

APLICACIONES DE LA GEOFISICA AL ESTUDIO DE LOS REVESTIMIENTOS E INYECCIONES EN LOS TUNELES

Por ANGEL GARCIA YAGÜE

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.
Servicio Geológico de Obras Públicas.

Estudia el autor, en el presente artículo, la posibilidad de aplicar los métodos eléctricos resistivos para conocer el estado de los revestimientos de un túnel y llevar el control de las inyecciones en los mismos, como él mismo destaca en su comentario final.

I. Introducción.

Los estudios de prospección geofísica se han desarrollado de modo extraordinario, impulsados principalmente por los grandes medios económicos que en el mundo se movilizan para la investigación del petróleo. Sin embargo, su aplicación a la Ingeniería Civil no ha alcanzado un nivel comparable.

Creemos que la relativamente poca importancia de las inversiones destinadas a la investigación del terreno por parte de la Ingeniería Civil, su gran dispersión y su variedad de problemas, ha retrasado su aplicación intensiva. En el presente no son muchas las compañías que abordan con regularidad estos problemas y, por tanto, no poseen la gran experiencia ya conseguida en otros campos de la aplicación de la prospección geofísica.

Esta comunicación presenta solamente un limitado, pero interesante campo de aplicación, donde sin necesidad de resolver grandes problemas teóricos ni de utilizar equipos especiales, pueden realizarse estudios, cuyos resultados son apreciados por los técnicos dedicados a la construcción y conservación de túneles.

Demuestra que el campo de aplicación de la prospección geofísica en los dominios de la Ingeniería Civil es muy amplio y que, pese a lo mucho realizado, aún está prácticamente sin desarrollar.

El Servicio Geológico del Ministerio de Obras Públicas se fundó hace ya cuarenta años. Desde un principio su misión ha consistido en estudiar los problemas que el terreno presenta a las grandes obras de ingeniería. Estudia el conjunto obra terreno, facilitando al Ingeniero encargado del proyecto o construcción un asesoramiento sobre esta materia.

En dicho Servicio existe una Sección de Geofísica, creada hace unos cuatro años, que trabaja en total unión con los sondeos mecánicos, con los que aborda simultáneamente los reconocimientos del terreno en la proporción que pide cada caso concreto. También se realizan estudios sobre nuevas aplicaciones prácticas de los métodos geofísicos, de los que presentamos en este artículo dos un poco singulares, realizados en túneles ya revestidos, donde era necesario realizar obras complementarias.

II. Estudio del revestimiento de un túnel.

En un importante túnel del ferrocarril de doble circulación construido en el norte de España se observó, hace ya unos cuatro años, importantes destrucciones en el revestimiento.

El Servicio Geológico del Ministerio de Obras Públicas fue encargado de estudiar el problema y proponer soluciones que salvaran la existencia de este importante túnel, de unos cuatro kilómetros de longitud.

La estructura geológica del macizo que atravesaba era sumamente compleja. En él se localizaron terrenos carboníferos, devónicos, pérmicos y cretácicos, aparte de los recubrimientos cuaternarios en ambas entradas. Los sondeos y datos de obra permitieron conocer la distribución de los diferentes terrenos, complicada por una serie de pliegues y fallas.

Los terrenos pérmicos estaban constituidos por areniscas con yesos de segunda formación, que rellenaban sus abundantes fisuras y fracturas. El agua infiltrada en el terreno se cargaba de yeso y atacaba el hormigón del revestimiento, ataque que en muchas zonas del túnel presentaba un proceso de evolución muy adelantado. Por otra parte, existía la sospecha de que durante la construcción se hubiera empleado árido contaminado de yeso, ya que las zonas descompuestas no siempre coincidían con las que sugería el perfil geológico de su trazado.

Entre otras finalidades, el reconocimiento realizado pretendía conocer en qué zonas era preciso reponer el revestimiento, en cuáles era suficiente un refuerzo a base de inyecciones, y dónde, por fin, podía prescindirse de obras complementarias.

La inspección visual del túnel no era suficiente, pues el hormigón del revestimiento podía estar descompuesto en su contacto con el terreno o trasdós. La toma de muestras suponía un trabajo excesivo o dudosas conclusiones en los estudios de laboratorio si se simplificaban.

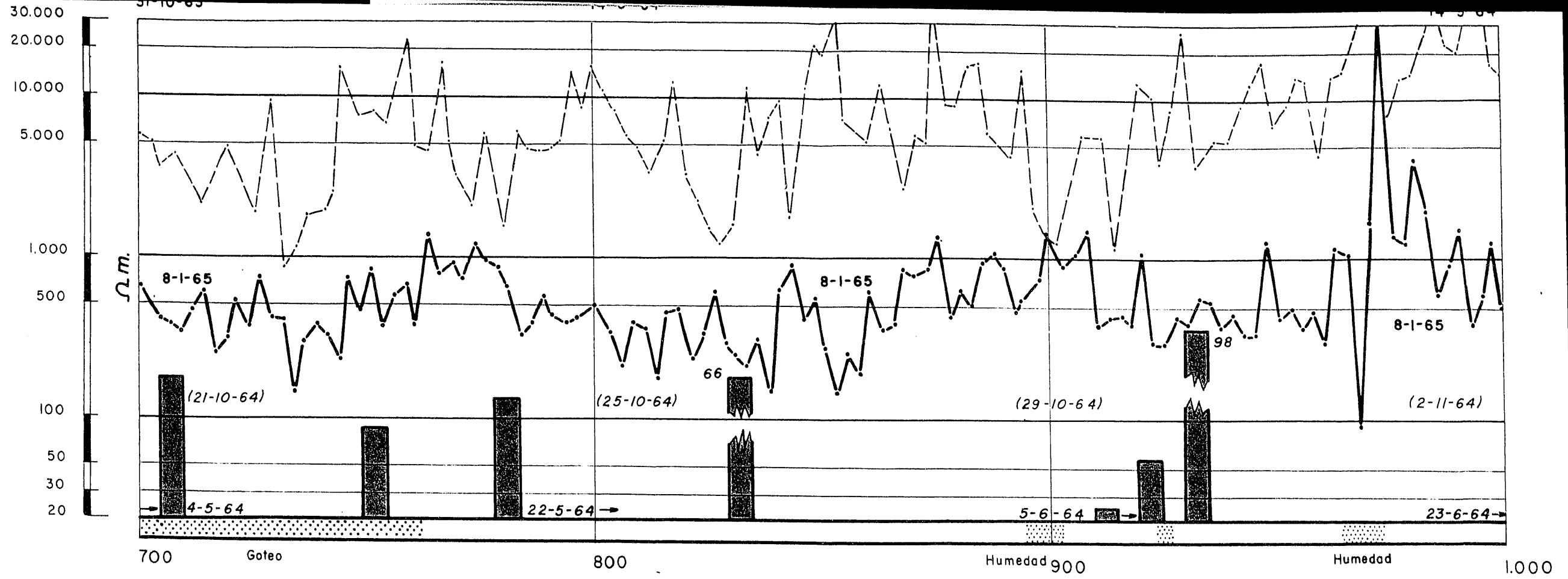
Por todas estas razones se pensó en utilizar, y así se hizo, un método de estudio eléctrico resistivo, cuyo resultado fue superior a lo esperado.

El túnel tenía un revestimiento de hormigón con espesor mínimo de ochenta centímetros. Ello permitía obtener medidas de la resistividad del hormigón que no fuesen afectadas en la práctica por el terreno. Para poder controlar los resultados se hicieron dos series de medidas en los hastiales, utilizando dispositivo Wenner con líneas de emisión de 1,5 m. y 0,6 m., y cada 10 m.

En la figura 1.^a presentamos un tramo del túnel. En ella hemos representado en el centro su sección esquemática, señalando las zonas húmedas o en las que se apreciaba externamente una descomposición del hormigón por el ataque del yeso disuelto, determinadas en el momento del estudio. Debajo, y coincidente con la solera, la naturaleza del terreno, deducida de los datos de obra y de los sondeos realizados.

Debajo, y también en el centro, las distancias en kilómetros del túnel, que no coinciden con el kilometraje oficial, ya que se dispusieron independientemente señales fácilmente identificables para el estudio realizado. Las referencias kilométricas y hectométricas cruzan verticalmente el gráfico.

En la mitad superior se han dibujado las resistividades obtenidas con líneas de emisión de 1,5 m., que suponemos, a efectos simplificadorios, corresponden a la resistividad del hormigón hasta una profundidad de 50 cm. Debajo, las resistividades correspondientes a líneas de emisión de 60 cm., con profundidades de 20 cm.



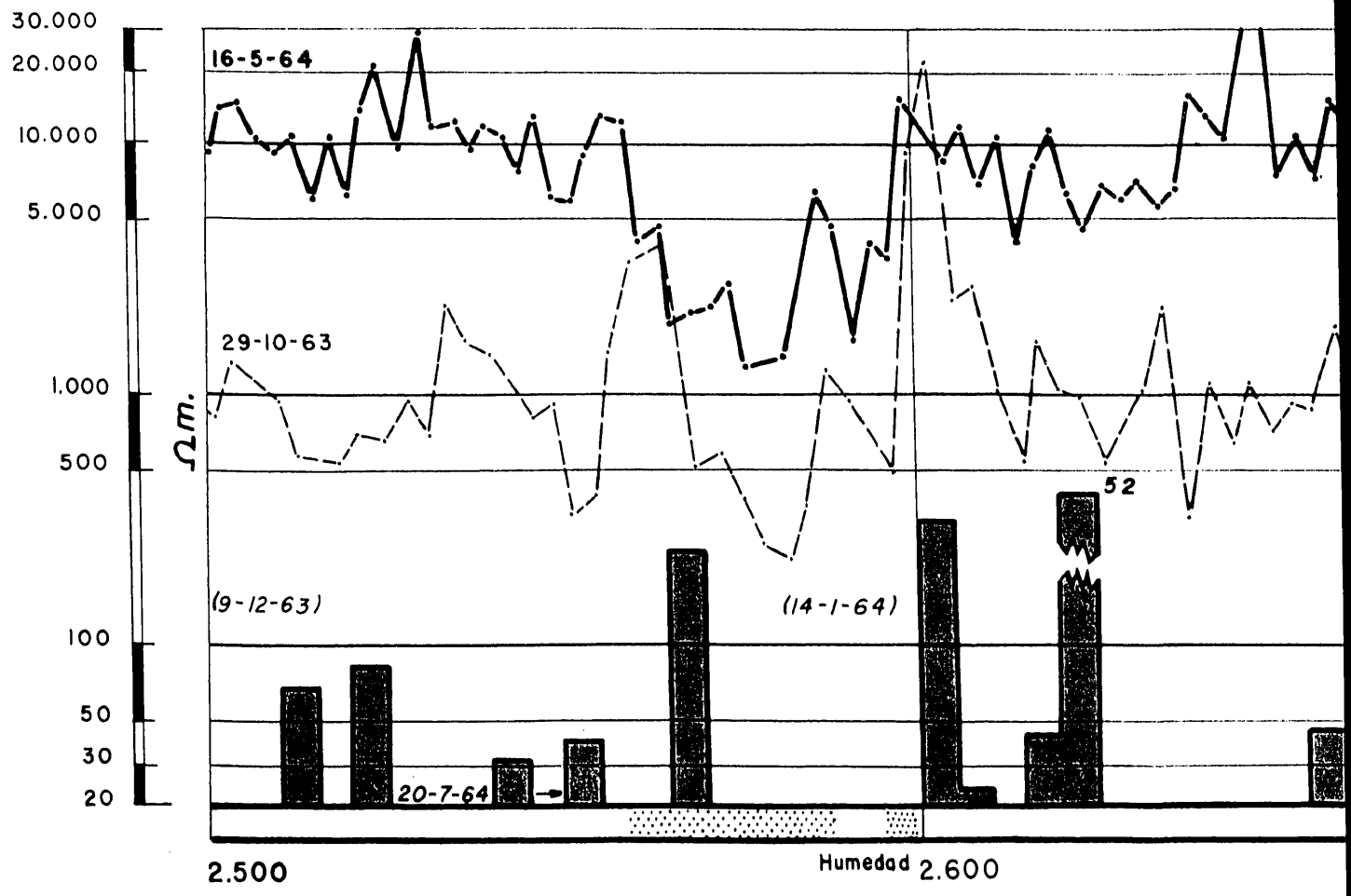
C a l i z a s

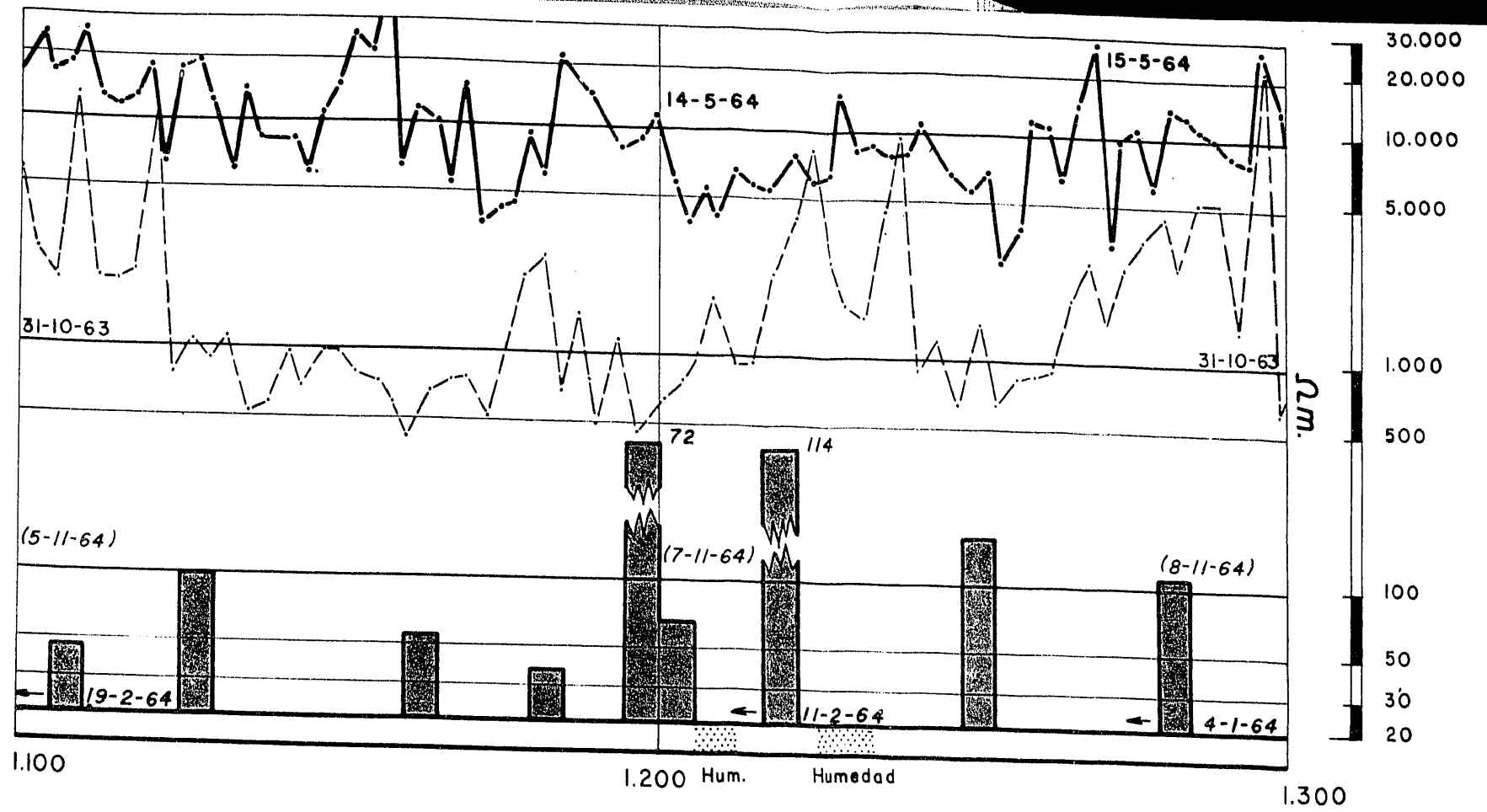
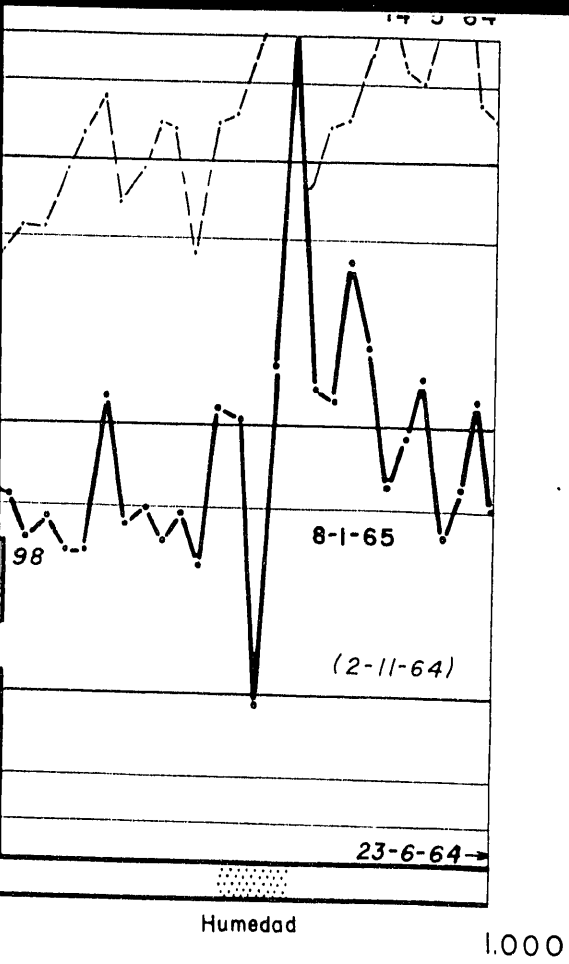
— TUNEL INYECTADO
 - - - " SIN INYECTAR

 ADMISIONES (Escala: 1cm. vertical = 10 Tm. de cemento)

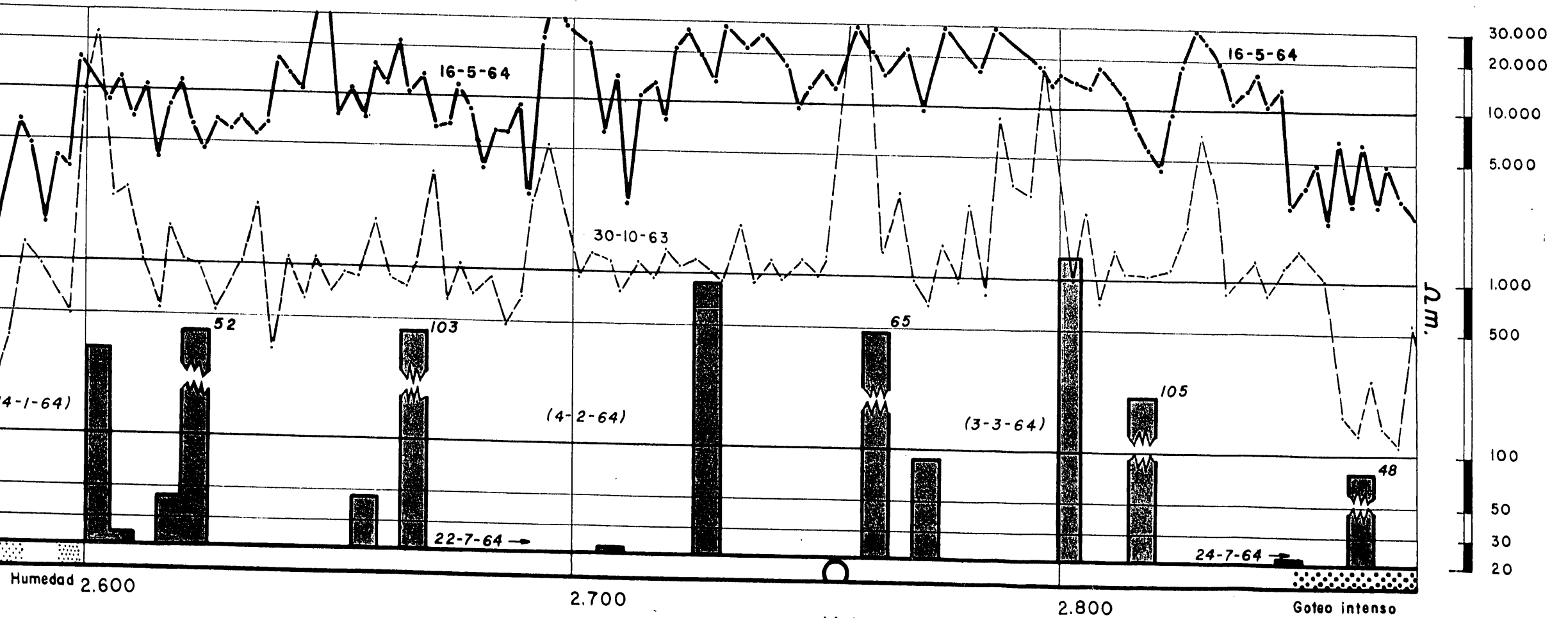
Espesor Revestimiento del tunel:
 0,8 teórico ; 1,20 máximo.

Figura 2.*





C a l i z a s



C a l i z a s

V-I

pero mucho más pequeñas y despreciables a efectos del estudio, por lo que no se han dibujado.

En el primer tramo del túnel dibujado, entre los 700 y 1 000 m., la curva de resistividades antes de la inyección presenta valores superiores a los 1 000 ohmios metro, en general más elevados en las zonas sin humedad. La dispersión de las medidas no corresponden a errores, pues mediciones efectuadas cada 0,5 m., entre dos previamente realizadas, enlazaban aquéllas, dando una mayor continuidad a la curva obtenida. La resistividad obtenida después de la inyección fue menor, presentando también una mayor uniformidad. En este tramo existen dos zonas donde la inyección tuvo poco efecto. La primera a los 900 m. y la segunda a los 970. Son zonas donde debió repetirse la inyección, especialmente en la segunda, ya que en ella la curva de resistividad obtenida era demasiado alta.

En el segundo tramo encontramos que las resistividades obtenidas después de las inyecciones son más elevadas, lo que está de acuerdo con la experiencia que poseíamos anteriormente. La explicación de la anomalía encontrada en el primer tramo está ligada a un cambio en la naturaleza del árido, ya que la arena empleada para el mortero fue en una época, arena de playa, y en otra, de río.

En dichos tramos se ve que sólo existen puntos aislados a los 1 110, 1 120, 1 225, 1 238, y 1 295, donde las medidas indican no se han producido cambios en el revestimiento y zona próxima después de las inyecciones. Como las resistividades finales son altas, al igual que en todo el tramo, concluimos no era necesario insistir con las inyecciones.

En el tercer tramo encontramos la misma disposición que en el segundo. Era sospechosa la zona entre los 2 560 y 2 600. La resistividad final es menor que en el resto y se aproxima a la previa a las inyecciones, por tanto se recomendó inyectar de nuevo esta zona, como así se hizo. Al final del tramo sucedía algo parecido, pero aquí se notaba un incremento claro en la resistividad y, por tanto, no fue necesario insistir.

El estudio de todo el túnel nos llevó a la conclusión de que solamente en un 3 por 100 de su longitud existían dudas sobre los efectos de las inyecciones. Zonas que fueron reinyectadas antes de dar por terminado el trabajo.

El siguiente paso en nuestros estudios fue examinar si existía una relación entre las áreas determinadas por las curvas de las resistividades obtenidas y los volúmenes de cemento inyectados. Para ello se seleccionaron un conjunto de 13 tramos, con un total de 1 022 m. de túnel, donde existían mayores probabilidades de asignar a cada tramo el volumen de cemento realmente en él depositado. Medimos las áreas determinadas en estos tramos y el cemento en ellos inyectados, construyendo el gráfico de la figura 3.^a De él podemos deducir que aproximadamente las admisiones de cemento pueden expresarse por la fórmula:

$$A = 0,24 \cdot S \cdot 10^{-3} - 36,2.$$

A = admisiones en toneladas de cemento.

S = área determinada por las curvas expresadas en ohmios \times metro \times metro.

La fórmula sólo es válida para $S > 200 \cdot 10^3 \Omega \text{ m.}^2$.

La dispersión que se observa en el gráfico es aceptable, máxime si se tiene en cuenta la naturaleza de la roca que atravesaba el túnel, donde existían localmente

fenómenos cársticos, de gran influencia a efectos de las admisiones, pero que pudiera ser escasa en la zona controlada por las medidas eléctricas, inmediata al revestimiento del túnel.

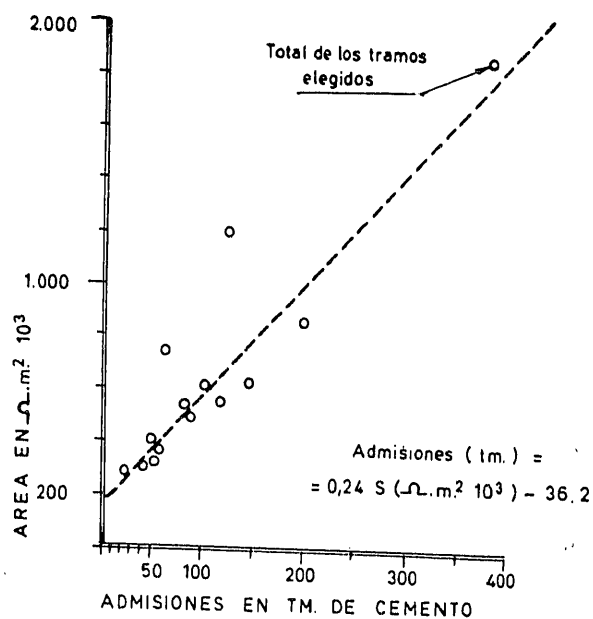


Figura 3.^a

IV. Comentario final.

Sólo tratábamos con estos ensayos ver si se podía utilizar el método eléctrico resistivo para el estudio del revestimiento de los túneles y del efecto y control de las inyecciones. Con todas las reservas que un primer estudio merece, concluimos que:

- 1.º Es posible el estudio del estado de los revestimientos de un túnel por medio de los métodos eléctricos resistivos.
- 2.º Es posible y aconsejable el control de las inyecciones por los mismos métodos.
- 3.º Existen buenas perspectivas en cuanto a la posibilidad de predecir aproximadamente el volumen total de las inyecciones necesarias en un túnel.