



Ministerio de Economía y Trabajo
Secretaría de Estado de Minería

LOS MÉTODOS ELECTRÓNICOS Y EL CATASTRO MINERO

Actualmente se cuenta para las mediciones topográficas, en lo que a medir distancias se refiere, de un instrumento, llamada distanciómetro, que dada su precisión y rapidez operativa está desplazando los métodos clásicos y otros aparatos como ser, la estadía de Invar.

En nuestro caso en particular nos referiremos al Tellurómetro, modelo MRA 3 Mark II, actualmente es uso en la Dirección Nacional de Geología y Minería. Se trata de un instrumento electrónico que trabaja en base a una onda radioeléctrica. En la actualidad se puede contar con otros tipos de aparatos, que funcionan unos por medio de un haz de luz que es dirigido a un conjunto de prismas y otros con un rayo Laser. Con este último instrumento se consiguió medir la distancia exacta a La Luna (previamente se colocó en nuestro satélite una pantalla reflectora).

El Tellurómetro nos permite operar en distancias que oscilan entre los 100 metros y 70 kilómetros (aproximados). Existiendo otros modelos (inclusive en los sistemas a haz luminoso y Laser) que permiten operar en distancias pequeñas.

El Tellurómetro fué utilizado por primera vez, en comisiones de la Dirección Nacional de Geología y Minería, en el valle del río Conlara-Provincias de Córdoba y San Luis-y se efectuaron trabajos en relación con el Convenio Argentino Alemán de Aguas Subterráneas.

En un primer paso se realizó apoyo fotogramétrico para la confección de la carta al 1:20.000 de la zona de influencia del plan. Se utilizó como apoyo básico la cadena de triangulación de I°, II°, II° y IV° orden del Instituto Geográfico Militar. Y en un segundo paso, siempre utilizando el Tellurómetro, se dió ubicación geográfica y nivelación a aproximadamente 360 pozos y perforaciones. Todos estos trabajos se realizaron en base a poligonales, en su mayoría de un lado.

La labor de campo en el catastro minero es muy similar a la efectuada en la zona antes mencionada. Este sistema de medición nos permite relacionar con rapidez y cierta facilidad cualquier esquinero de la mensura minera con los puntos de triangulación.

En aquellos casos donde no existen puntos de apoyo, el Tellurómetro nos permite el transporte económico de valores trigonométricos desde largas distancias, efectuando simples poligonales. De esta forma nos evita la engorrosa tarea de efectuar una cadena de triangulación, hecho que impondría un mayor esfuerzo humano y un costo más elevado, a más de prolongar considerablemente el tiempo de operación en el terreno.

Otro método a emplear, o mejor dicho que posibilita el Tellurómetro, sería la trilateración. Formando triángulos de grandes lados.



La medición de los lados de la poligonal (no interesa su magnitud) no acarrea problemas dado que el error propio del instrumento es tan pequeño que lo podemos considerar "cero". Lo que sí tiene un valor fundamental, para trabajos de precisión, son las correcciones por el factor metereológico y refracción terrestre.

Por lo tanto considerando la rapidez de la medición, que no insume en la práctica un período mayor de 20 a 30 minutos para cualquier distancia (teniendo en cuenta los 15 minutos de precalentamiento), la comprobación que se efectúa en la misma estación—dado que la lectura se realiza en forma alternada desde las dos cabecezas— y la economía que representa en hora/hombre, lo hace un instrumento ideal para aquellos trabajos que requieren varias vinculaciones simultáneas. En efecto, y volviendo a la experiencia efectuada en el valle del Conlara, desde un punto trigonométrico se ubicaron 10 puntos fotogramétricos, dándoles valores coordinados y cotas. Una estación tellurométrica permaneció en el punto trigonométrico y la otra se desplazó por toda el área.

La intercomunicación radiotelefónica, por intermedio del instrumento, entre las dos estaciones permite un trabajo perfectamente coordinado.

Si consideramos la similitud de la vinculación de pertenencias mineras con la vinculación de puntos fotogramétricos, se desprende, y repitiendo lo ya expresado, que nos encontramos ante el instrumento más adecuado para este tipo de labor.

A título de prueba y para comprobar las bondades del aparato, se efectuó una interesante comprobación, siempre nos referimos al trabajo "Valle del Conlara". Previamente se dió valores coordinados (por el método clásico de la triangulación) a un nuevo vértice. Luego se efectuaron dos poligonales tellurométricas de un lado, partiendo de dos puntos de triangulación. Es decir, se contó con tres valores, con distintos orígenes, para un mismo punto. Los resultados obtenidos pueden considerarse óptimos. El error medio no excedió del decímetro. Hay que tener en cuenta que también a título informativo, no se efectuaron mediciones metereológicas y por lo tanto no se corrigieron las distancias, hecho este que de haber sido tomado en cuenta, habría reducido el error. Los lados de las poligonales tellurométricas oscilaron entre los 10 y 12 kilómetros.

Me referiré ahora, en forma somera, a los principios y funcionamiento del instrumento que nos ocupa.

La velocidad de la onda radioeléctrica es de 299.792,5 kilómetros por segundo. En base a esta constante se desarrolla la función de los distanciómetros.

El Tellurómetro es nada más y nada menos que un transmisor y un receptor de radio. El transmisor es el encargado de emitir la onda radioeléctrica que nos permitirá en definitiva la medición de la línea. El receptor, como la palabra lo dice, recibe dicha onda y la



Ministerio de Economía y Trabajo
Secretaría de Estado de Minería

retransmite a los centros de computación del instrumento.

Para poder efectuar las mediciones son necesarios dos aparatos iguales, estación maestra y estación remota. Se requieren dos instrumentos idénticos en ambas cabeceras puesto que, una vez realizada la medición en una dirección se repite a la inversa. De esta forma nos permite contar con una comprobación inmediata de la longitud de la línea.

El instrumento en sí funciona en base a una onda radioeléctrica -onda portadora- del orden de los 10.000 Mc/s. Se llama onda portadora, porque es utilizada para transportar la modulación o información y el canal de comunicación verbal.

Esta onda portadora es transmitida desde la estación maestra a la estación remota y devuelta a la maestra. Por este motivo y por utilizar ondas portadoras de una frecuencia muy elevada (micro-ondas) ^X cuyo recorrido es tangente al globo terráqueo, es condición "sine qua non" la intervisibilidad entre las estaciones. No implica esto que en todo el recorrido de la línea no pueda haber un pequeño obstáculo, como ser bosque ralo, lloviznas, etc. Lo importante es que en los primeros 40 metros no se encuentre obstáculo alguno y de estar la estación en la cumbre de algún cerro, que la pendiente cercana al aparato disminuya en forma paulatina y no bruscamente.

El ancho del haz radioeléctrico es de 9°. Hecho este que permite una fácil ubicación de la estación remota, dado que se cuenta con un amplio sector barrido por el mencionado haz.

En la ubicación de las estaciones tellurométricas habrá que tener en cuenta la recepción de la señal de medición, es decir, que tenga el nivel más alto posible. Esto se logra con la orientación correcta del aparato con relación a la otra estación. Y también, a la reflexión del terreno a las ondas radioeléctricas. Otro dato interesante es que generalmente al efectuar mediciones sobre espejos de agua, aunque la línea pase a una altura considerable del mismo, pueden aparecer oscilaciones parásitas o erróneas provenientes de los "rebotes" de la onda ^X radioeléctrica sobre el agua (el movimiento de esta también puede influir). Estos "rebotes" suelen aparecer como oscilaciones sin control en las agujas de los instrumentos de medición del aparato.

Las condiciones meteorológicas ideales para este tipo de medición son: tiempo bueno, seco y caluroso. En cambio en días húmedos, la medición tiende a ser más exacta con temperatura fresca.

Creo interesante acotar que se llama frecuencia a la cantidad de veces que oscila (cumple un ciclo completo) por segundo una onda radioeléctrica. En el caso de la frecuencia de la onda portadora del instrumento que nos ocupa, oscila 10.000 millones de veces (ciclos) por segundo. Esta onda portadora es modulada, es decir se le agrega información, por una frecuencia llamada "patrón" y que es del orden de los 7,5 Mc/s. (es decir que oscila 7.500.000 veces por segundo). La dife-



rencia de fase entre la onda portadora modulada emitida y la recibida nos da en definitiva la distancia buscada. Es decir, que el instrumento en forma automática, compara la fase de ambas modulaciones (emitida y recibida). Esta diferencia de fase es directamente proporcional a la distancia recorrida por la onda radioeléctrica.

El aparato posee una serie de frecuencias patrones que son las componentes que conforman la cifra de la línea medida. Estas son :

Patrón A	7,492377	Mc/s.
" B	7,490879	"
" C	7,477392	"
" D	7,342529	"
" E	5,993902	"

Todas estas frecuencias corresponden a la estación maestra y difieren en 1 Kc/s. con la remota y son controladas por cristales de cuarzo.

La diferencia entre el patrón "A" y los demás patrones, que como ya se ha dicho configuran la distancia, se descomponen de la siguiente manera :

A menos B corresponde a los 100.000 metros					
A	"	C	"	"	10.000 "
A	"	D	"	"	1.000 "
A	"	E	"	"	100 "
A	"	(A-)	"	"	10 "

Las lecturas hasta el metro son llamadas "gruesas" y se efectúan dos por estación, en total cuatro. Luego, según la precisión que quiera darse al trabajo, se realizan las lecturas "finas". Que son en realidad la repetición de las diferencias del patrón "A" menos (A-). Esta diferencia se toma varias veces dentro de la gama de frecuencias que cubre el instrumento, de esta forma tendremos repeticiones de las lecturas de decímetros y centímetros, pudiendo apreciar el milímetro, y su promedio final será la medida definitiva. Además con este procedimiento, y teniendo en cuenta que la refracción del terreno varía proporcionalmente con la frecuencia, mejoraremos el error por refracción terrestre. Este aparece como diferencia del orden de los centímetros entre las mediciones. Otro de los motivos que indican tomar varias lecturas "finas" es que la diferencia de fase entre los rayos directos e indirectos dependen directamente de la frecuencia de la onda portadora.

En lo referente a la corrección meteorológica deberá tenerse en cuenta, en forma especial, el barómetro. Este debe ser del tipo aneróide y estar debidamente contrastado, pues una variación de una pulgada puede cambiar la precisión en una parte por millón



Ministerio de Economía y Trabajo
Secretaría de Estado de Minería

- 5 -

de la distancia a medir. Además deberán tomarse las temperaturas a bulbo seco y húmeda, depresión, en ambas estaciones. A saber, al finalizarla primera lectura "gruesa" y al terminar todas las mediciones. Los valores tanto del barómetro como los de los psicrómetros están especificados en pulgadas y grados Fahrenheit, respectivamente, por estar así expresados los ábacos que acompañan cada aparato. Como ejemplo se puede dar una corrección efectuada en el sur del país:

$$N = (n-1) 10^6$$

distancia medida sin corregir = 10.522,40 metros

termómetro seco = 41,5°F

termómetro húmedo = 40,00°F

presión en pulgadas = 26

constante del instrumento = 1,000325

(n-1) se obtiene del ábaco que se provee con cada aparato, utilizando los datos obtenidos con el psicrómetro y el barómetro. De lo que resulta

(n-1) = 285 y por consiguiente,

$$N = + 6,42$$

Por lo tanto la distancia inclinada o distancia electrónica resultante será igual a 10.522,82 metros.

En lo referente al error de "cero", hay que tener en cuenta que por ser las lecturas de los patrones A, B, C, D y E productos de una diferencia, están libres de los errores producidos por los cambios de fase constantes del instrumento.

El aparato cuenta con otro aditamento para evitar errores de contaminación de la señal de medida salida de la unidad maestra por la señal de medida devuelta por la remota. Se trata de una simple llave inversora que produce una inversión de fase de 180°. Se puede comparar con la lectura del círculo derecho e izquierdo en un teodolito. Lo que vulgarmente se denomina "vuelta campana".

Otro de los elementos con que cuenta el instrumento es el llamado "tono de medición". Se trata de un tono modulado de 1 Kc/s. Esto indica que la estación maestra está efectuando la medición y que las frecuencias patrones funcionan correctamente, se escucha en los auriculares de ambas estaciones. Utilizando su interrupción, como voz de mando para la estación remota.

También está equipado con luces en su tablero de control para su operación nocturna. Aunque para mediciones de precisión no se aconseja su utilización nocturna porque tiende a disminuir su efectividad, en lo que precisión se refiere.

Cuando se realizan mediciones rasantes y se presenta alguna duda sobre las condiciones meteorológicas a lo largo de la línea,



Ministerio de Economía y Trabajo
Secretaría de Estado de Minería

FOLIO

Nº 4

se pueden efectuar otras observaciones meteorológicas en el recorrido de la misma, además de las ya obtenidas en ambas estaciones tellurométricas. Cuando la trayectoria del haz o de la onda es muy elevada con respecto al suelo, no son necesarias las observaciones a lo largo de la línea por carecer de valor. Todo lo expresado en este párrafo radica solamente para medidas de larga distancia.

Cuando se está operando en zonas desérticas y llanas, pueden aparecer efectos de refracción anormales y atenuación en la onda radioeléctrica, lo que resulta un inconveniente para las mediciones de líneas extremadamente largas. Además de aconsejar lecturas cortas es conveniente montar los instrumentos sobre torres de aproximadamente 10 metros de altura. Lo que permitirá acrecentar la longitud de la línea.

El Tellurómetro, modelo MRA3, está capacitado para operar entre los 50°C y -40°C. Para cubrir este rango, los cristales correspondientes a las frecuencias patrones oscilan dentro de un horno que mantiene la temperatura constante de 65°C. El único inconveniente que se presenta al operar con temperaturas extremadamente bajas, será un mayor período de precalentamiento, siendo este del orden de los 30 minutos (aproximados).

Por último, y siempre refiriéndonos a las condiciones de operatividad en el terreno, cabe manifestar que ante la presencia de lluvias fuertes, nieve, granizo, niebla, etc., la distancia máxima a medir por el instrumento se verá considerablemente reducida.

Recapitulando lo expuesto en relación a la utilización de los distanciómetros en el catastro minero, cabe hacer constar que, de contar con varias comisiones operando en el terreno y que a su vez estas cuenten con medios de movilidad veloces (en zonas montañosas bien podría ser helicópteros) el problema de la ubicación de pertenencias mineras dejaría de existir a corto plazo.

Bs. Aires, Noviembre 19 de 1971.-

Arnaldo Mirabelli