

# ENSAYOS DE TORRES METALICAS PARA LINEAS ELECTRICAS DE TRANSPORTE

Por MARIANO FERNANDEZ BOLLO,  
Ingeniero de Caminos.

*Describe el autor, en este interesante artículo, tres tipos de ensayo de tan importantes elementos en las líneas eléctricas, que se emplean actualmente y que permiten obtener importantes economías tanto en proyecto como en la conservación de las líneas.*

## Introducción.

El ensayo de las torres metálicas de líneas eléctricas de transporte de energía es una práctica normal, a causa de la elevada inversión que representa su construcción y la gran importancia económica de una avería durante la explotación.

Existen métodos de cálculo para el proyecto de estas estructuras, que pueden considerarse satisfactorios cuando no se trata de torres de gran importancia, en las cuales existen anillos rígidos de distribución de esfuerzos y otros elementos hiperestáticos sometidos a cargas importantes.

Cuando se trata de proyectar una torre de cualquiera de los tipos indicados en las figuras adjuntas, las hipótesis de distribución de esfuerzos no siempre se cumplen. Por otra parte, el proceso constructivo, con soldaduras en unos puntos y tornillos en otros, y con cimentaciones más o menos rígidas, también puede intervenir dando diferencias notables entre los esfuerzos medidos en los ensayos y los teóricos de cálculo.

De aquí el interés de los ensayos reales en torres que se realizan desde hace años y que han podido mejorarse considerablemente con los métodos implantados desde 1940 en la técnica aeronáutica. Especialmente interesante es el empleo de los extensómetros de hilo resistivo y de los inductivos, así como el de los excitadores de vibraciones.

Para dar idea del interés económico de estos estudios, puede considerarse el coste de una línea de alta tensión.

Las líneas a 220 000 V. construidas por Saltos del Sil, S. A., con los postes ensayados de la figura 1.<sup>a</sup>, totalizan 570 Km., que han de prolongarse en el futuro. El acero empleado representa unas 13 000 toneladas en 1 800 torres.

Una economía del 10 por 100 representa 1 300 toneladas de acero, y es fácil que una torre sometida a ensayos suficientes pueda reducirse en esta proporción con respecto a una no ensayada con la misma o mayor garantía de seguridad.

Si se considera como resultado de los ensayos esta garantía, aumenta su interés, ya que la caída

de una torre con interrupción de la línea, representa fácilmente pérdidas del orden de 500 000 pesetas diarias, y si éste accidente se debiese a un defecto de proyecto en las torres, se repetiría periódicamente.

Casi siempre se han ensayado los prototipos de torre antes de construir líneas de cierta importancia.

## 1. Disposición de un ensayo.

La estructura se somete a esfuerzos por medio de cables que actúan en tres direcciones (fig. 2.<sup>a</sup>) y que pueden ser extendidos con pesos, actuando para los horizontales con poleas de reenvío, o con cabrestantes o diferenciales en las que se disponga de un dinamómetro de control.

De estos diferentes sistemas parece más satisfactorio el de los pesos sobre plataformas suspendidas, que suele dar suficientes garantías de exactitud. Medidas con dinamómetros mecánicos o utilizando polipastos multiplicadores han mostrado, al controlarlas con extensómetros eléctricos, diferencias de hasta 30 por 100 con la realidad, debidos a rozamientos y alargamientos desiguales de los cables del polipasto.

Se hacen casi siempre una serie de hipótesis de carga. Para las fuerzas A (verticales) se considera el peso de los conductores incrementado, si ha lugar, por el hielo que pueda formarse sobre ellos y, a veces, por el de otros vanos si se supone rotura de algunas cadenas en vanos cortos. Para las B se puede unir al empuje del viento sobre el conductor una fuerza de momento equivalente al producido sobre la torre por la misma causa. Con vientos de gran velocidad son muy importantes (2 a 4 Tn., por ejemplo).

En las C se considera el esfuerzo asimétrico al romperse un conductor más o menos sobrecargado. Producen un momento de torsión sobre el eje vertical, que es muy desfavorable para la estructura y pueden ser, como orden de ideas, de hasta 4 ó 6 Tn.

Generalmente se completan los ensayos con uno de rotura por torsión, combinada o no con las A y B, aumentándose los esfuerzos hasta alcanzar el pandeo de la torre.

Durante los ensayos se efectúan observaciones de deformaciones generales de la rigidez de la torre y de las deformaciones y tensiones en las barras.

## 2. Observación de las deformaciones generales.

Se observan sistemáticamente algunos puntos fijos de la estructura, en los que se suelen disponer miras ópticas especiales que permiten definir el punto y su movimiento.

En unos casos la observación se hace con teodolito y en otros con registradores mecánicos o fotográficos.

El conocimiento de las deformaciones y su comparación con las previsibles según el cálculo, permite una apreciación de su validez, y en ciertos casos, si

se observan bastantes puntos, del ajuste general a las hipótesis básicas. Como idea, sobre la torre de la figura 2.<sup>a</sup> se pueden observar *P*, *Q* y *R*.

Las deformaciones verticales se pueden hacer con flexímetros de hilo tenso, registradores o no.

La colocación de los registradores fotográficos o mecánicos es más costosa, ya que precisan de una referencia relativamente próxima al punto observado. Pueden utilizarse torres auxiliares suficientemente rígidas.

## 3. Estudio de la rigidez del conjunto.

La ejecución de bastantes ensayos puso de manifiesto irregularidades de funcionamiento debidas, con frecuencia, a defectos en el montaje de las torres

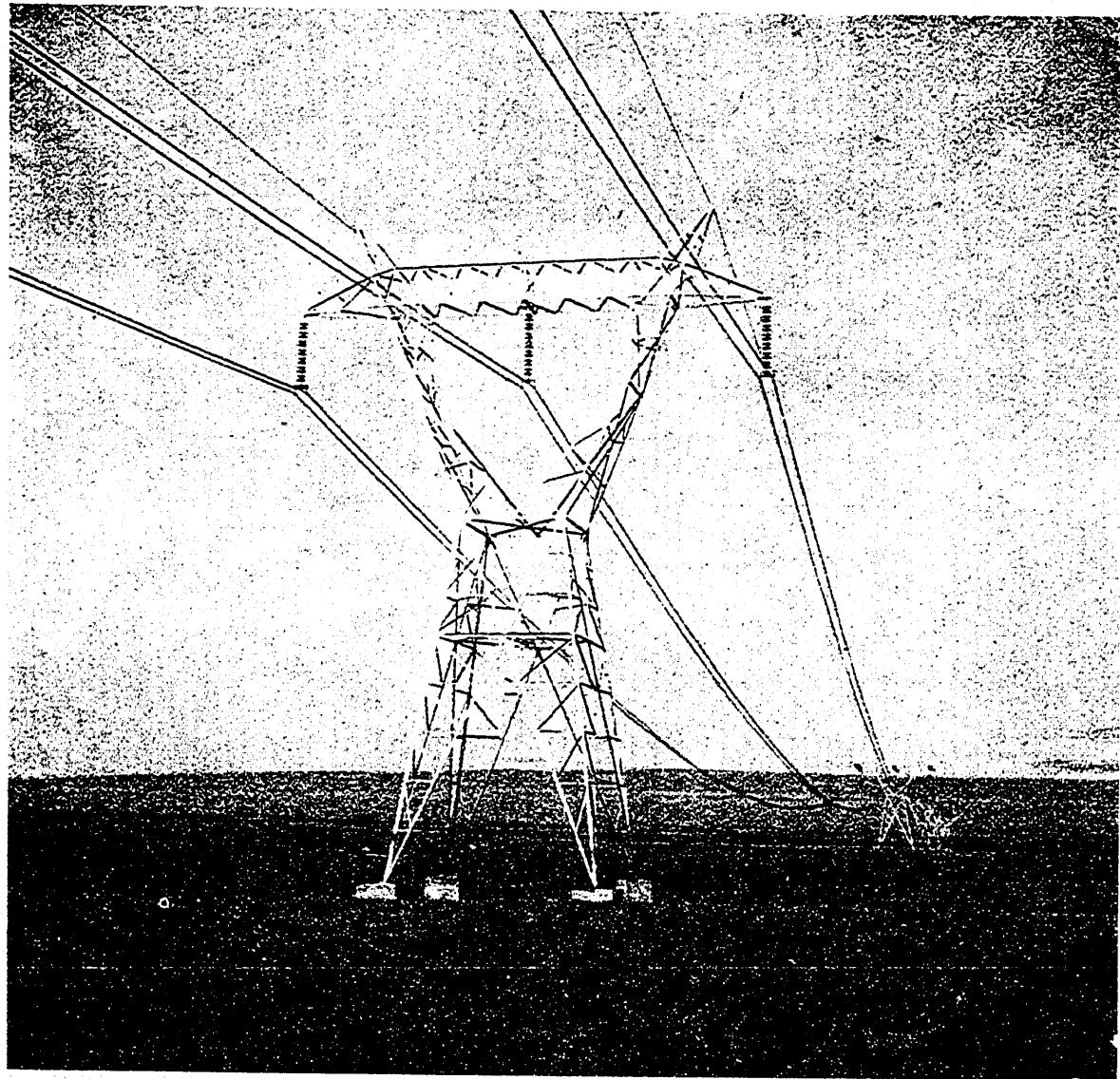


Fig. 1.<sup>a</sup> — Torre de alineación 220 KV. de las líneas de Saltos del Sil, S. A., construida por S.E.M.I.S.A.

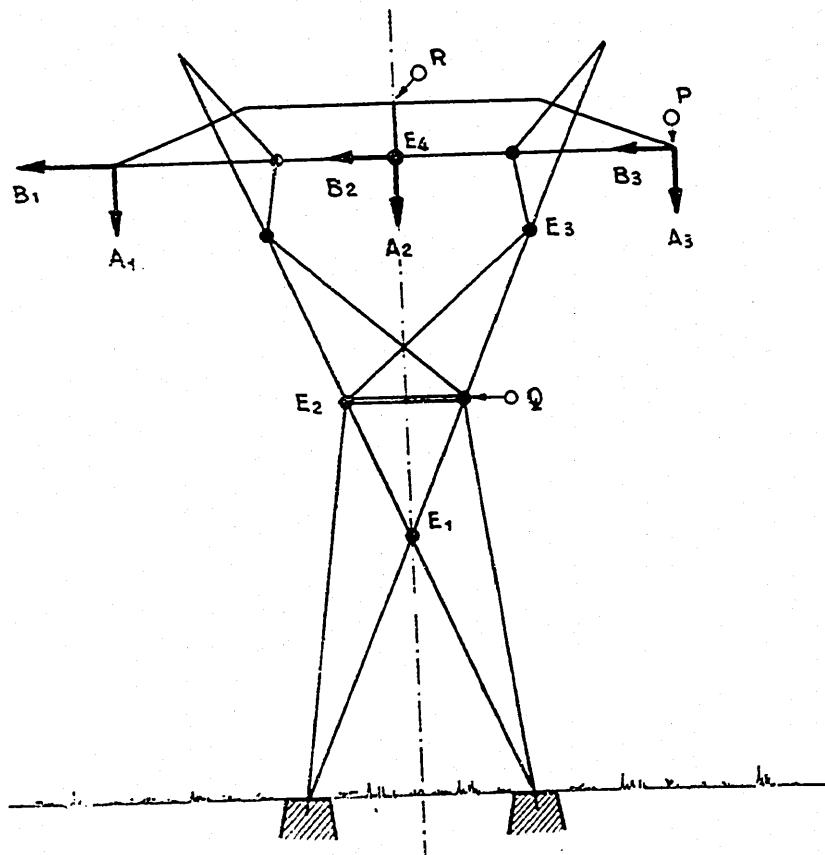


Fig. 2.<sup>a</sup> — Disposición de ensayo de una torre.

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>. — Esfuerzos debidos al peso de los conductores y del hielo sobre los mismos.  
 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>. — Esfuerzos debidos a la acción del viento.  
 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>. — Tracciones por rotura del conductor.

prototipo. Pueden ser debidas a orificios ovalados, tornillos de diámetro escaso o mal apretarlos y piezas forzadas enderezadas con medios de fortuna.

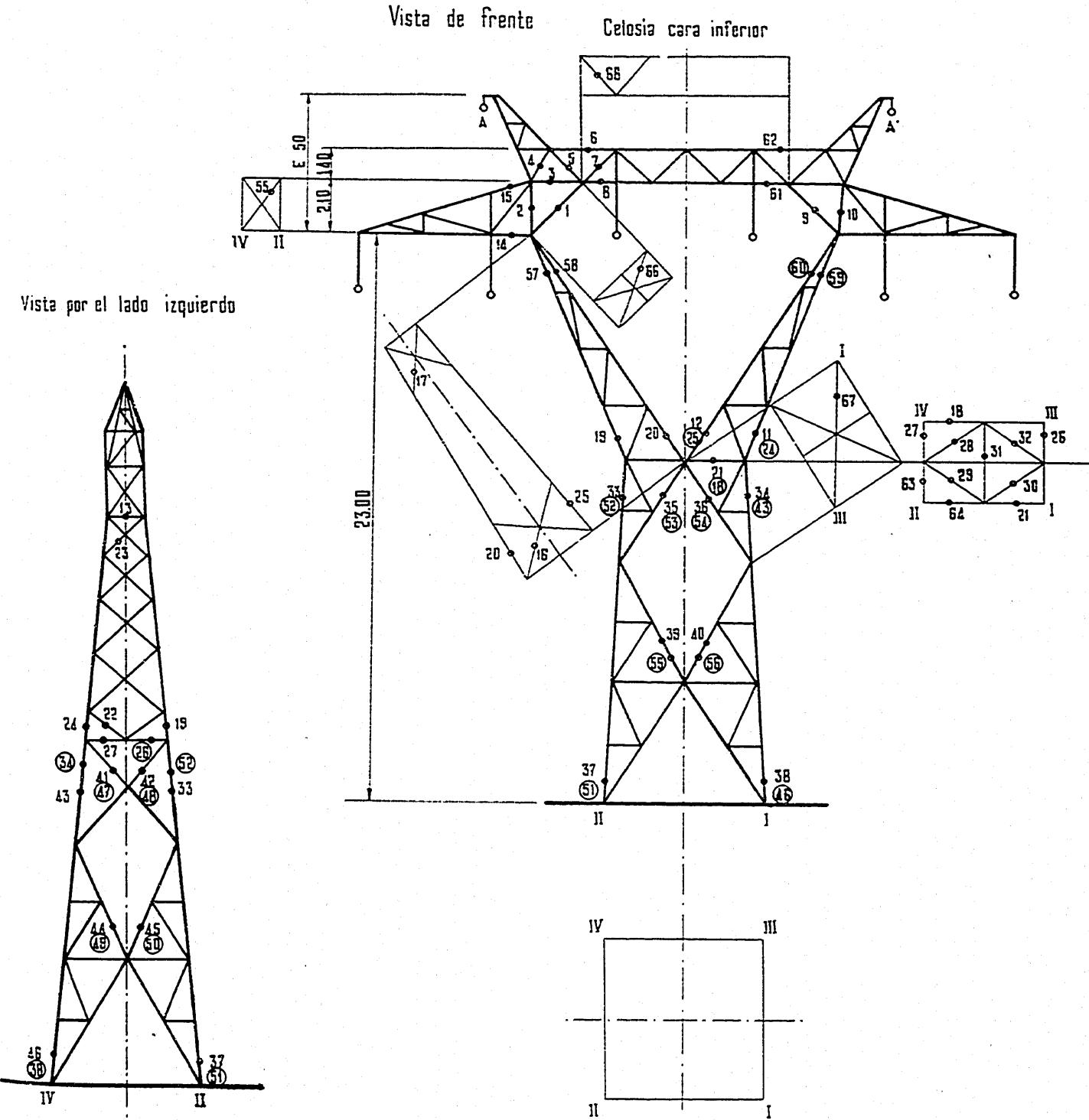
Aunque no suelen encontrarse estos defectos en las torres de líneas normales, el interés de un control rápido es evidente.

En parte puede considerarse como tal el estudio de las deformaciones generales, pero es difícil de

realizar sobre el terreno sistemáticamente un método rápido, y suficiente en muchos casos es el estudio de la rigidez (1).

Para ello se hace vibrar la estructura con un generador de frecuencia variable y un motor de tipo análogo al empleado en los ensayos dinámicos aeronáuticos.

(1) Método propio (S.R.T.).



#### 4. Determinación de las tensiones en las barras.

Pueden emplearse captores situados sobre las barras, sea del tipo extensómetro de hilo resistivo pegado (1) o sea del tipo inductivo. En la práctica, sólo hemos empleado los primeros por su mayor robustez, facilidad de instalación y economía. Para ello hemos creado y construido un tipo de extensómetro muy resistente a la intemperie (2) y formado personal en la técnica, relativamente delicada, de su empleo.

Los equipos de medida deben ser capaces de efectuar determinaciones sobre 50 a 100 barras, ya que solamente en ensayos excepcionalmente poco importantes, se limitan a 20 ó 30 puntos de medida. Es preciso colocar compensadores de temperatura, cuya variación brusca es una de las dificultades prácticas importantes en estos ensayos.

La sensibilidad de medida necesaria es del orden de 3 a 5 veces la que se deseé obtener en los resultados finales, y para asegurar la validez del ensayo conviene comprobar las medidas con cargas débiles tres veces.

La calidad de los conductores que forman las líneas de enlace de los extensómetros con la estación de medida es muy importante, así como su protección y fijación.

Inicialmente conviene aplicar una hipótesis de carga media que pueda poner de manifiesto alguna irregularidad que pudiese existir.

Es importante no efectuar ensayos con cargas fuertes hasta después de terminar con los de las más débiles y repetir éstos después para comprobar las variaciones o deformaciones permanentes del estado resistente.

(1) Ver "Un tipo de elongámetro eléctrico de hilo resistente para materiales heterogéneos", trabajo presentado con el núm. 70 al II Congreso Nacional de Ingeniería.

(2) Patente núm. 182 223.

Una vez producido el pandeo de algún elemento, es indispensable, para realizar nuevos ensayos que tengan garantía de validez, desmontar todas las barras de la parte de la torre próxima cuyas cargas pasen de los valores normales medios y sustituirlas por otras nuevas, no tratando de aprovecharlas enderezándolas o forzándolas.

Hemos ensayado los prototipos de las torres de la figura 1.<sup>a</sup>, en 1952, para Saltos del Sil, S. A., y posteriormente torres de Iberduero, S. A. (la más alta estudiada) (fig. 3.<sup>a</sup>); de Hidroeléctrica Española, S. A., en 1955 (fig. 4.<sup>a</sup>); de Hidroeléctrica Moncabril (fig. 5.<sup>a</sup>), en 1956, y de Hidroeléctrica del Tajo, S. A., en 1957.

Sobre las figura 3.<sup>a</sup> y 5.<sup>a</sup> se indican los emplazamientos de los captores, y en la 4.<sup>a</sup> el proceso operativo de fijación y colocación del extensómetro y líneas.

#### Resumen final.

He indicado sucintamente tres tipos de ensayo de finalidades distintas. El primero, deformaciones generales, permite una comprobación de la estructura y le da la seguridad indispensable sobre su resistencia. Se aplica, prácticamente, por todos los constructores de líneas.

El segundo, apenas iniciado en este momento

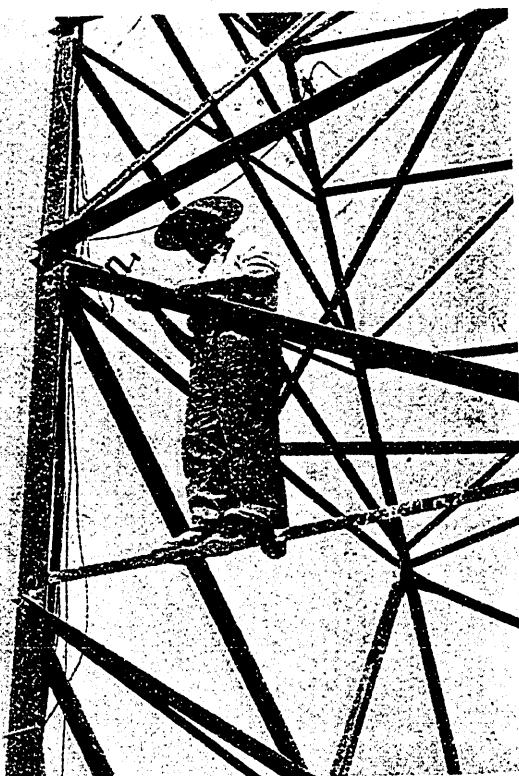
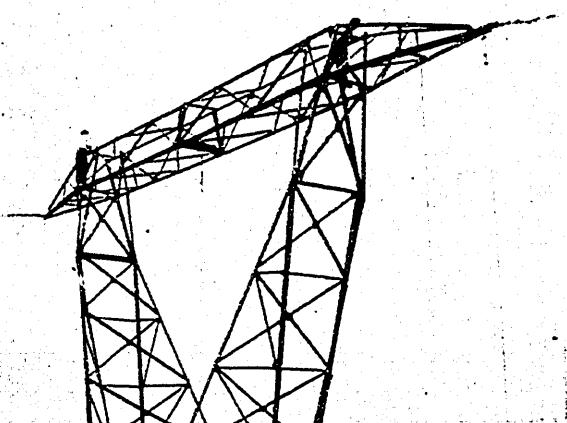
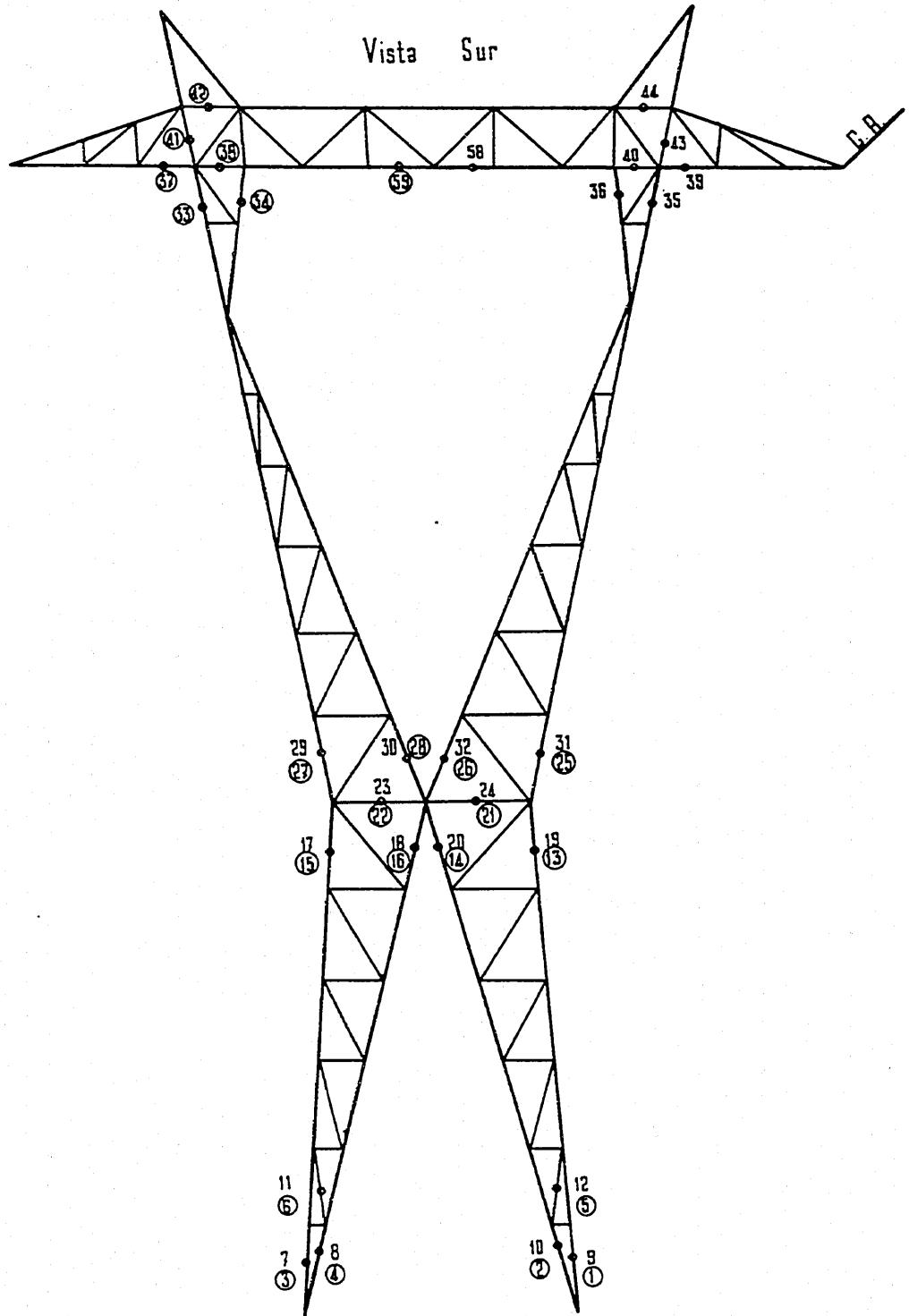
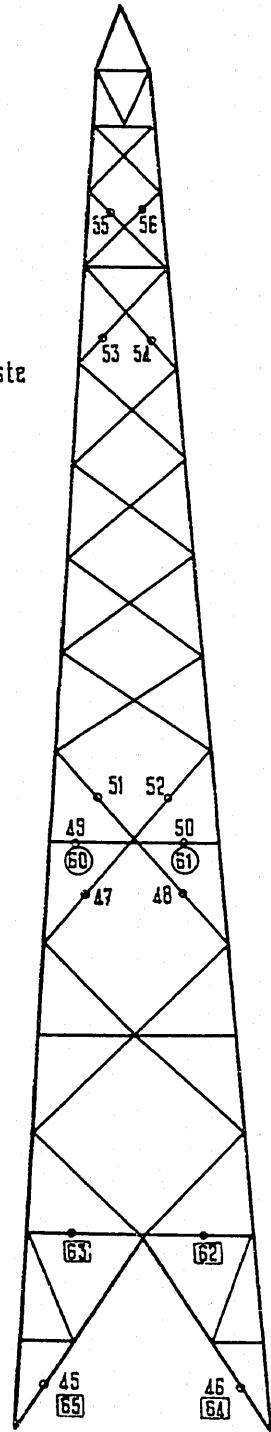


Fig. 4.<sup>a</sup> — Torre Hidroeléctrica Española. Primer ensayo, julio 1955.

Vista Este

Fig. 5.<sup>a</sup> — Torre Moncabril (Abengoa, S. A.).

(mayo de 1957), permite comprobar el estado de las torres de una línea, en el campo, y con un coste moderado y muy rápidamente.

El tercero representa un medio de análisis estructural completo, y exige, por las particulares con-

diciones de la estructura y la imposibilidad práctica de sustraerla a la intemperie, un proceso relativamente delicado y largo de ensayo. Permite, por el contrario, un estudio y proyecto de gran perfección con la máxima garantía y economía.