

I TALLER LATINOAMERICANO REDUCCION DE LOS EFECTOS DE LOS DESASTRES NATURALES EN LA INFRAESTRUCTURA ENERGETICA

EFECTO SOBRE EL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA CIUDAD DE LOS ANGELES EN EL TERREMOTO DE 1994 EN EL VALLE DE SAN FERNANDO

**Ing. Marciano López, Ing. Ron Tognazzini, Ing. Lawren Minor
DEPARTAMENTO DE AGUA Y ENERGIA ELECTRICA, FAX (818) 883-2445**

I. EL SISTEMA ELECTRICO

El Departamento de Agua y Energía Eléctrica es la Compañía Municipal de Servicios Públicos más grande de los Estados Unidos de América, con una área de servicio localizada dentro de la Ciudad de Los Angeles, la cual contiene 465 millas cuadradas (1162,5 km cuadrados). En la actualidad, el Departamento tiene aproximadamente 11 000 empleados para proveer de agua y energía eléctrica a la Ciudad de Los Angeles. El Sistema Eléctrico del Departamento provee electricidad y otros servicios relacionados con esta energía, a un promedio de 1,36 millones de clientes, o aproximadamente 3,5 millones de usuarios.

Las fuentes de energía eléctrica son plantas hidroeléctricas, estaciones generadoras basadas en derivados de petróleo, estaciones generadoras a base de carbón localizadas fuera de California, una planta de energía nuclear y el resto de la energía que se compra de otras compañías (privadas y públicas). Las fuentes de energía eléctrica que se encuentran localizadas fuera de la Ciudad de Los Angeles están conectadas al sistema eléctrico a través de líneas de transmisión de alto voltaje de corriente alterna y corriente directa. Dentro de la Ciudad, el Departamento opera 20 subestaciones de alto voltaje y cerca de 170 estaciones de distribución de voltaje mediano. Las subestaciones de alto voltaje son llamadas "estaciones receptoras", y están interconectadas por un sistema de líneas de transmisión de 138/230 kV que forma un "cinturón" alrededor de la Ciudad. Cada estación receptora tiene transformadores que reducen el voltaje a 34,5 kV, el cual es usado para servir clientes con cargas

grandes o alimentar estaciones de distribución para reducir el voltaje a 4,8 kV. Las líneas subterráneas o aéreas que emanan de las estaciones de distribución alimentan algunos clientes directamente, o el voltaje es disminuído por transformadores en postes o transformadores que se encuentran en bóvedas subterráneas, para alimentar al resto de los usuarios. El Sistema Eléctrico tiene muchos sistemas redundantes, y generalmente es considerado robusto en su funcionamiento desde el punto de vista eléctrico y sísmico

Que Pasó?

La Ciudad de Los Angeles perdió su energía eléctrica totalmente a las 4:31 a. m. el 17 de enero de 1994, cuando un terremoto de magnitud de 7,6 ocurrió cerca de Northridge, en la porción norte del Valle de San Fernando. El daño más severo ocurrió en el equipo de las estaciones eléctricas de Sylmar, Northridge, Mission Hills, Granada Hills, Canoga Park, Sherman Oaks, North Hollywood y Reseda, las cuales están en el área de San Fernando. Sin embargo, se experimentaron daños en 63 instalaciones de un total de 221 en el área de Los Angeles. El área de extensión de las instalaciones que se dañaron cubre desde la Planta de Generación Castaic en el Norte a subestaciones en el Oeste de Los Angeles y el distrito de Fairfax en el Sur.

II GENERACION Y CARGA

Previo al terremoto, la carga del sistema eléctrico era 1857 MW, la cual era alimentada por las siguientes plantas:

Generación Interna:

Estación Generadora Haynes (2 Unidades)	120 MW
Estación Generadora Scattergood (2 Unidades)	100 MW
Planta Eléctrica Castaic (1 Unidad)	25 MW
Planta Eléctrica 1 (1 Unidad)	15 MW
Planta Eléctrica 2 (1 Unidad)	5 MW
Total:	265 MW

Generación Externa:

Estación Generadora Intermountain (2 Unidades)	1 070 MW
Estación Generadora Navajo (3 Unidades)	470 MW
Estación Generadora Mohave (3 Unidades)	130 MW
Estación Generadora Palo Verde	210 MW
Total:	1 880 MW

Bombeo:

Planta Eléctrica Castaic (1 Unidad) -240 MW

Transmisión de Sur a Norte:

Estación Convertidora Sylmar -776 MW

III. REACCION DE LA ADMINISTRACION

Posterior al terremoto, el personal administrativo respondió comunicándose al Centro de Control de Energía (ECC) del Sistema de Energía Eléctrica, o reportándose al Centro de Mando de Emergencias (EmCC) localizado en el ECC. Las funciones de la administración presente en el EmCC eran evaluar el daño recibido por las estaciones y líneas de transmisión, coordinar los esfuerzos de restauración, observar el estado del sistema eléctrico. Las observaciones iniciales indicaron que a pesar de que todas las estaciones en la Ciudad fueron afectadas, el daño mayor ocurrió en las instalaciones de alta tensión, como las Estaciones de Interrupción y Convertidora de Sylmar, la Estación Receptora Rinaldi, la Estación Receptora "J" (Northridge), la Estación Receptora "U" (Tartana), la Estación Receptora "E" (Toluca), y la Estación Receptora "D" (Fairfax). La pérdida total de las líneas de transmisión que emanan de la Planta Eléctrica Castaic impidieron usar esa estación, con su potencia hidroeléctrica, como fuente de energía para restaurar rápidamente el servicio eléctrico a la Ciudad de Los Angeles. Los encargados de operaciones de las subestaciones y estaciones eléctricas, automáticamente se reportaron a sus lugares de trabajo para ser informados del daño inicial sufrido por el sistema

eléctrico, para empezar a organizar equipos de trabajo para el proceso de restauración. La evaluación, restauración y trabajo de reparación fue coordinado directamente por el personal de despacho de generación y carga que se encuentra en el ECC. Todas las mañanas después del terremoto, una junta se llevaba a cabo en el ECC entre los encargados directamente involucrados en la restauración, para revisar y determinar las condiciones del sistema eléctrico, diseminar información y determinar la prioridad de los trabajos de restauración de acuerdo con las necesidades del sistema eléctrico.

IV. CRONOLOGIA DE LOS EVENTOS MAS IMPORTANTES

La siguiente cronología indica los eventos más notables que ocurrieron como resultado del terremoto.

4:31 a. m., Lunes 17 de Enero de 1994

Todas las subestaciones eléctricas se desconectaron o se desenergizaron debido al sistema de protección. Todos los circuitos de transmisión que sirven de interconexión al área de servicio de Los Angeles se desconectaron debido a "relevadores". Estos circuitos incluyeron la Interconexión del Pacífico de Corriente Directa y la Línea de Alto Voltage de Corriente Directa de Intermountain. Interconexiones a las Ciudades de Burbank y Glendale se separaron debido a protección de los relays. Los Generadores de Intermountain se desconectaron del sistema debido al sistema de protección.

5:00 a. m., Lunes

Las Líneas Victorville-Century 1&2 son restauradas. Las Líneas Intermountain-Mona 1&2 - son restauradas. El Generador Owens Gorge es reconectado al sistema. La Carga de Owens Valley es restablecida.

6:00 a.m., Lunes

Estación Receptora "B" (Century) es energizada.

A las 5:09 a.m., el sistema fue restablecido desde

la Estación Receptora "B" (Century) a los primeros 80,800 clientes en el área del Centro-Sur de Los Angeles. Esto representa cerca de 6% del total de clientes servidos por el Departamento.

El Sistema Eléctrico es conectado desde la Estación Receptora "B" (Century) hasta la Estación Receptora "F" (Velasco).

La Estación Receptora "F" (Velasco) es energizada.

La Línea Haynes-Velasco es restaurada para proveer energía eléctrica para arrancar y reconectar la Estación Generadora Haynes

La Línea Intermountain-Adelanto es energizada

7:00 a.m., Lunes

A las 6:13 a.m., los primeros usuarios servidos en el área del Este de Los Angeles se reconectaron al sistema por medio de la Estación Receptora "F" (Velasco). Dos horas después del terremoto, se estima que el 13% de todos los usuarios contaban con el servicio.

Una estación de cogeneración en la Planta de Tratamiento de Agua Servida suple de energía eléctrica para arrancar y reconectar la Estación Generadora Scattergood.

La Estación Receptora "L" (Scattergood) es energizada.

La Estación Receptora "N" (Airport) es energizada.

8:00 a.m. Lunes

Tres horas después del terremoto, 15% de todos los usuarios están reconectados.

La primera unidad de generación en la Estación Generadora Haynes es restaurada.

La primera unidad de generación en la Estación Generadora Harbor es restaurada.

La Estación Receptora "A" (St. John) es energizada.

La Estación Receptora "C" (Wilmington) es energizada.

La Estación Receptora "Q" (Harbor) es energizada.

9:00 a.m. Lunes

Cuatro horas después del terremoto, 22% de todos los usuarios están restaurados.

La Estación Receptora "H" (Hollywood) es energizada.

La Estación Receptora "P" (Market) es energizada.

Con el cable de Hollywood-Fairfax restaurado, el "cinturón" de transmisión de 138 kV es cerrado en la parte sur de Los Angeles.

La línea Laguna Bell-Velasco es reconectada, conectando al Departamento con la Compañía Edison del Sur de California en la Estación Receptora "F" (Velasco).

10:00 a.m. Lunes

Cinco horas después del terremoto, 41% de todos los usuarios están restaurados.

La Estación Receptora "G" (Atwater) es energizada.

La Estación Receptora Halldale es energizada.

La segunda unidad de generación en la Estación Generadora de Harbor es restaurada

11:00 a.m. Lunes

Seis horas después del terremoto, 47% de todos los usuarios están restaurados.

La Estación Receptora "E" (Toluca) es energizada.

La Estación Receptora "S" (Van Nuys) es energizada.

La segunda unidad de generación en la Estación Generadora Haynes es restaurada.

La primera unidad de generación en la Estación Generadora Intermountain es restaurada.

12:00 del mediodía, Lunes

Siete horas después del terremoto, 51% de todos

movimientos de la tierra que se experimentaron durante este terremoto. Partes metálicas fallaron en lugar de los aisladores cerámicos. El sistema eléctrico experimentó un daño significativo en las conexiones de aluminio cuando barras rígidas eran usadas como conductores. Los tornillos de acero se alargaron y las tuercas desmoldaron las roscas de sus pernos.

El casquillo de los transformadores presentó problemas significantes en áreas donde era evidente que el suelo se había partido. Las conexiones de alto voltage sufrieron más daño que las de bajo voltage. Las conexiones de alto voltage son más difíciles de reemplazar o reparar, requiriendo mas tiempo para volver a poner este equipo tan importante en servicio. En este terremoto, el Departamento experimentó la primera falla de una torre de transmisión como resultado de un derrumbe de tierra cerca de la base de la torre.

VI. MEJORAS EN LA RESPUESTA SISMICA DEL SISTEMA ELECTRICO

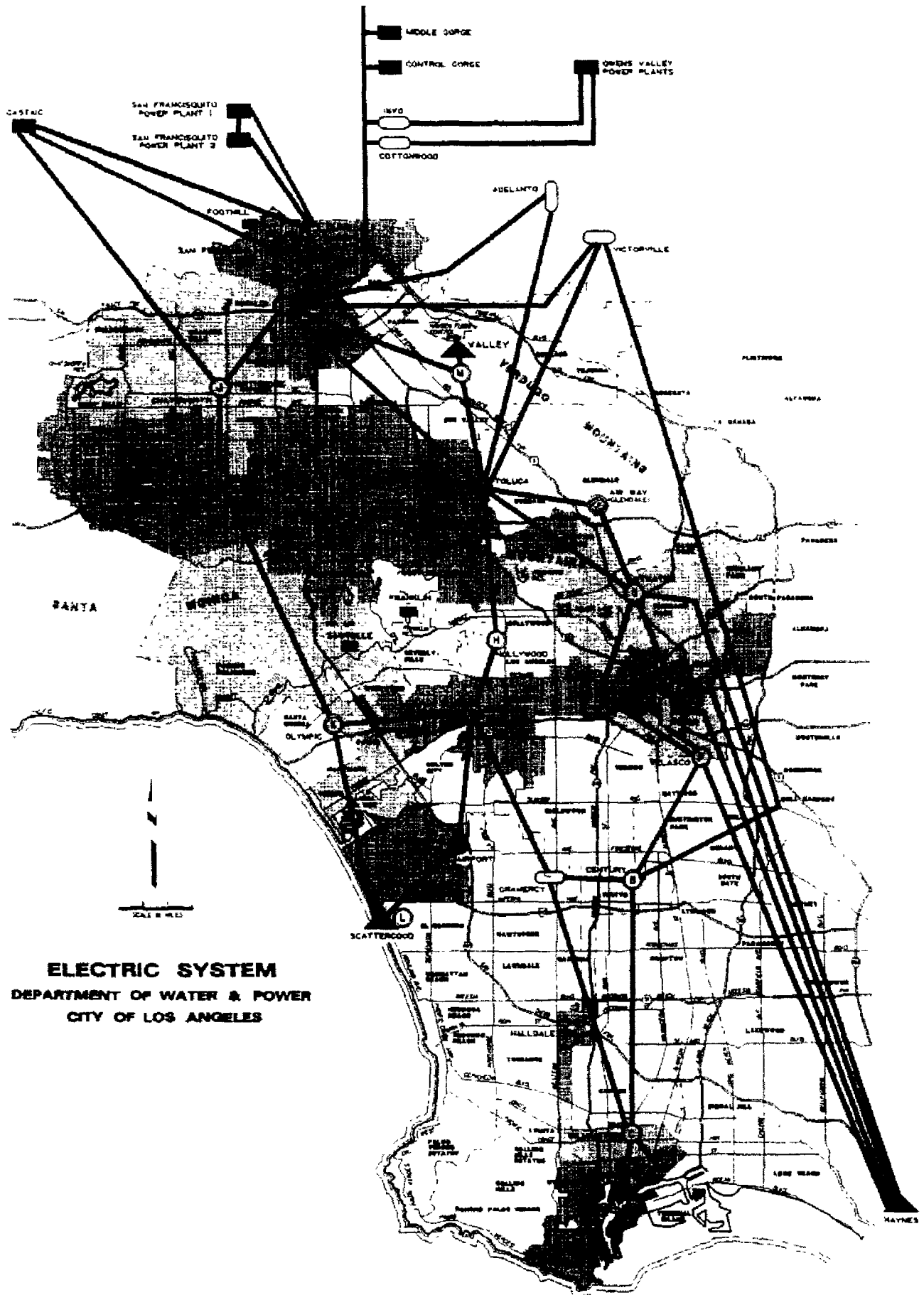
Tradicionalmente, la administración del Departamento de Agua y Energía Eléctrica esta dedicada a mejorar la respuesta sísmica del sistema de potencia Sin embargo, la preocupación del Departamento por la seguridad sísmica no es compartida por las otras compañías de servicios en el país, y los vendedores de equipo han ajustado sus practicas comerciales para satisfacer las necesidades de la mayoría de sus clientes. Como resultado todo esto, pocos fabricantes de equipos están dispuestos a invertir en la investigación, necesaria para mejorar el funcionamiento sísmico de sus productos. El Departamento con frecuencia ha elevado las normas de diseño sísmico, pero se ha encontrado coon que los vendedores de estos equipos no desean ofrecer el equipo que cumple con éstas normas. La investigación es necesaria para introducir diseños y materiales nuevos para mejorar la respuesta sísmica del equipo de alto voltaje.

El criterio de diseño sísmico necesita ser revisado y mejores normas sísmicas para la construcción de nuevas instalaciones deben ser desarrolladas. Un ejemplo es la interacción entre el suelo y la estructura, que existe durante un terremoto, la cual necesita ser reexaminada y nuevos métodos

necesitan ser incorporados en los procedimientos de diseño, para permitir el reconocimiento del dinamismo que toma lugar entre el suelo y el lugar en el funcionamiento del equipo durante un terremoto. Nuevas tecnologías, tales como sistemas de aislamiento en las bases activas o pasivas necesitan ser revisadas y, si es apropiado, incorporadas en los métodos de diseño sísmico de nuevas instalaciones. Normas para los conductores que permitan al equipo actuar independientemente de otros necesitan ser desarrolladas

VII. CONCLUSIONES

En general, el funcionamiento del sistema eléctrico en este terremoto fue mejor significativamente si se compara con la experiencia del Departamento en el año 1971. También, a pesar del daño a partes importantes del sistema, los empleados del Departamento restauraron el servicio a sus usuarios de manera efectiva y pronta. El esfuerzo y la dedicación de parte de los trabajadores de campo, los operadores de las estaciones, los despachadores de generación y cargas, e ingenieros y administradores hicieron posible volvieron a encender las luces de Los Angeles.



ELECTRIC SYSTEM
 DEPARTMENT OF WATER & POWER
 CITY OF LOS ANGELES