendicular a la espira receptora, $\mathbf{H}_{T\perp}$, que induce una corriente en dicha espira, y una componente paralela a ella, $\mathbf{H}_{T//}$, que no ejerce ningún efecto inductivo



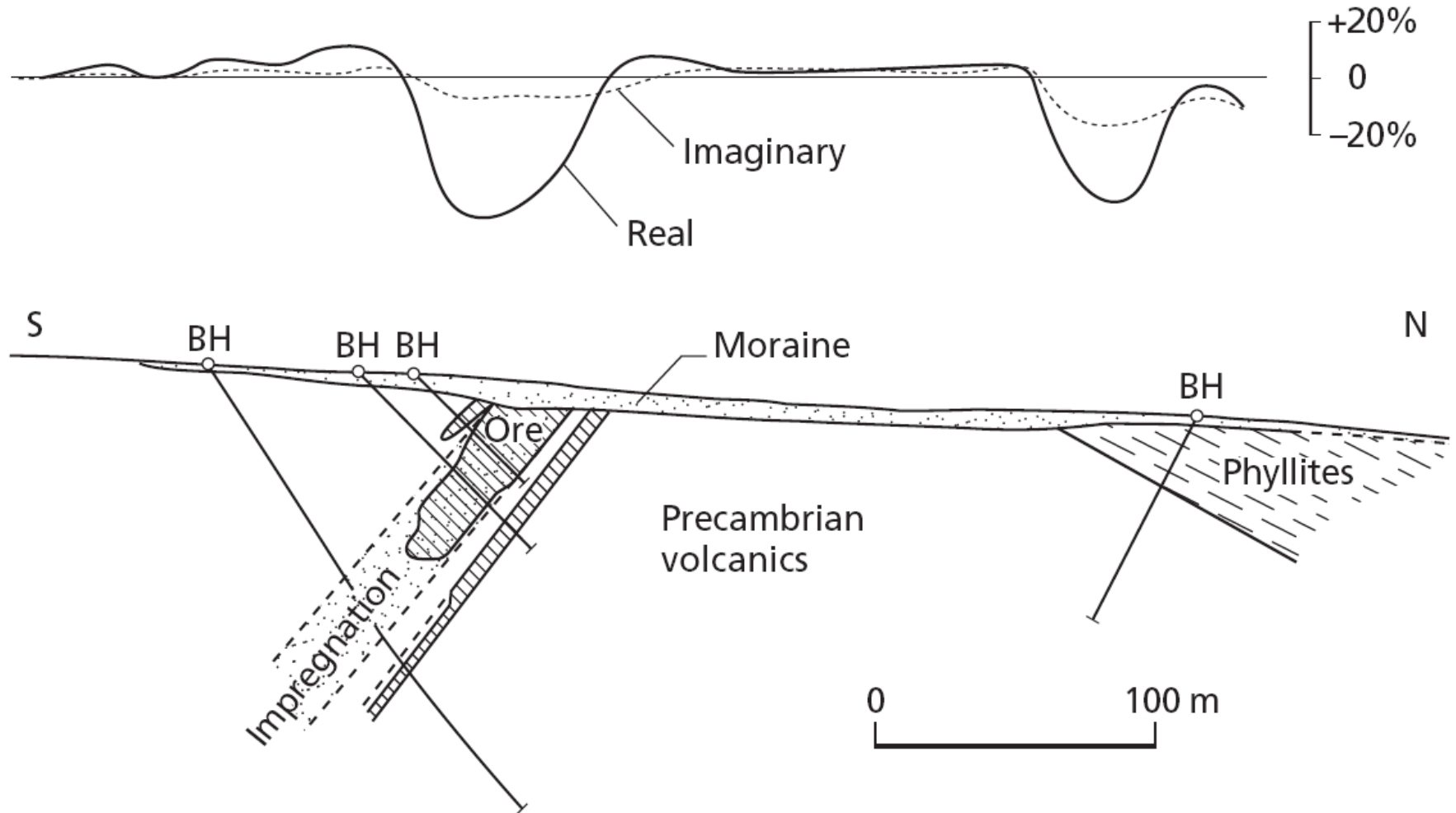
(b)

P = primary
 S = secondary
 R = resultant



El campo secundario viaja con un retraso de $\pi/2 + \phi$. La proyección del campo secundario en la horizontal tiene un desfase de π con respecto al campo primario. Se conoce como la componente “en fase” o “real” del campo secundario. La proyección vertical del campo secundario tiene un desfase de $\pi/2$ con respecto al campo primario. Se conoce como la componente “fuera de fase”, “imaginaria” o en “cuadratura” del campo secundario.

Los datos que da el instrumento son las amplitudes de las componentes en fase (Re) y cuadratura (Im). Son cantidades que no tienen unidades y que se expresan en partes por millón (PPM).

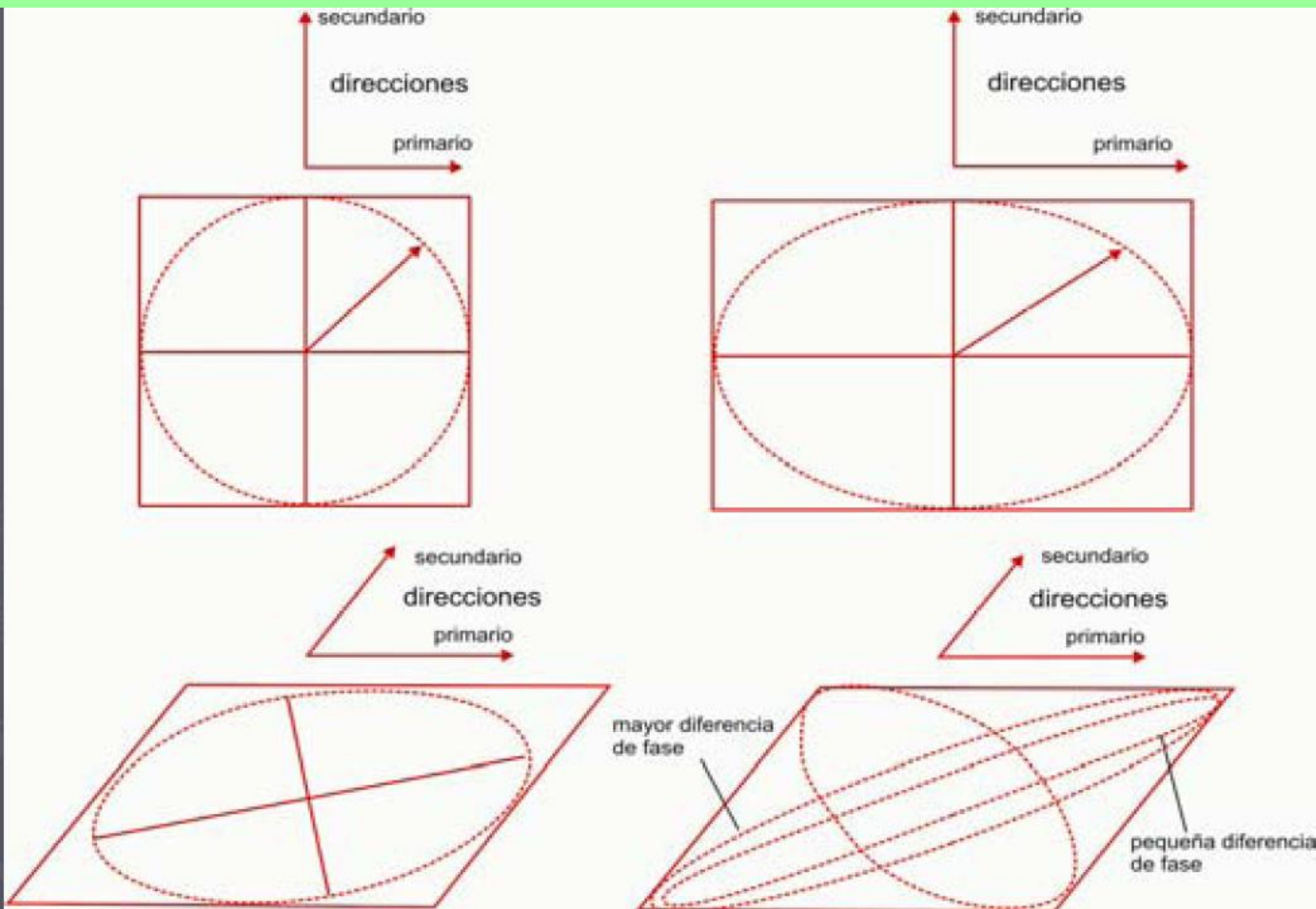


Bobinas horizontales coplanares, separación 60 m, frecuencia 3.6 kHz. Re/Im elevado sobre la mena.

Elipse de polarización

La interferencia de dos ondas que se propagan en planos a 90° entre sí, produce polarización elíptica

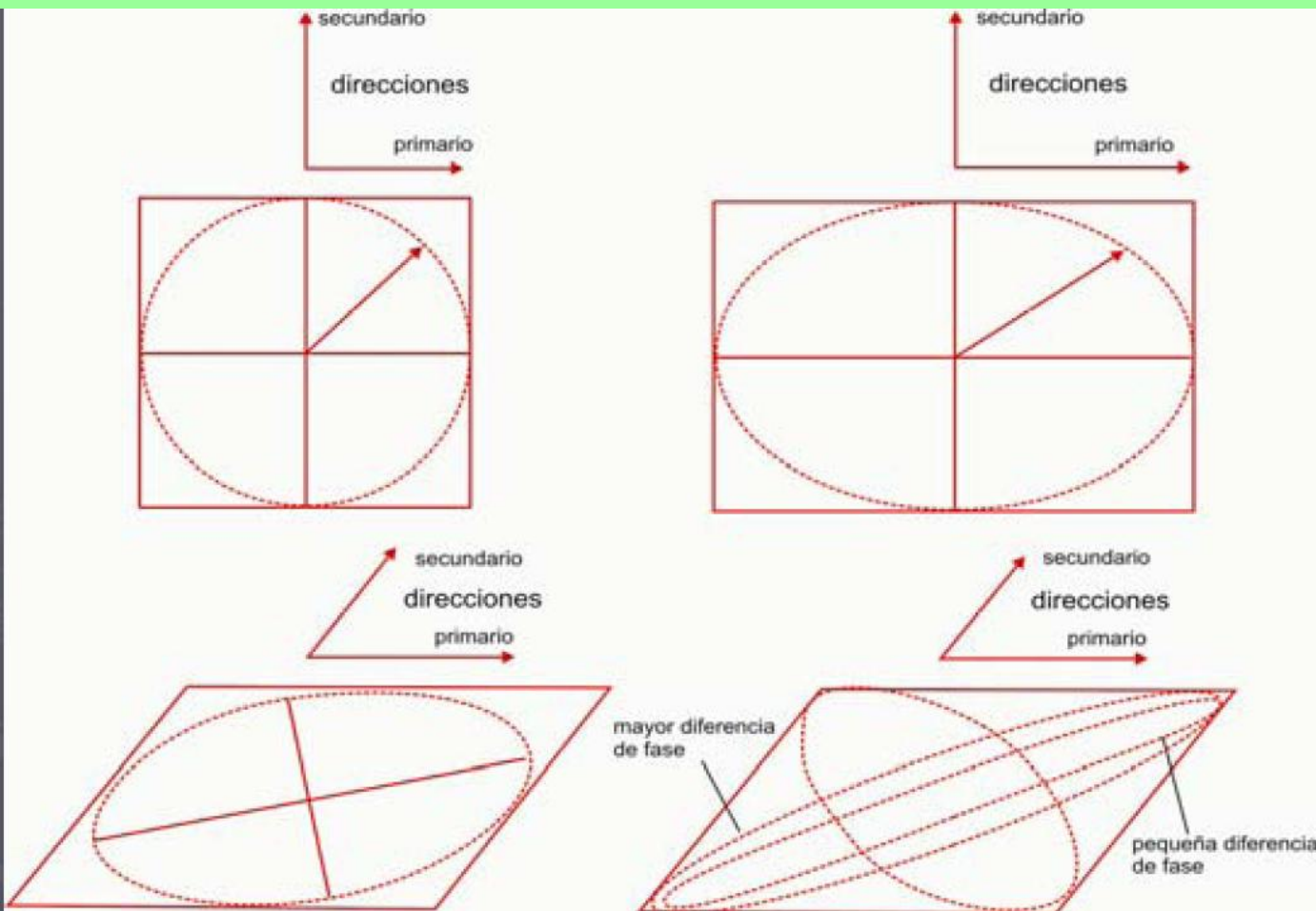
Los ejes mayor y menor de la elipse son proporcionales a los campos primario y secundario, respectivamente.



Si los dos campos tienen distinta intensidad: elipse.
Si el campo secundario no es vertical: elipse basculada.
Si la diferencia de fase es diferente a 90° cambia el ancho de la elipse y su basculamiento.

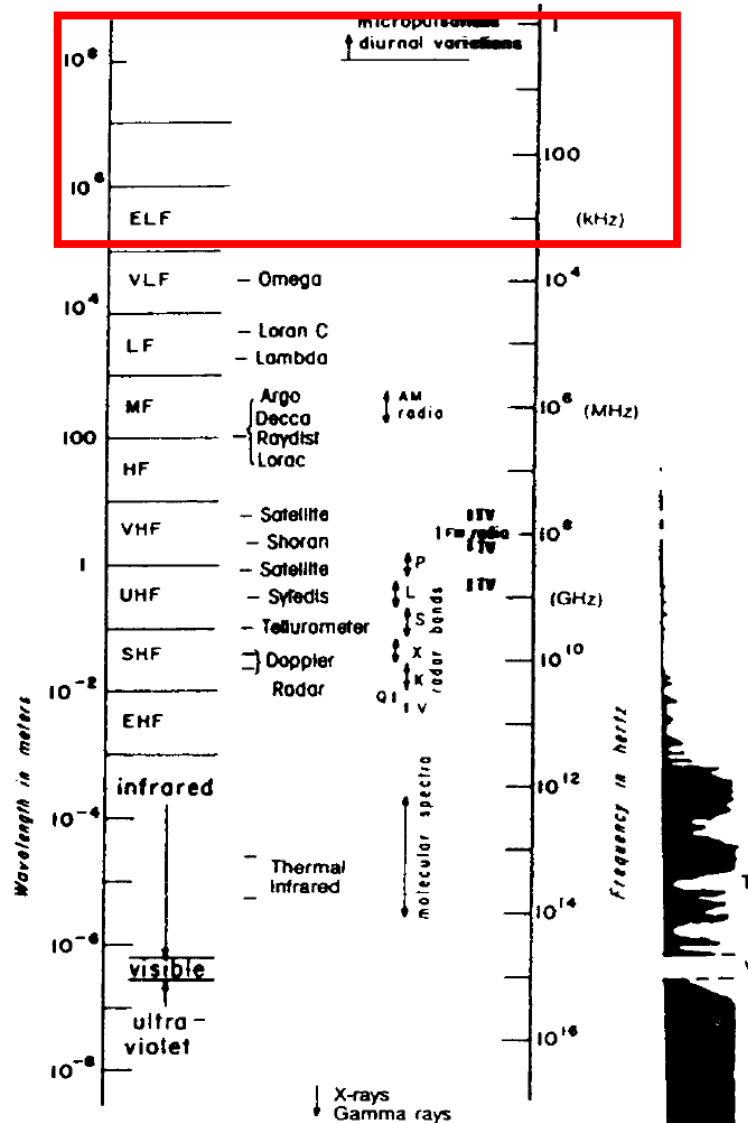
Elipse de polarización

La adición del campo secundario con una diferencia de fase genera una elipse. Si se divide el campo secundario en las componentes en fase y fuera de fase, el basculamiento de la elipse depende de la componente en fase, mientras que la relación entre los ejes mayores y menores depende de la componente fuera de fase.



VLF: cuando el instrumento esta inclinado para encontrar un mínimo, la Rx está alineada en la dirección del eje menor de la elipse. El dial de cuadratura compara las señales en las dos bobinas y da la componente en cuadratura como porcentaje.

Método pasivo Magnetotelúrico (MT)



MT (magnetotelúrico)

Frecuencias de 10-5 Hz
(un ciclo por día)
Hasta miles de Hz.

Longitudes de onda
De cientos-miles de km

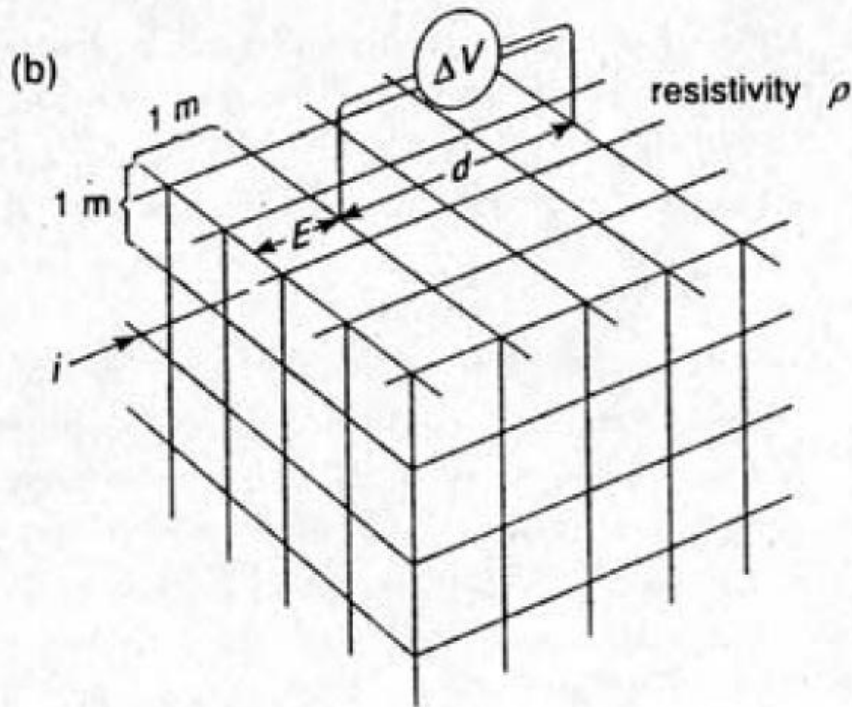
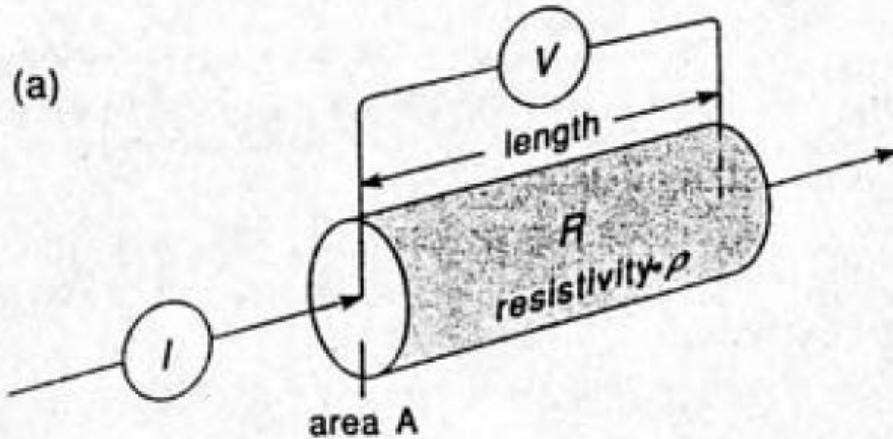
Dif. De potencial
del orden de
10 mV/km

MT – Definición

- ▶ Medición pasiva en superficie de los campos eléctrico (E) y magnético (H) naturales de la Tierra
- ▶ Mide cambios en E y H con el tiempo
- ▶ Frecuencia varía entre 10kHz a .001 Hz
- ▶ Se usa para predecir la distribución de resistividades en el subsuelo

Los campos magnetotelúricos resultarían del flujo de partículas cargadas en la ionosfera, ya que las fluctuaciones de estos campos se correlacionan con las variaciones diurnas en el campo geomagnético que son causadas por las emisiones solares. Los campos magnetotelúricos penetran en el subsuelo e inducen el flujo de corrientes telúricas.

Método pasivo Magnetotelúrico (MT)



La profundidad de penetración depende de la resistividad y de la frecuencia.

k : Constante

E : Amplitud del campo eléctrico

H : Amplitud del campo magnético

$$z = k \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

$$\rho_a = \frac{0.2 \times 10^{-6}}{f} \left(\frac{E}{H} \right)^2$$

Relevamiento MT

► Se mide diferencia de potencial utilizando electrodos (preferentemente no polarizables). Como los gradientes de potencial son aprox. 10mV/km , los electrodos se separan varios cientos de metros (para poder medir con precisión diferencias de potencial pequeñas).

► El campo magnético también es muy pequeño, milésimos de nT. Requiere instrumento muy sensible (bobina grande con muchas vueltas de cable, acoplada a un amplificador). Se usan dos pares de sensores y de bobinas a ángulos rectos porque no conocemos la dirección de las corrientes telúricas y de los campos.

Relevamiento MT

► Para relevamientos someros de pequeña escala se usan frecuencias de decenas a cientos de Hz, con estaciones separadas unas decenas de metros.

Para relevamientos más profundos, se usan las frecuencias menores, se hacen lecturas por períodos de horas, siendo a veces ocupada una sola estación por día.

► Las amplitudes y fases de distintas frecuencias se convierten en un sondeo vertical de resistividad. Sondeos repetidos a lo largo de una transecta se usan para construir una sección de resistividad. Debido a las bajas frecuencias de los campos magnetotelúricos es posible alcanzar profundidades de más de 100 km, imposibles para los otros métodos electromagnéticos.

Relevamiento MT

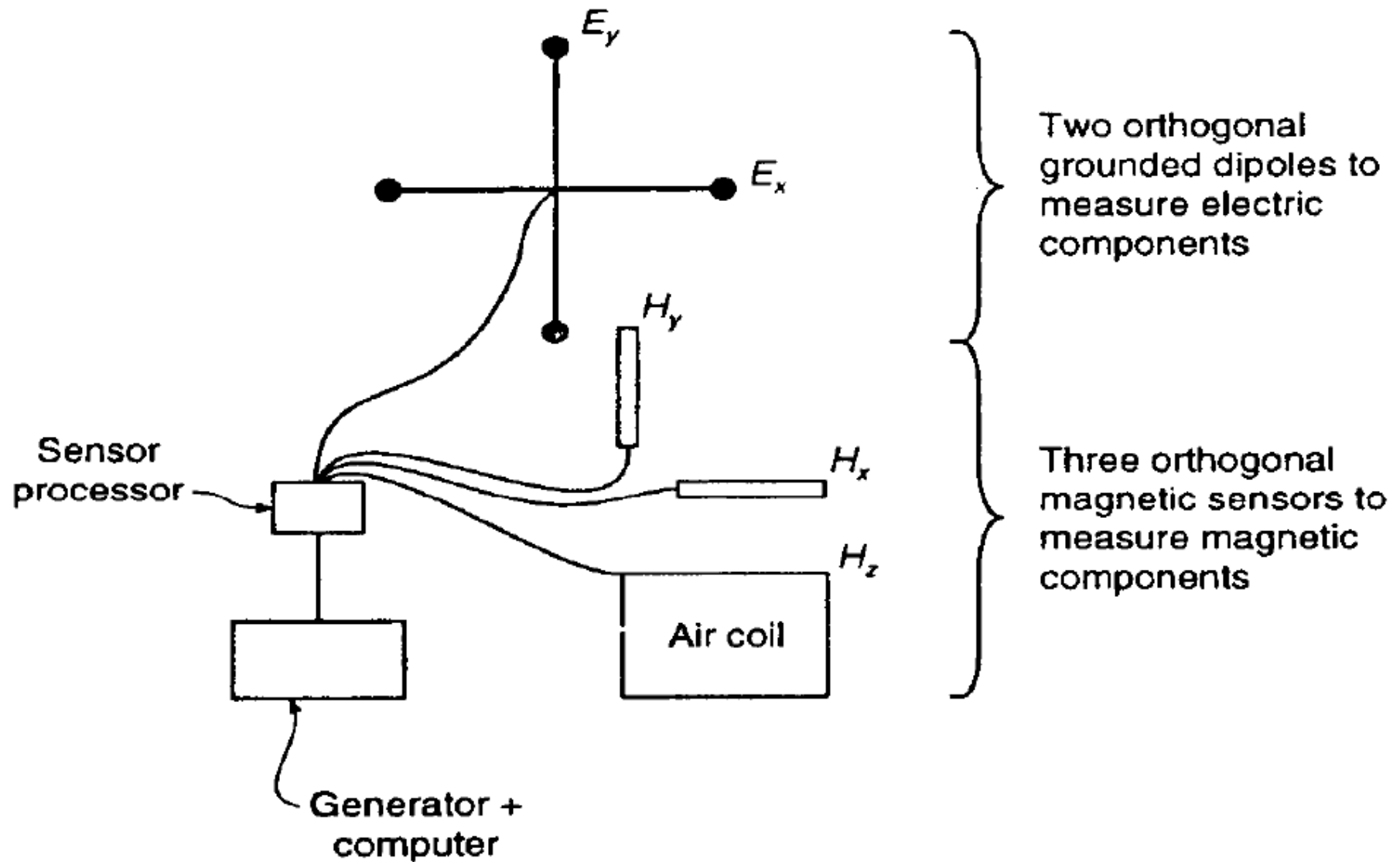




Fig. 1. Tae Jong Lee checks the operation of one MT recorder.



Fig. 2. Monash postgraduates assisting Seong Kon Lee with site preparation and recovery of an MT sensor coil.

Relevamiento MT



Relevamiento MT

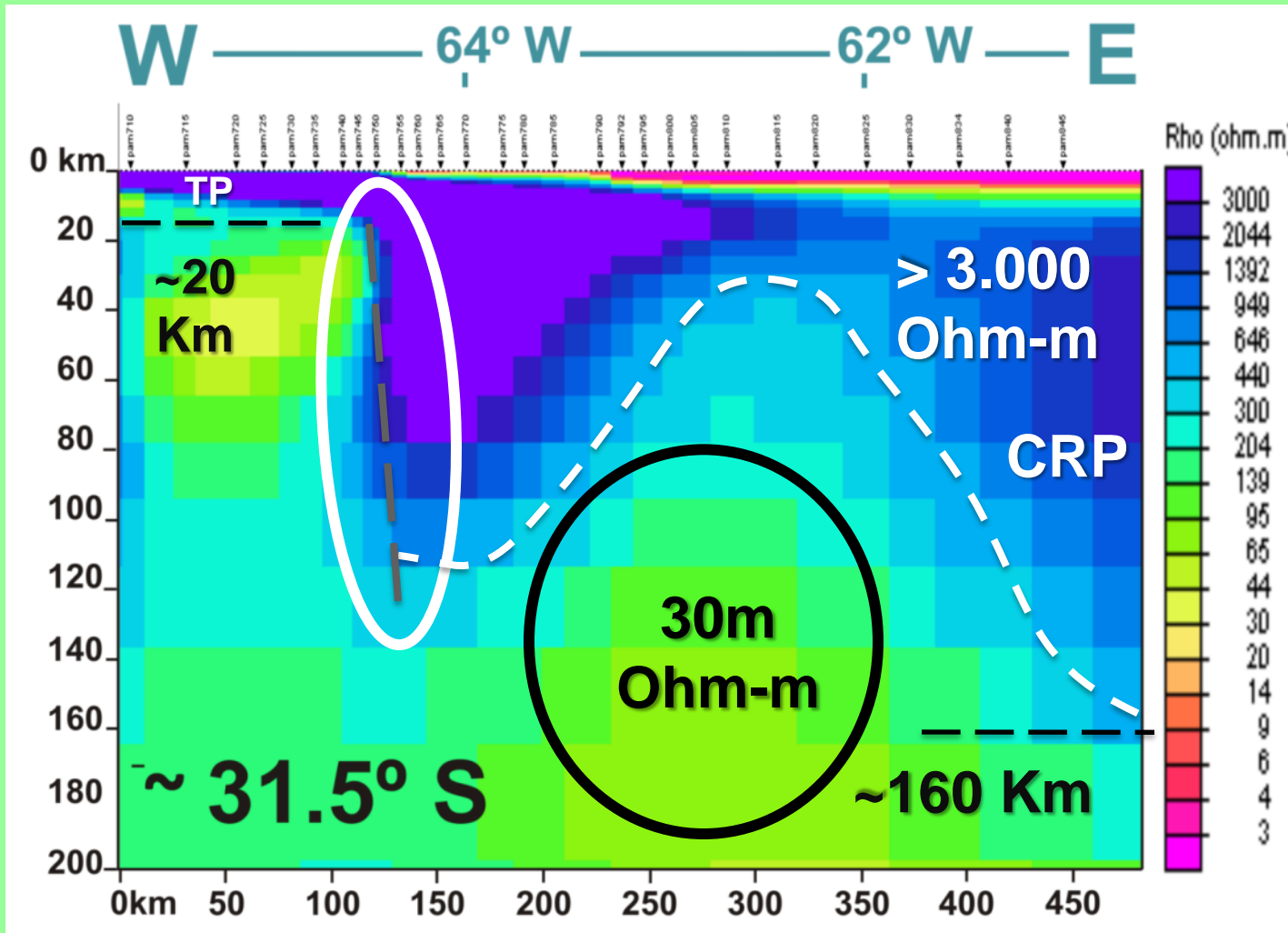
- ▶ Cinco canales en cada estación
- ▶ E_x E_y H_x H_y H_z
- ▶ Dos a cinco estaciones simultáneamente
- ▶ Sincronización GPS entre estaciones
- ▶ Ciclos de registro/tendido de 24-horas
- ▶ Procesamiento y edición en el campo

METODO MT: ADQUISICION DE DATOS

EQUIPOS



Perfil O-E - 31.5° S (Provincia de Córdoba)



Marcada discontinuidad subvertical a lo largo del borde oriental de la Sierra Chica de Córdoba

Una zona menos resistiva que alcanza una profundidad de 150–200 km

METODO MAGNETOTELURICO: CONCLUSIONES

- **Detección de propiedades eléctricas**
- **Perdida de resolución con la profundidad (frecuencia)**
- **Uso de fuente natural que permite gran penetración de detección (varios km)**
- **Mapeo de tipo regional y detalle (dependiendo de la separación dipolar)**
- **Modelamiento en imágenes de profundidad con programas de inversión de 2 y 3-D (interpretación cualitativa no es confiable)**
- **Costos de US 500-1000/km en sistemas convencionales, en sistemas de ultima generación valores alcanzan mas de US 2,000/km**