



# Inspección integral de las líneas de transmisión

Juan G. Boza Valerino  
Víctor M. Wong Galán  
Ileana Rodríguez  
Marcos Fernández  
Ángel Valcárcel

Recibido: Septiembre del 2003  
Aprobado: Noviembre del 2003

## Resumen / Abstract

En este trabajo se exponen los procedimientos desarrollados para la realización de la inspección integral torre por torre con la línea energizada, así como algunos de los resultados obtenidos.

Palabras clave: Inspección, integral, predictivo, procedimiento, descripción, mantenimiento

*In this paper are exposed the differents procedures take in to account for the development of the integral inspection tower to tower with energized transmission line, and also some obtained results with the application of the procedures.*

*Key words: Inspection, integral, predictive, procedure, description, maintenance*

## INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de incrementar la eficiencia en las labores de mantenimiento y alcanzar una mayor confiabilidad en el sistema de transmisión se ha establecido una política de mantenimiento en las líneas de transmisión, atendiendo a la siguiente calificación:<sup>1-3</sup>

- Mantenimiento predictivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento mayor.

Para realizar la inspección torre por torre con la línea energizada es necesario conocer:

- La condición de las fundaciones y terreno alrededor de las torres.
- La condición de las conexiones de puesta a tierra.
- La condición de la estructura en su totalidad.
- La condición de las cadenas de aisladores.
- La condición de los conductores, separadores, amortiguadores, cuellos y conexiones terminales.

- La condición del cable de guarda, incluyendo todos sus elementos en el punto de anclaje a la torre.

Este tipo de inspección consiste en hacer una evaluación minuciosa en toda la línea y sus elementos. En cada estructura se observa el estado de la conexión a tierra y se observa a distancia el conductor, los aisladores, los herrajes y el cable de guarda. El conductor y el cable de guarda son observados a lo largo de cada vano. Adicionalmente a la inspección visual, se realizan la medición de la resistencia de conexión a tierra y pruebas eléctricas y mecánicas en los laboratorios: al conductor, cable de guarda, aisladores y herrajes, mediante muestras retiradas en zonas consideradas críticas.

También se realiza el muestreo aleatorio a las fundaciones de las torres en varias zonas de las líneas, donde se considera que estas puedan estar afectadas y se mide el valor de resistencia de puesta a tierra en varias torres, seleccionadas previamente a la ejecución de los trabajos.

## INSPECCIÓN INTEGRAL DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Para una empresa este tipo de trabajo le resulta beneficioso y ventajoso, por varias razones:

- Se tiene una opinión externa a la empresa, por personas que no están en contacto a diario con las líneas.
- No es necesario disponer de recursos propios, que estén dedicados exclusivamente a este trabajo.
- Se obtiene un nivel de detalle del estado de la línea.

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Para poder obtener resultados concretos que reflejen en cierto grado el estado de todos los elementos involucrados en la revisión, es necesario conocer al detalle todo lo relacionado con las líneas en cuestión (planos de detalle de las estructuras, fundaciones, herrajes, conductores, así como los planos de ruta y del perfil topográfico).

Dependiendo de la importancia que representa cada uno de los elementos involucrados en la revisión, para el conjunto en este caso la torre, se adoptan los criterios de evaluación,<sup>2</sup> los cuales proporcionan información del estado de sus partes componentes, así como facilitan a los departamentos de mantenimiento, programar según el orden de prioridad los puntos por donde iniciar las intervenciones.

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL TERRENO

Las fundaciones y el terreno forman parte fundamental, para la estabilidad de las torres. Las fundaciones para líneas de transmisión pueden estar sometidas a cargas de compresión o de extracción. En el caso de las torres en ángulo, siempre tendrán una o más de sus fundaciones trabajando a extracción. Al diseñar las bases para una torre de transmisión, el factor decisivo, generalmente resulta ser la carga de extracción, y la consideración fundamental para evitar este efecto de extracción, es la resistencia del terreno sobre la parrilla; esta resistencia está íntimamente relacionada con el movimiento de la fundación. De ahí que la alteración superficial del terreno, tanto por erosión del mismo, como por alteración de sus propiedades, pueden ser causa de la pérdida de estabilidad de la fundación de la torre.

Las principales causas de alteración del terreno pueden ser:

- Suelos dispersivos.
- Falla de talud ante eventos sísmicos.
- Erosión del terreno.

Estos se evalúan de bueno, regular, malo y crítico, de acuerdo con el nivel de afectación que tengan sobre la estabilidad, la cimentación de la torre y la erosión alrededor de la misma.

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LAS TORRES

El criterio de evaluación de las torres se realiza basado fundamentalmente en los elementos y tornillos dañados en la estructura, a partir del conocimiento del comportamiento estructural de la torre y las zonas donde se encuentran los mayores esfuerzos, es decir, en una torre con determinado número de tornillos evaluados de regular, que unen elementos redundantes se evalúa de regular, mientras que otra torre con un menor número de tornillos evaluados de regular pero en uniones más esforzadas desde el punto de vista mecánico será evaluada de mal.

## CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS ESTRUCTURAS Y FUNDACIONES METÁLICAS

- Regular, cuando comienza la pérdida del galvanizado, con manchas de oxidación con surgimiento de burbujas.
- Malo, a partir del surgimiento de las escamas y la expansión de la sección, y después de eliminar las escamas el elemento ha perdido parte de su sección.
- Crítico, cuando el elemento haya experimentado una pérdida del espesor, mayor (50 %), hasta la pérdida casi completa del elemento.

## CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS AISLADORES

Las cadenas de aisladores en una línea de transmisión, inciden de forma directa en la operación confiable de un sistema eléctrico de potencia, ellas deben soportar esfuerzos eléctricos y mecánicos ocasionados por descargas eléctricas, sobre tensiones, cambios bruscos de temperatura, vibraciones, etcetera.

La distribución de tensión en la cadena de aisladores debe garantizar que no se presente el efecto corona, ya que este fenómeno provoca la aparición de un agente corrosivo además de producir pérdidas de energía e interferencia en las comunicaciones.

Elemento aislante

- Regular, cuando producto de descargas superficiales, se observan sobre el material aislante líneas de fugas estrechas y discontinuas.
- Malo, cuando producto de descargas superficiales, se observan sobre el material aislante líneas de fugas estrechas y continuas.
- Crítico, existen tres criterios:
  - Cuando producto de descargas superficiales, se observan sobre el material aislante líneas de fugas anchas y continuas.
  - En el caso de aisladores de porcelana, cuando se observa rotura o agrietamiento en la superficie aislante.
  - En el caso de aisladores de vidrio, cuando se observa carencia de la parte aislante.

**Elemento metálico**

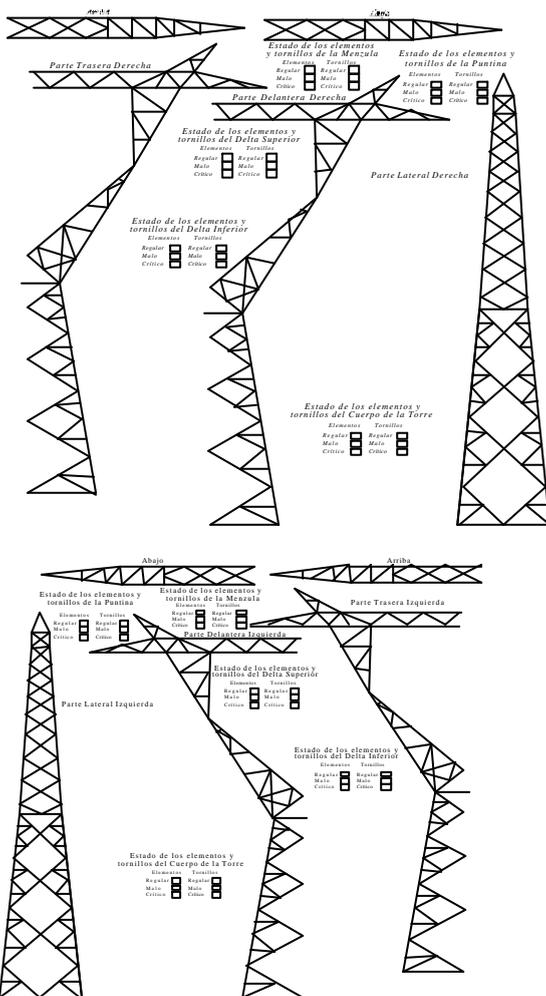
- Regular, cuando el pin del aislador presenta pérdida del galvanizado, con manchas de oxidación con surgimiento de burbujas.
- Malo, cuando en el pin del aislador hay surgimiento de las escamas y la expansión de la sección.
- Crítico, cuando el pin del aislador ha experimentado una pérdida del espesor, mayor (50 %), hasta la pérdida casi completa del elemento.

**CRITERIO PARA LA EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES, HERRAJES Y TORNILLERÍA**

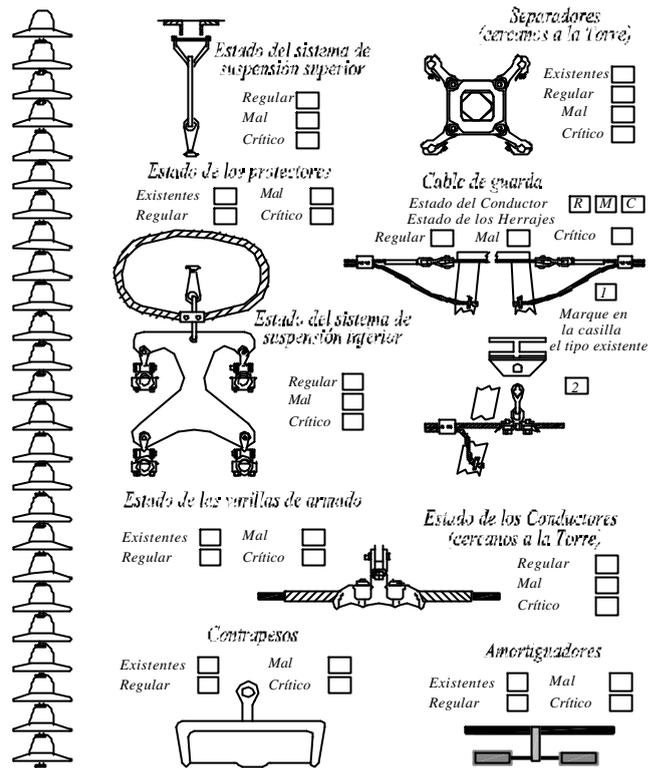
Se toman los mismos criterios considerados para la evaluación de la estructura y las fundaciones metálicas.

**PLANILLAS**

Toda la información relativa al estado de cada uno de los elementos de cada torre inspeccionada se registra en una planilla.<sup>2</sup> Esta información de la planilla, que la llena cada liniero, se utiliza para crear una base de datos en ACCESS, que permite realizar los reportes y los gráficos estadísticos (figuras 1 y 2).



Planillas para las estructuras.



Planilla para la parte eléctrica de cada torre.

**PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES CUMPLIDAS**

El procedimiento de trabajo empleado se basa en la ejecución de las siguientes actividades:

Inspección visual a:

- Número total de torres a inspeccionar.
- Número total de fundaciones a inspeccionar.
- Número total de fundaciones metálicas (parrillas).
- Número total de conexiones de puesta a tierra.

Realización de mediciones:

- La medición de la resistencia de puesta a tierra.

Pruebas de laboratorios:

- Pruebas eléctricas a aisladores.
- Pruebas mecánicas al conductor, cable de guarda, aisladores y herrajes, a muestras retiradas de las líneas.
- Pruebas de contrastación.

**REVISIÓN DE LAS FUNDACIONES Y TERRENO ALREDEDOR DE LAS TORRES**

El procedimiento empleado, consiste en la revisión visual de las fundaciones de las torres en su parte superficial y de las parrillas de las fundaciones, observando todas sus partes componentes (tornillería, ángulos L, etcétera).

### REVISIÓN DE LAS CONEXIONES DE PUESTA A TIERRA

Se realiza la inspección visual y la medición de la resistencia de puesta a tierra a las torres previamente seleccionadas, ubicadas en lugares donde los suelos presentan diferentes propiedades y características geológicas.

### REVISIÓN DE LA ESTRUCTURA EN SU TOTALIDAD

Esta revisión la realiza un grupo de linieros, adiestrados en el manejo de una planilla diseñada específicamente para tal fin. Este personal recorre toda la estructura revisando, en forma visual, así como palpando en algunos casos, sitios donde existe desprendimiento de material como consecuencia de la corrosión, miembros flojos o faltantes, etcétera.

### REVISIÓN DE LAS CADENAS DE AISLADORES

Como en el caso de la estructura metálica, para la evaluación visual de las cadenas de aisladores se emplearon varias planillas dependiendo del caso particular (cadenas de suspensión sencilla y dobles y cadenas de amarre sencillas y dobles). Esta inspección consiste en observar, desde la estructura de la torre, las cadenas de aisladores y verificar la condición del material aislante (porcelana o vidrio) si están rotos o arqueados, de los pines, caperuza y herrajes de sujeción si presentan estado de corrosión.

### REVISIÓN DE LOS CONDUCTORES, SEPARADORES, AMORTIGUADORES, CUELLOS Y CONEXIONES TERMINALES

El procedimiento empleado es similar al utilizado para la revisión de la cadena de aisladores, sin embargo, en algunos casos es necesario que el liniero emplee binoculares para verificar con mayor claridad la condición de todas las partes involucradas en esta revisión

### REVISIÓN DEL CABLE DE GUARDA, INCLUYENDO TODOS SUS ELEMENTOS EN EL PUNTO DE ANCLAJE A LA TORRE

El cable de guarda se encuentra ubicado en la parte más elevada de la torre denominada puntita. El liniero debe subir a ese lugar teniendo como precaución no aproximarse a una distancia menor a 60 cm. Desde allí observan con claridad todas las partes componentes del cable de guarda y debe verifica el estado en que se encuentran.

### RESULTADOS

Las fotos que se muestran (figuras 3-10), reflejan algunas de las principales afectaciones en los elementos componentes de las líneas de transmisión inspeccionadas.<sup>2-4</sup>



Terreno afectado por la acción del agua en la arcilla dispersiva.

3



Tornillos corroídos en el cuerpo de la torre.

4



Elemento deformado.

5



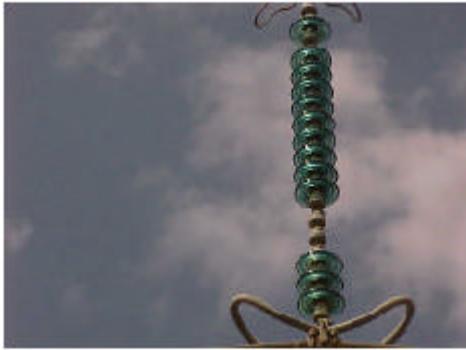
Descompensación de tensión mecánica.

6



Muestra de perforación en el aislador del cable de guarda.

7



Aisladores de vidrio rotos por vandalismo.

8



Aislador de porcelana con descarga eléctrica y caperuzas perforadas.

9



Corrosión en la pata de la torre.

10

## CONCLUSIONES

Estas se establecen sobre la base de los resultados alcanzados en la inspección visual a los elementos de la línea objeto de estudio, de las mediciones realizadas a la resistencia de puesta a tierra y de las pruebas de laboratorio realizadas.

- Estado del terreno.
- Estado de las estructuras (torres).
- Estado de las fundaciones de las torres

- Estado de los aisladores y herrajes de las líneas.
- Valor de las mediciones de la resistencia de puesta a tierra.

- Pruebas de laboratorio y de contrastación.

Se considera novedoso en este trabajo el sistema de planillas utilizadas, en las cuales se recoge la información del trabajo de campo realizado por los linieros y a partir de las cuales se crea una base de datos en ACCESS que permite obtener los reportes en forma de tablas y gráficos.

## RECOMENDACIONES

Las principales recomendaciones están dirigidas a:

- Establecer un programa de acciones para atender las deficiencias encontradas en la inspección.

## REFERENCIAS

1. Sánchez, H.: "Alcance y especificaciones para efectuar revisión torre por torre en líneas a 400 kV", CVG, EDELCA, División de Mantenimiento de Transmisión, Venezuela, junio, 1997.
2. Boza V., J.; V. Wong G. E I. Rodríguez: "Inspección Integral de la línea San Gerónimo - Sta. Teresa a 400 kV", Venezuela, 1999.
3. "Evaluación técnica del sistema de transmisión líneas red troncal a 400 kV", CVG, EDELCA, Dirección de Operaciones, Venezuela, mayo, 1988.
4. Sánchez, H. y L. Espín: "Inspección integral de líneas de transmisión", V Jornadas Profesionales de EDELCA, Macagüa, Venezuela, 23-26 de mayo, 2001.

## AUTORES

Juan G. Boza Valerino

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba

e-mail:jboza@cipel.cujae.edu.cu

Víctor M. Wong Galán

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), Ciudad de La Habana, Cuba

Ileana Rodríguez

Ingeniera Civil, Máster en Ingeniería Civil, COELCA, Caracas, Venezuela

Marcos Fernández

Ingeniero Electricista, COELCA, Caracas, Venezuela

Ángel Valcárcel Rojas

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Auxiliar, Universidad Central de Las Villas, Martha Abreu, Villa Clara, Cuba