

PROPUESTA DE ESTRUCTURACIÓN DE UN CATASTRO 3D PARA REDES ELÉCTRICAS AÉREAS EN MÉXICO

Power Lines 3D Cadastre structuring, a proposal for Mexican aerial networks

Rigoberto A. Moreno Vázquez

CFE/DCIPI/CPTT

Corresponsal en México, APPAT / CIT

Residencia Regional de Construcción de Proyectos de Transmisión y Transformación, Occidente.

Supervisor de Selección de Sitios y Trayectorias

Av. Vicente Guerrero N° 1224, Jalisco, México

rigoberto.moreno@cfe.gob.mx / rigobertoamv@gmail.com

Diego Erba

Consultor Independiente

Cra 23 N° 14 148 Ed. Trilogía Ap. 1701, Pereira, Colombia

diegoerba@gmail.com

Resumen:

Los planos y mapas (2D) aún constituyen el principal recurso para representar y consecuentemente administrar una ciudad, un estado y un país completo, no obstante, las nuevas tendencias de diseño y construcción, sumadas a los acelerados avances geotecnológicos están cambiando los paradigmas de la política de públicas. La tecnología ya permite gestionar objetos complejos en el espacio (3D), lo cual impacta no sólo la forma en que se ve el territorio sino la manera en que se describen los derechos de propiedad y sus restricciones. Las redes de infraestructura y transporte se mueven a lo largo espacio de diferentes maneras, algunas son invisibles por naturaleza, tales como las microondas de teléfonos celulares, y otras son invisibles porque son subterráneas, tales como los túneles y cañerías. Otras redes son visibles dado que están construidas sobre la superficie, tales como los caminos y los cables de servicios eléctricos. Las relaciones espaciales entre redes y propiedades públicas y privadas, ocupaciones informales, reservas ambientales, depósitos minerales y los cuerpos de agua no se han tratado eficientemente a través de las representaciones en 2D, por lo que requieren estrategias que les permitan pasar al mundo 3D. La estructuración de catastros territoriales y de redes de servicios en 3D está tomando tiempo. Falta asimilar conceptos, conocer más de aplicativos, cambiar normativa. Es en este contexto que el presente trabajo describe los modernos procesos usados en México para relevar y representar todo lo relativo a redes eléctricas y propone una estrategia de construcción paulatina de catastro 3D.

Palabras-clave: Catastro 3D, Geotecnologías 3D, Redes Eléctricas 3D.

Abstract

Maps and plans (2D) are still the main resource to represent and consequently manage a city, a state and a complete country, however, new trends in design and construction, coupled with accelerated geotechnical advances are changing the paradigms of the public policy. Technology already allows to manage complex objects in space (3D), which impacts not only the way in which the territory is viewed but also the way in which property rights and their restrictions are described. Infrastructure and transport networks move through space in different ways, some are invisible by nature, such as cell phone microwaves, and others are invisible because they are underground, such as tunnels and pipes. Other networks are visible because they are built on the surface, such as roads and electrical service cables. The spatial relationships between networks and public and private properties, informal occupations,

environmental reserves, mineral deposits and bodies of water have not been dealt with efficiently through 2D representations, so they require strategies that allow them to move to the 3D world. Structuring territorial cadastres and service networks in 3D is taking time. It is in this context that the present work describes the modern processes used in Mexico to survey and represent everything related to power lines and proposes a gradual construction strategy for the cadastre 3D.

Keywords: 3D Catastre, 3D Geotechnologies, 3D Power Lines.

1. INTRODUCCIÓN

El catastro 3D debe registrar los objetos territoriales con precisión en el espacio y en el tiempo, identificándolos y ubicándolos geoméricamente como volúmenes en un determinado momento. Un registro 3D permite relacionar objetos territoriales, o parte de ellos, reposicionarlos retrospectivamente, proyectar modificaciones y analizar la influencia de nuevos objetos aún antes de que existan, a través de la construcción de escenarios prospectivos.

En el catastro 3D cada objeto territorial registrado debe contar con las tres coordenadas de un número suficiente de puntos que permitan ubicarlo espacialmente como bloque en el marco de referencia y a la fecha de medición. El número de puntos de georreferenciación dependerá de cada caso y será definido por el profesional de acuerdo a su criterio y experiencia, de manera que se garanticen los parámetros de precisión establecidos por la norma catastral.

El posicionamiento planimétrico de los objetos territoriales no presenta mayor dificultad una vez que se establece el sistema de referencia geodésico, no obstante, la definición de la superficie de referencia más adecuada para determinar las alturas, está aún en discusión, particularmente en lo que se refiere a las redes eléctricas de grande porte.

El suministro de energía eléctrica es importante y necesario para el desarrollo como para la vida cotidiana. La electricidad es una componente indispensable de las actividades humanas puesto que las personas están inmersas en el uso de dispositivos eléctricos en el trabajo y en el hogar. La electricidad es tan básica como la nutrición adecuada, la salud, la vivienda digna y la educación.

En ese contexto de alta demanda y exigencia, la Comisión Federal de Electricidad – CFE junto al Sindicato Único de Trabajadores de la Electricidad de la República Mexicana, cuidan permanentemente que el sistema eléctrico de todo México, que se encuentre en óptimas condiciones, realizando actividades preventivas y de mantenimiento constante. Estos procesos son altamente desafiantes en un país donde los daños en la transmisión y/o distribución de energía eléctrica pueden ser generados por varios factores como, eventos atmosféricos (huracanes, tornados, heladas, fuertes vientos y lluvias torrenciales), acciones de sabotaje, corrosión y/o terremotos.

La eventual reconstrucción de líneas de transmisión y/o distribución de energía eléctrica exige contar con la descripción del relieve a lo largo de las líneas y el catastro completo de la red, contando con la ubicación precisa de cada uno de los elementos, bien como su descripción detallada.

Levantar, sistematizar y representar todos los elementos que componen una red eléctrica es el primer paso para construir un catastro en el cual la Subestaciones Eléctricas y las Líneas de

Transmisión de Energía Eléctrica sean posicionadas en el espacio a través de una correcta georreferenciación. En este sentido, la integración de geotecnologías juega un rol protagónico, determinar los métodos más apropiados y sistematizar ese conocimiento en manuales de operación, tornase un desafío.

Este artículo describe los métodos de levantamiento y registro de los elementos que componen los sistemas eléctricos físicos gestionados por la CFE de México (Figura 1), desde las fuentes de generación de energía eléctrica (eólica, fotovoltaica, geotérmica, termoeléctrica, etc.), pasando por las líneas de transmisión compuestas por estructuras de soporte (torres y postes), cables, transformadores, hasta las líneas de distribución para los usuarios finales.



Figura 1 – Sistema Eléctrico Nacional de México

La mayoría de los levantamientos de los elementos de la red se desarrollan utilizando estaciones totales y receptores GPS/GNSS de 2 bandas vinculados a la Red Geodésica Nacional Activa - RGNA que es parte del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas - SIRGAS. También se utilizan aerofotografías de pequeño formato obtenidas con aviones no tripulados (drones), imágenes satelitales, escaneos láser terrestres y sistemas LiDAR aerotransportados. Esta tecnología LiDAR (del inglés Light Detection and Ranging) también se usa para eventuales análisis de invasiones, recalibración de líneas y reposicionamiento de estructuras.

2. ESTRUCTURA DE UNA RED ELÉCTRICA

Una red eléctrica puede ser definida como un conjunto de aparatos eléctricos y edificaciones necesarias para generar, transformar y distribuir energía eléctrica, haciendo el enlace entre dos o más circuitos.

La generación de electricidad se realiza en las plantas generadoras a partir de combustibles fósiles, como carbón, gas, biomasa; o a partir de fuentes renovables de energía como la eólica, solar, nuclear, hidráulica, mareomotriz, geotermia, entre otros.

La transmisión de energía, que puede producirse a grandes distancias, inicia en las plantas de generación y llega hasta las subestaciones en las cuales se realiza la transformación de manera que pueda llegar a los diferentes usuarios al voltaje de servicio requerido.

Los conceptos más importantes referentes a las instalaciones eléctricas de transmisión y transformación son los relacionados con las Subestaciones Eléctricas y las Líneas de Trasmisión (Figura 2).

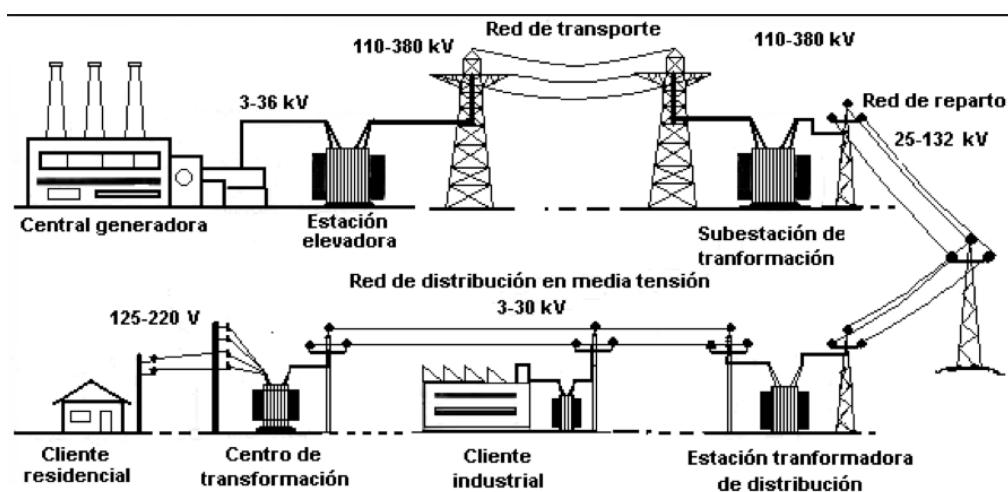


Figura 2 - Subestaciones y Líneas de Transmisión

2.1 Subestaciones Eléctricas




Una subestación eléctrica es una instalación dependiente de otra principal. Se destina a servir un área específica, esta compuesta de un conjunto de aparatos eléctricos ubicados en una estructura edilicia, elementos estos necesarios para la conversión o transformación de energía eléctrica y para la conexión entre dos o más circuitos. Existen varios tipos de subestaciones, entre los cuales se destacan:

- Subestaciones de elevación (elevadoras). Asociadas a las plantas generadoras, dirigen el flujo de potencia directamente al sistema eléctrico, elevando los voltajes de generación

- (13.2 a 24kV) a voltajes de transmisión (115 a 800kV).
- Subestaciones de transformación (reductoras). Reducen los voltajes de transmisión a voltajes de sub transmisión o distribución.
 - Subestaciones de conmutación (*switches*). Sólo hacen operaciones de conexión y desconexión (maniobras), no tienen transformadores de potencia puesto que se requiere modificar el nivel de voltaje de las fuentes de alimentación.
 - Subestaciones radiales. Solo cuentan con un punto de alimentación y no se interconecta con otras.

Las subestaciones pueden ser clasificadas de diferentes características, la Tabla 1 representa la clasificación de acuerdo al tipo de exposición/blindaje a que esté sometida.

Tabla 1 - Tipos de Subestaciones Eléctricas

<p>Subestaciones Convencionales. Se les conoce también como “aisladas en aire”, puesto que las partes energizadas y sus equipos están expuestos a las condiciones climáticas.</p>	
<p>Aisladas en Gas (exterior o interior). Se les conoce como “aisladas en gas o blindadas”, puesto que sus partes conductoras y equipos se encuentran contenidos en una envoltura metálica circundante del equipo principal que permite mantener los niveles de aislamiento especificados con seguridad.</p>	
<p>Subestaciones híbridas. Este tipo de subestaciones combinan elementos de subestaciones convencionales y subestaciones aisladas en gas.</p>	

2.2 Líneas de Transmisión

Una línea de transmisión aérea consiste esencialmente de un grupo de conductores dispuestos paralelamente, montados sobre soportes que proporcionan el aislamiento requerido entre conductores y entre conductores de tierra (Enríquez Harper, 2014). Estos conductores se encuentran en el espacio y su ubicación debe quedar identificada a través de coordenadas. Su registro, si bien puede ser a través de representaciones proyectivas bidimensionales, deberían ser

a través de dibujos tridimensionales cada uno de los cuales se relacione con sus características físicas.

En una línea de transmisión los conductores que la componen están desnudos y forman circuitos que se encuentran aislados en aire mediante accesorios de vidrio, porcelana y sintéticos, suspendidos y/o rematados en estructuras de soporte, localizadas a lo largo de una trayectoria.

Las líneas tienen como finalidad transportar la energía eléctrica desde los puntos de generación hasta los puntos de transformación y finalmente a los centros de consumo. Por su ubicación en el espacio pueden ser clasificadas en líneas:

- Aéreas, son las más usuales debido a los beneficios que ofrece como: menor costo, fácil operación, detección rápida de fallas, facilidad de mantenimiento, entre otros.
- Subterráneas, se emplean principalmente en zonas urbanas para evitar el impacto visual.
- Submarinas, se construyen de esa manera en casos de extrema necesidad, siendo diseñadas para resistir presiones bajo el agua.

Las estructuras más usuales de soporte de líneas están representadas en la

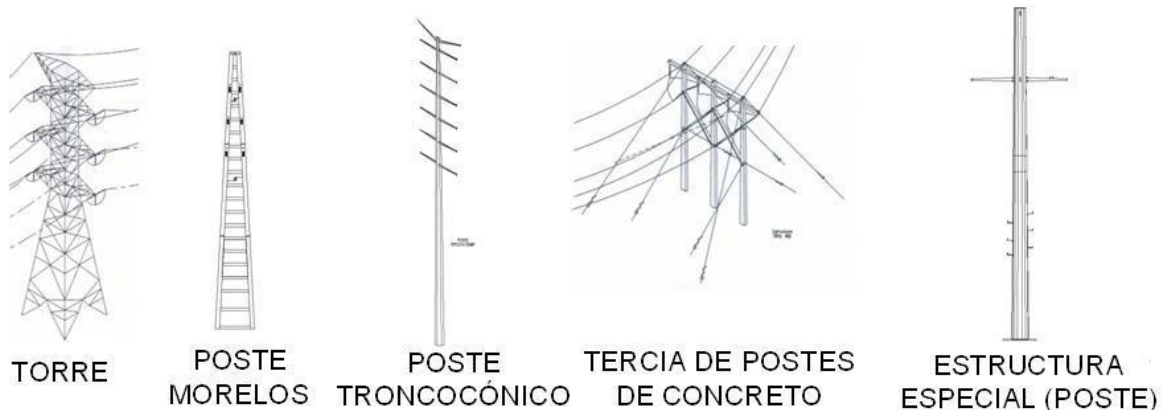


Figura 3.

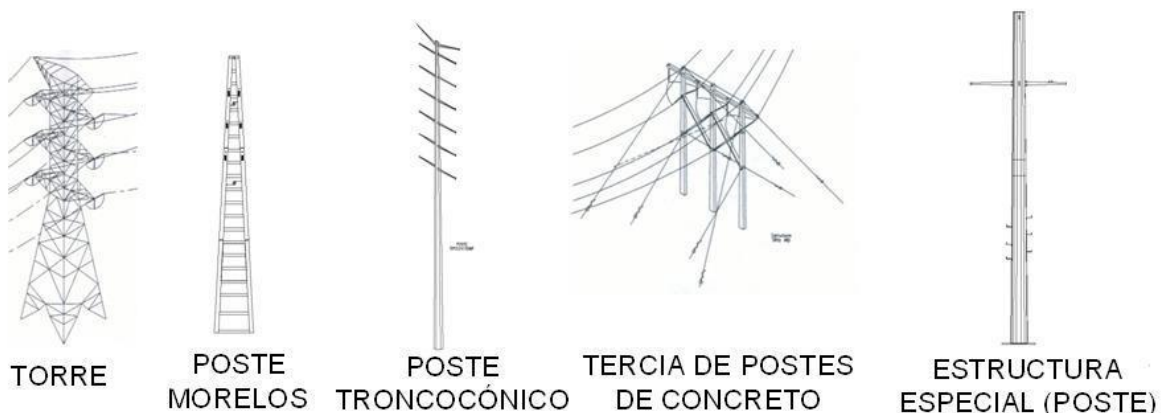


Figura 3 - Estruturas típicas de soporte de líneas de transmisión en México

Fuente: “Manual de Diseño Electromecánico de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica, Comisión Federal de Electricidad, México.”

El nivel de complejidad de cada una de las estructuras puede variar considerablemente tal como muestra la

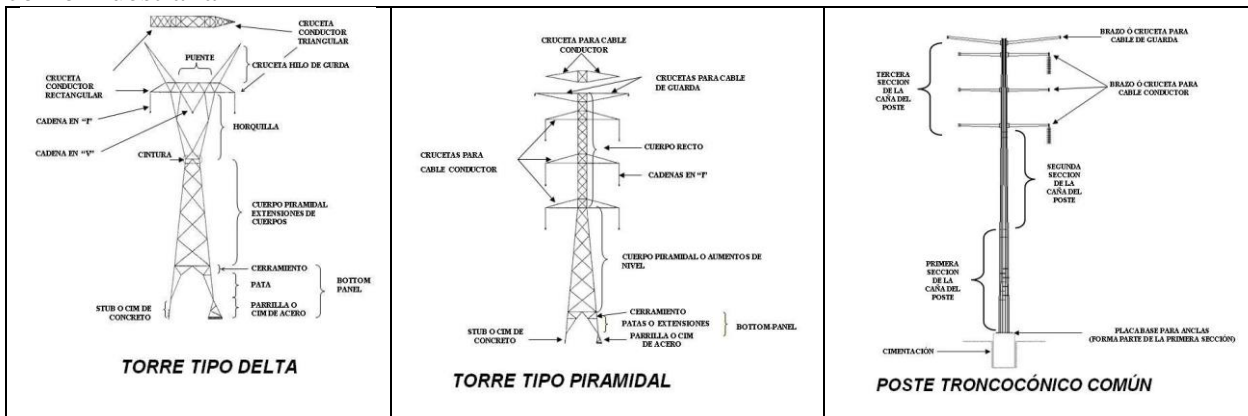


Figura 4. Conocer cada detalle de la torre o del poste es fundamental, particularmente cuando se está en proceso de formación del catastro 3D del sistema eléctrico. Es a partir de este conocimiento que se debe elegir el método de representación, vectorial, voxels (*volumetric pixels*), nube de puntos, entre otros.

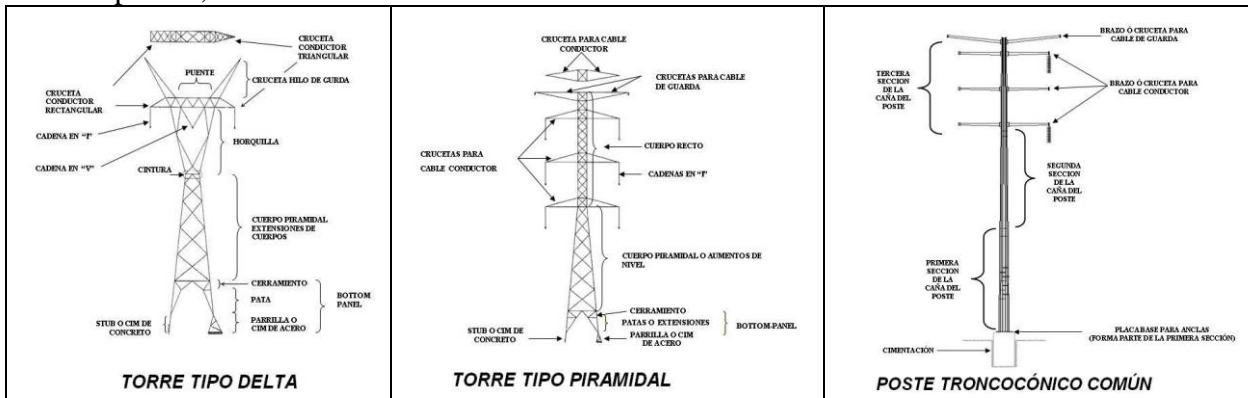


Figura 4 - Diferentes tipos de Torres y Postes

3. LEVANTAMIENTO y LOCALIZACIÓN DE REDES ELÉCTRICAS

Los proyectos electromecánicos nuevos o levantamientos de redes existentes necesitan contar con la georreferenciación y localización de los elementos que forman parte de las subestaciones eléctricas y de las líneas de transmisión de energía eléctrica.

3.1 Levantamiento de Subestaciones

Los estudios de viabilidad de ubicación y factibilidad de construcción de una subestación eléctrica contemplan el desarrollo de análisis ambientales, indemnizatorios, sociales, jurídicos, así como la compilación de datos o ejecución de relevamientos geofísicos, geotécnicos, hidrográficos e hidrológicos. La referencia espacial de todos estos datos se construye a partir de levantamientos y representaciones que deben seguir las normas y reglamentos vigentes.

En el campo, después del reconocimiento, se desarrolla el levantamiento planialtimétrico a través del cual se localizan los límites e identifican los vértices que conformaran la poligonal del predio, los escurrimientos y desfogues pluviales naturales dentro y fuera del predio destinado a la subestación, bien como los puntos de salida y llegada de líneas de transmisión (Figura 5). Además, se levanta el uso de suelo, los tipos de cultivo, los tipos de vegetación y la trayectoria de los caminos de acceso al predio. Es un levantamiento multitemático que permite generar un catastro multifinalitario.

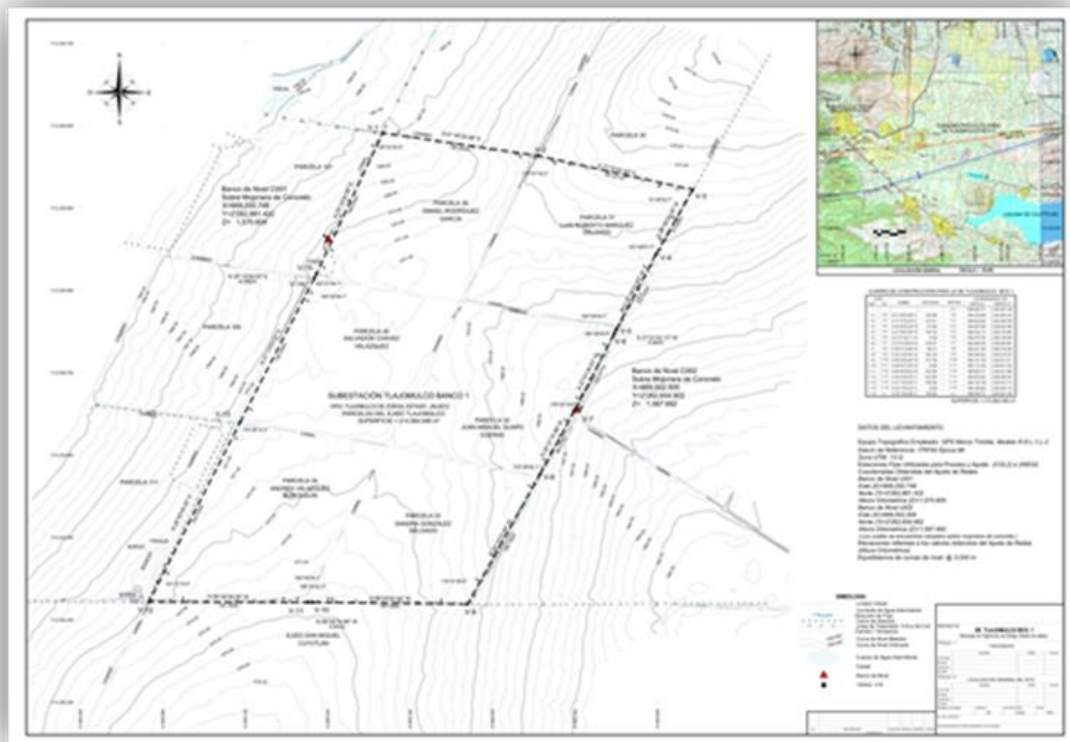


Figura 5 - Plano de localização geral de sitio destinado a uma subestação nova

Finalizados los estudios previos, se da inicio al proyecto el cual se desarrolla de forma conjunta

por parte de los equipos de ingenieros civiles, topógrafos, mecánicos y eléctricos. Los profesionales utilizan diferentes *softwares* especializados y obtienen el resultado gráfico del proyecto a construir el cual es usado para la ejecución de la obra. El plano de detalle de localización de cada subestación nueva es fundamental (Figura 6).

Las estaciones existentes pueden ser levantadas de diferentes formas, a través de Estación Total y escáner terrestre (Figura 7), o bien utilizando datos obtenidos por LiDAR (Figura 8).

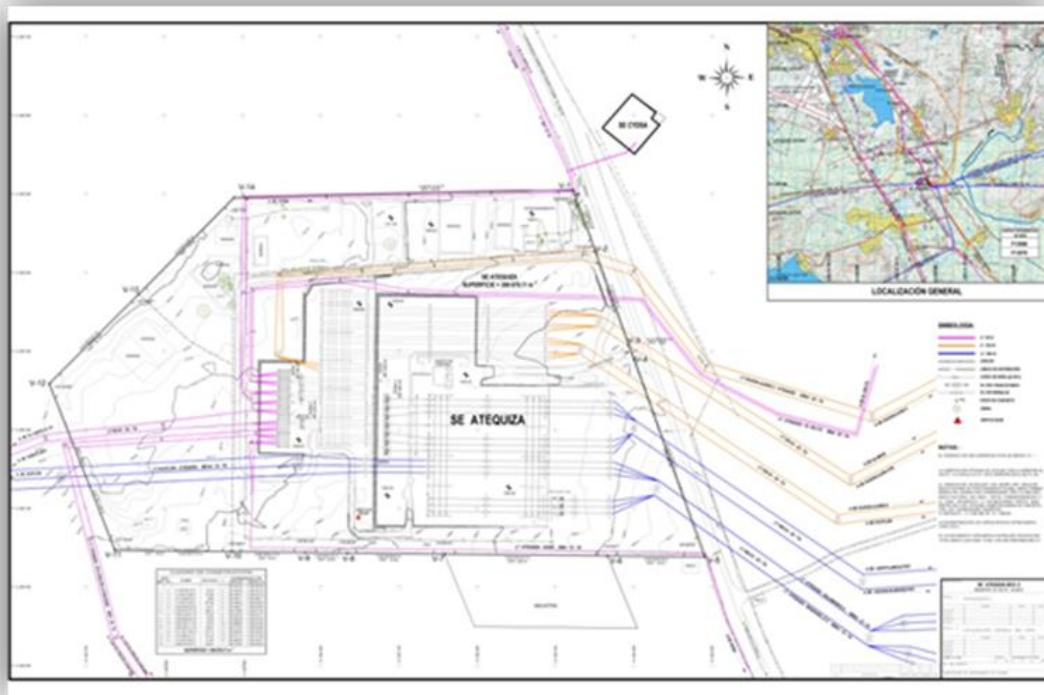


Figura 6- Plano de detalle de localización de una subestación existente

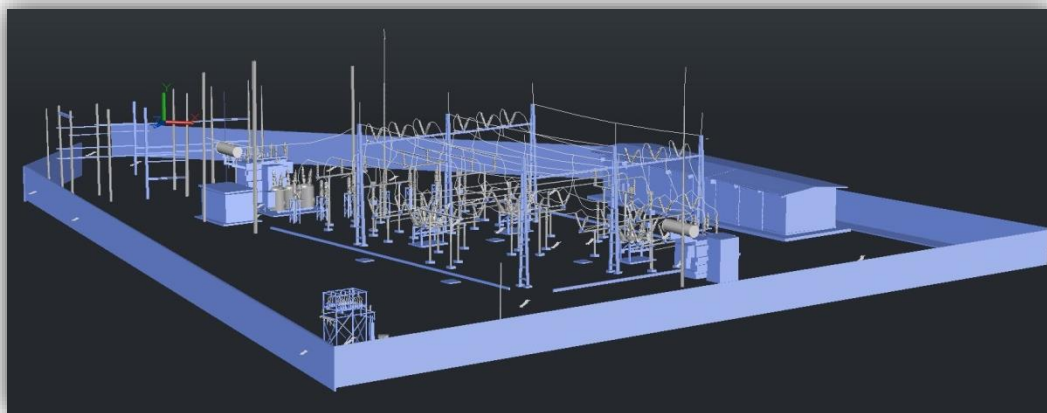


Figura 7 - Representación del sitio de una subestación levantada con Estación Total y escáner terrestre

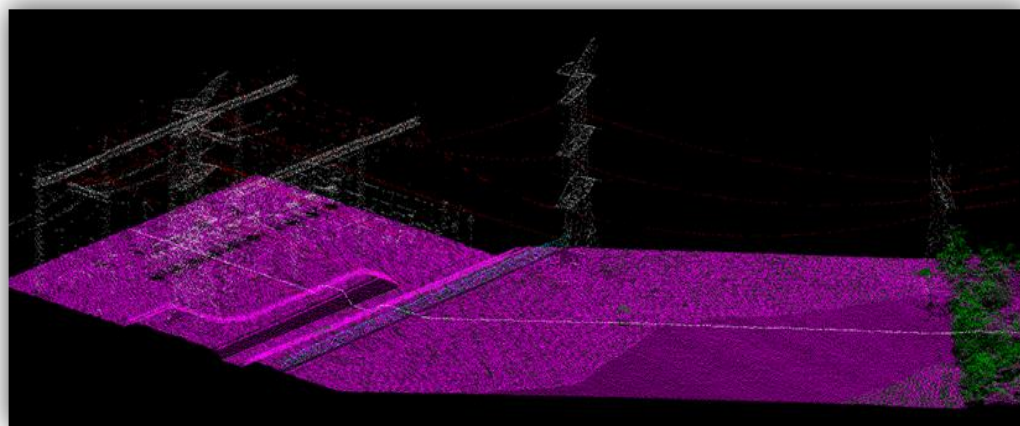


Figura 8 - Representación del sitio de una subestación existente, levantada con LiDAR

3.2 Levantamiento de Líneas de Transmisión

Una vez que el levantamiento topográfico del sitio y/o de las subestaciones está completo y el proyecto de ubicación de las estaciones está definido, se estudia, analiza y define la trayectoria de las líneas como un eje geométrico a través de los puntos de salida, de inflexión intermedios y de llegada.

Durante el desarrollo del proyecto, y con el objeto de seleccionar la trayectoria más viable, se deben realizar análisis para evaluar de manera puntual todos los elementos y segmentos involucrados, de forma similar a como se ejecuta en la localización de sitios para las subestaciones. Así, se deben realizar reconocimientos terrestres durante los cuales se identifiquen los accesos a cada estructura de la línea de transmisión, fijar los puntos de inflexión (PI), los puntos obligados (punto de inflexión usado para situar una estructura autoportante cuando hay dificultades debido el relieve del sitio o elementos urbanos o límites entre propiedades), puntos sobre tangente visibles a gran distancia (PST), los puntos de salida y llegada a subestaciones (o entronques). También se deben identificar los cruzamientos con vías de comunicación o infraestructura de enlace, los diversos tipos de vegetación y las fuentes de contaminación. Se deben contemplar todos los elementos de la zona donde se tiene considerado el proyecto y prospectar potenciales de crecimiento. Toda esta información se debe proyectar en los Planos de Localización General de Trayectoria.

El eje de la trayectoria se debe localizar, trazar, georreferenciar y señalar en campo de acuerdo a lo indicado para los estándares de datos vectoriales. Los PI se deben ubicar en terreno sensiblemente plano o razonablemente alto, nunca en zonas bajas o cúspides de cerros, ni laderas muy pronunciadas, a reserva que lo requiera el proyecto. Además, cuando existe paralelismo entre ejes de líneas de transmisión, las distancias de separación entre ellas deben de ser analizadas por los especialistas electromecánicos, para no exponer la red a futuros problemas o riesgos.

Una vez conocida la trayectoria definitiva debe de representarse en un plano de localización general de trayectoria, representados bajo la base cartográfica de mayor conveniencia para el proyecto, como por ejemplo cartas topográficas (Figura 9), fotografías aéreas, ortofotografías, imágenes satelitales, planos urbanos, etc.

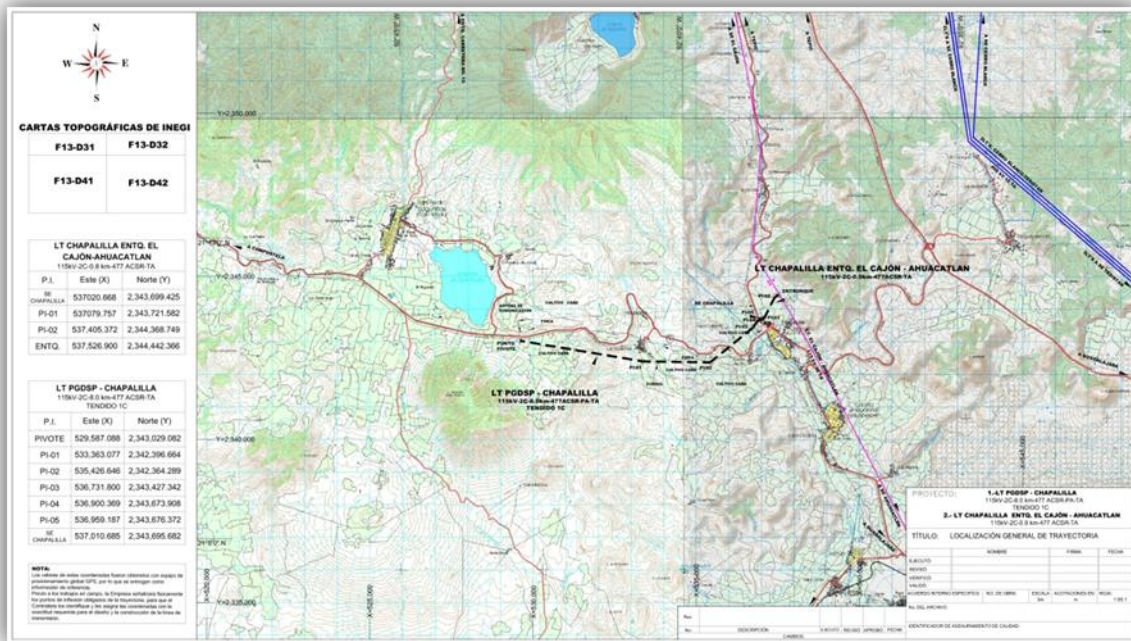


Figura 9 - Plano de localización general de trayectoria

La trayectoria definida por el proyecto electromecánico debe ser materializada en el terreno, para lo cual se debe desarrollar un levantamiento topográfico a detalle, dentro de una franja de, como mínimo, 50m a cada lado del eje de la línea, utilizando cualquiera de las diferentes técnicas y equipos ya mencionados.

Los datos recabados en campo deben permitir identificar los predios con interferencia por el paso de la línea de transmisión, con el objeto de realizar los trámites aplicables para poder dar inicio a la construcción y operación.

Siendo que el levantamiento es planialtimétrico, se deben elaborar los planos de planta y los perfiles del eje de la línea. Terminados los levantamientos y las representaciones, se genera el documento denominado “planta y perfil” y “planta y perfil de proyecto” utilizando aplicativos informáticos especializados permiten desarrollar y superponer cartográficamente todos los elementos de la red eléctrica (Figura 10).

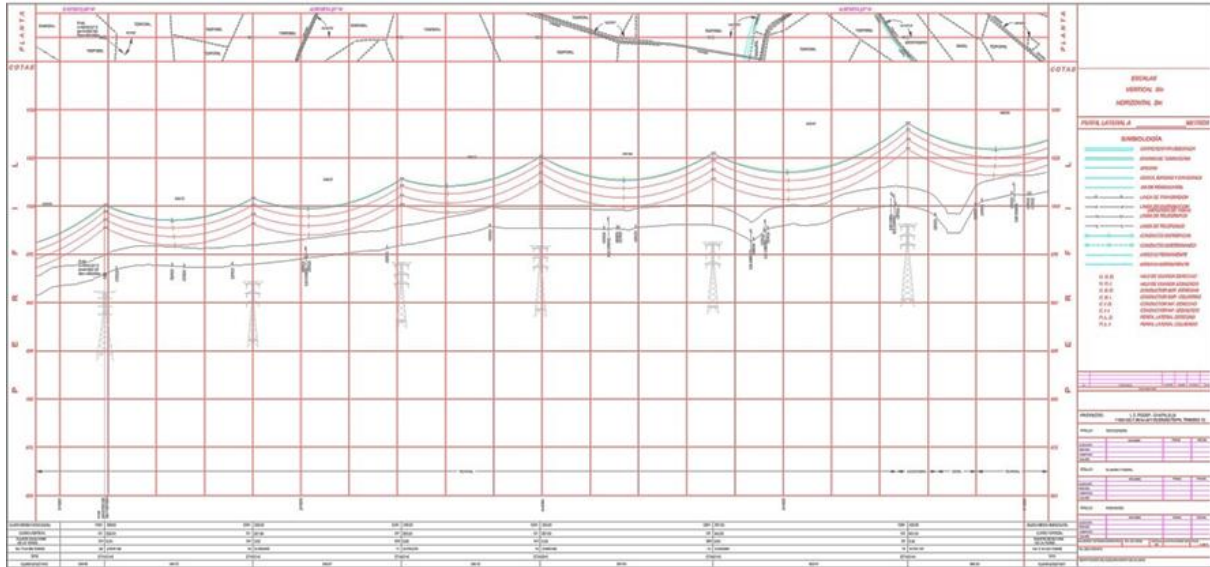


Figura 10 Integración del relieve con el proyecto de red eléctrica

Los datos deben ser sistematizados de acuerdo a las especificaciones vigentes. Los resultados de los posicionamientos geodésicos se lanzan en el denominado “Expediente Geodésico”, el cual es el sustento del posicionamiento de los elementos de la red pues integra todos los datos fundamentales del geoposicionamiento de los puntos de control. Este proceso es crucial puesto que en México hay una gran actividad tectónica que necesario e torna necesario efectuar ajustes muy frecuentemente. El expediente está conformado por los siguientes elementos técnicos, todos referenciados al Datum ITRF 2008 Época 2010.0 referido al Geoide GRS80:

- Archivos correspondientes a las observaciones en campo registrados en el receptor GPS/GNSS.
- Archivos RINEX “CORS” de las estaciones fijas de la Red Geodésica Nacional Activa - RGNA obtenidos de la plataforma oficial de Instituto Nacional de Estadística, Geografía Informática - INEGI.
- Resultado del procesamiento de datos GPS/GNSS, considerando las deformaciones del Marco Geodésico en el tiempo. Adjunto al final una imagen referente a este tema
- Unión de Archivos RINEX de las estaciones fijas de la RGNA, utilizados en el proceso y ajuste de redes.
- Archivo de los puntos de control ligados a la Red Geodésica procesados y ajustados.
- Resultado del procesamiento de Línea Base, indicando el Factor de Escala.
- Informe del ajuste de redes, en formato .html o mht.
- Lista de Vectores producto del Ajuste de Redes.

- Archivo en formato “*.kml” que muestre las redes procesadas y ajustadas, al igual que las estaciones oficiales utilizadas y los puntos de control establecidos.
- Ficha de registro de datos de campo.

Se genera, además, el denominado Registro de Puntos del Levantamiento (Tabla 2). Este importante documento muestra todos los puntos que se obtengan durante un levantamiento como resultado numérico de la conjunción de los vectores X, Y, Z.

Tabla 2 - Registro de Puntos del Levantamiento

No.	Este (X)	Norte (Y)	Altura Ortométrica (Z)	Código	Descripción
Número de punto	Valor de la coordenada X referida al ITRF08 época 2010.0	Valor de la coordenada Y referida al ITRF08 época 2010.0	Valor de la altura referida al GGM10	Código del punto según el catálogo de puntos topográficos	Descripción del punto según el catálogo de puntos topográficos

La tecnología LiDAR también es utilizada por las empresas de energía eléctrica para los levantamientos topográficos. Los resultados, además de precisos, son más abundantes y se obtienen en tiempos más cortos que en los levantamientos topográficos tradicionales, aportando mayor cantidad y seguridad. La nube de puntos obtenida a través de LiDAR permite generar los perfiles del terreno e integrarlos a los elementos de la red eléctrica (Figura 11).



Figura 11 - Perfil del terreno generado a partir de datos LiDAR integrado con el proyecto eléctrico

La tecnología LiDAR tiene otras aplicaciones en los casos en que las redes eléctricas aéreas ya están operando y sus elementos ubicados en la superficie. La clara visibilidad de los cables conductores permite también repotenciar y recalibrar las líneas (Figura 12), analizar invasiones, posicionar estructuras en su ubicación proyectada, entre otras acciones.

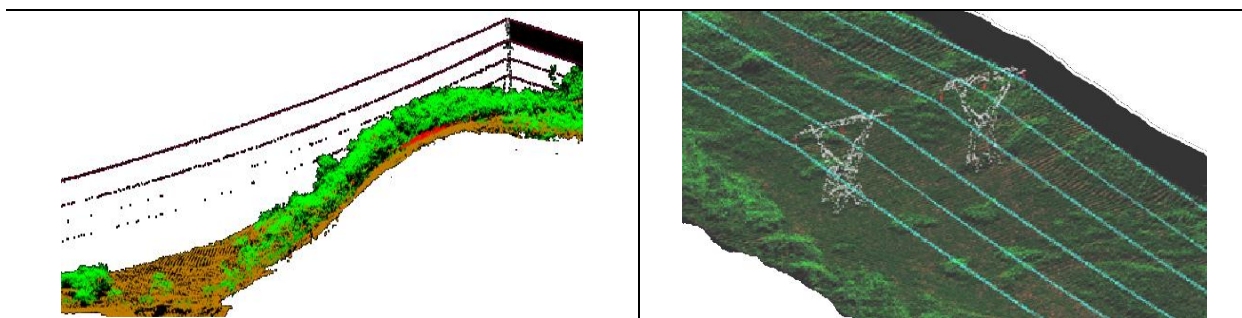


Figura 12 - Representación de las líneas de transmisión a partir de datos LiDAR para toma de decisiones

Drones también son utilizados para los levantamientos de los sitios potenciales para las subestaciones, las fajas bajo las líneas de transmisión y de las redes ya instaladas. Esta tecnología reduce tiempos de ejecución y costos. La secuencia de operaciones es similar a la seguida por la fotogrametría tradicional: verificación de los lineamientos de la legislación vigente para el uso y manejo de drones, diseño del plan de vuelo, colocación de puntos de control terrestre con GPS/GNSS, ejecución del vuelo, procesamiento de las imágenes obtenidas y generación de los productos cartográficos entre los cuales se destacan:

- Ortofotos u Ortomosaicos, temático y de precisión,
- Modelos Digitales de Elevación,
- Modelo Digital de Terreno,
- Modelo Digital de Superficie,
- Modelos de Vegetación,
- Curvas de Nivel y Perfiles.
- Insumos para formatos BIM

Sobre este material se realizan análisis geoespaciales que permite agilizar la toma de decisiones y definir los proyectos y monitoreo de los existentes a través de las siguientes acciones:

- Inspección de video en tiempo real,
- Impresión de maquetas 3D,
- Recorridos Virtuales a lo largo de las líneas,
- Cálculos de volumetría.

La integración en ambiente SIG de todos los datos obtenidos a través de las diferentes técnicas presentadas hasta aquí, permiten generar representaciones espaciales y realidad modelos de simulación en un juego prospectivo sobre la estructura final del proyecto (Figura 13).

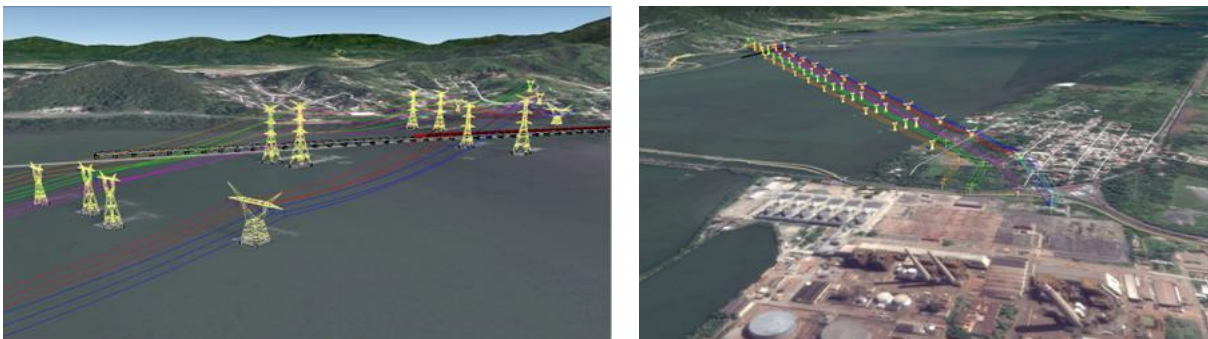


Figura 13 – Anteproyecto de red eléctrica con todos los elementos estructurantes

En el caso de las líneas de transmisión subterráneas el levantamiento también se realiza a través de técnicas topográficas con especificaciones similares a las correspondientes a las redes aéreas. No obstante, en este tipo de levantamientos se le da mucho cuidado a las dimensiones de las instalaciones existentes y elementos que se encuentren en la superficie puesto que es de suma importancia realizar el denominado censo de instalaciones, el cual consiste en un levantamiento puntual en la trayectoria mediante un Radar de Penetración Terrestre (RPT). Este levantamiento permite identificar si en el subsuelo la trayectoria proyectada no se verá obstaculizada por alguna tubería, cables de energía eléctrica o de comunicación, raíces de árboles, discontinuidades estratigráficas, fracturas, cavernas o rellenos.

Independiente del tipo de línea, aérea o subterránea, los levantamientos deben contemplar varios detalles importantes destinados a estructurar bases de datos y elaborar mapas multitemáticos entre los cuales se destacan:

- Linderos y uso del terreno (agrícola, forestal, urbano, industrial, turístico, etc.)
- Ríos, arroyos, escurrimientos pluviales, canales, drenes.
- Lagunas, esteros, presas, zonas inundables, pantanos.
- Carreteras, caminos, brechas, puentes, vías férreas, ductos, líneas eléctricas, telefónicas, telegráficas.
- Tipo y altura de construcciones.
- Tipos de vegetación, sembradíos, huertas, arboledas y sus alturas en el momento y máximas de su crecimiento.

Finalizado el proyecto eléctrico, la topografía interviene en la localización de estructuras donde se suspenderán los cables de alta tensión y la obtención de perfiles para determinar los niveles de cada una de las estructuras a instalar de acuerdo al proyecto. Una vez que se cuenta con toda la información, se da inicio a la construcción, período durante el cual el ingeniero topógrafo responsable de la obra realiza los trazos correspondientes a las cimentaciones, verifica la verticalidad y armado de las estructuras, supervisa la instalación de aisladores, verifica la tensión de los cables conductores y da por concluida la obra.

4. CATASTRO DE REDES ELÉCTRICAS

El catastro de redes es uno de los catastros temáticos esenciales del modelo multifinalitario. Los sitios donde se ubican las subestaciones y las fajas de interferencia bajo las líneas de transmisión no solo tienen connotaciones físico/geométrica de dimensión y ubicación, sino también jurídicas. La implementación de una red implica posibles expropiaciones, interferencia por servidumbres en el espacio aéreo, en la superficie y debajo de ella. Es una complejidad de RRR (por sus siglas en inglés *Rights, Restrictions and Responsibilities*) genera una complejidad de geometrías que se intersecan y se tocan en el espacio que solo pueden ser levantadas y representadas bajo las modernas tecnologías 3D.

Cada uno de esos espacios, además, debe ser valuado correctamente puesto que cada m³ (ya no más m²) forma parte del cada vez más complejo mercado inmobiliario.

En cuanto al software, la mayoría de los elementos de la red eléctrica aún se encuentran en un entorno CAD. El aplicativo Civil3D se utiliza para interpretar las nubes de puntos obtenidas con LiDAR mientras que el procesamiento de ortofotos se hace principalmente con Arcgis. Este aplicativo también es utilizado para administrar la base de datos de elementos de la red de servicios eléctricos: subestaciones eléctricas, subestaciones de elevación, subestaciones de conmutación y línea de transmisión eléctrica el cual, y si bien se realiza en 2D, crea un entorno fértil para estructurar un catastro 3D en un entorno SIG 3D.

El sistema que administra la base de datos se denomina GESEN - Georreferenciación del Sistema Eléctrico Nacional desarrollado bajo la plataforma comercial Arcgis de Esri. Contiene la las Líneas de Transmisión y las Subestaciones Eléctricas totalmente georreferenciadas y permite actualizar y consultar la información de manera permanente.

La geodatabase es relacional está constituida de numerosas tablas de datos para cada uno de los elementos de la red. Las Figura 14 y Figura 15 muestran dos ejemplos.

CAMPO	DESCRIPCIÓN	TIPO Y ANCHO
ORIGEN	Nombre de la SE de origen.	Texto (100)
DESTINO	Nombre de la SE de destino.	Texto (100)
NOMENCLA	Nomenclatura asignada por el Centro Nacional de Control de Energía.	Texto (5)
TENSION	Tensión diseñada en kV.	Texto (4)
LONG_KM	Longitud en km.	Doble
CALIBRE	Calibre del conductor.	Texto (15)
TIPOCON	Tipo de conductor.	Texto (15)
ZUTM	Zona UTM donde se asienta el proyecto.	Texto (2)
RESIDENCIA	Residencia responsable de la zona del proyecto.	Texto (2)
OBSERV	Cualquier observación si existe.	Texto (255)

Figura 14 - Tabla de Circuitos Subterráneos de la Geodatabase del GESEN

TORRES		
CAMPO	DESCRIPCIÓN	TIPO Y ANCHO
CIRC 1	Nombre del circuito en orden de mayor relevancia y voltaje.	Texto (100)
CIRC 2	Nombre del circuito 2 siguiente en orden de mayor relevancia y voltaje.	Texto (100)
CIRC 3	Nombre del circuito 3 siguiente en orden de mayor relevancia y voltaje.	Texto (100)
CIRC 4	Nombre del circuito 4 siguiente en orden de mayor relevancia y voltaje.	Texto (100)
CIRC 5	Nombre del circuito 5 siguiente en orden de mayor relevancia y voltaje.	Texto (100)
CIRC 6	Nombre del circuito 6 siguiente en orden de mayor relevancia y voltaje.	Texto (100)
NOMCLA1	Nomenclatura del circuito 1 asignada por el CENACE.	Texto (5)
NOMCLA 2	Nomenclatura del circuito 2 asignada por el CENACE.	Texto (5)
NOMCLA 3	Nomenclatura del circuito 3 asignada por el CENACE.	Texto (5)
NOMCLA 4	Nomenclatura del circuito 4 asignada por el CENACE.	Texto (5)
NOMCLA 5	Nomenclatura del circuito 5 asignada por el CENACE.	Texto (5)
NOMCLA 6	Nomenclatura del circuito 6 asignada por el CENACE.	Texto (5)
NEST1	No. de la estructura según CIRC1.	Texto (20)
NEST2	No. de la estructura según CIRC2.	Texto (20)
NEST3	No. de la estructura según CIRC3.	Texto (20)
NEST4	No. de la estructura según CIRC4.	Texto (20)
NEST5	No. de la estructura según CIRC5.	Texto (20)
NEST6	No. de la estructura según CIRC6.	Texto (20)
CODIGO	Código de la estructura según catálogo del Departamento de Diseño de Líneas.	Texto (14)
1 TIPO	Tipo de estructura.	Texto (4)
NCIRC	No. de circuitos de diseño de la estructura.	Entero corto
TENSION	Tensión de diseño de la estructura en kV.	Texto (4)
2 USO	Uso de la estructura.	Texto (14)
3 CIMENTA	Tipo de cimentación.	Texto (15)
PI	Punto de inflexión.	Texto (12)
X	Coordenada de Longitud de la Zona UTM que corresponda.	Doble
Y	Coordenada de Latitud de la Zona UTM que corresponda.	Doble
Z	Elevación sobre el nivel medio del mar.	Doble
RESIDENCIA	Residencia responsable de la zona del proyecto.	Texto (2)
OBSERV	Cualquier observación si hay.	Texto (255)

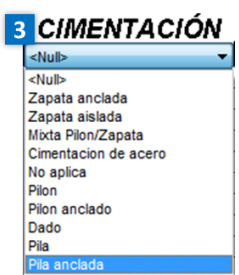
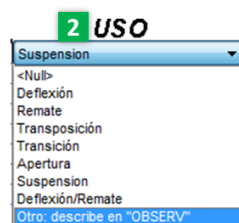


Figura 15 - Tabla de Torres de la Geodatabase del GESEN

La base de datos cartográficos del GESEN está conformada por cuatro capas:

- Capa Torres
- Capa Circuitos (líneas de transmisión) Subterráneos
- Capa Circuitos
- Capa subestaciones Eléctricas.

La representaciones son todas 2D cada elemento de la red cuenta con un símbolo específico.

5. PERSPECTIVA DE UN CATASTRO 3D DE LAS REDES ELECTRICAS

Los usuarios del catastro de redes actualmente lidian con sistemas 2D. La Figura 14 es ciertamente la más representativa de la connotación espacial de una red eléctrica, muestra sus elementos en 3D, posicionados sobre el relieve en 3D, todo lo cual evidencia la posibilidad concreta de construir un catastro 3D en cuya base de datos estén ubicados y representados todos sus elementos en el espacio y el tiempo.

Consolidar el uso de un catastro 3D de las redes eléctricas implica también incorporar las más modernas técnicas de visualización que permitan dar realce y transparencia a los cuerpos representados en 3D, realizar generalizaciones en 3D, efectuar anotaciones en 3D, publicar datos

3D en la web, potenciar el uso de realidad aumentada, de los ambientes virtuales inmersivos y de las técnicas de interacción y tiempo. Tener un catastro 3D trae aún más oportunidades de visualización clara de la realidad modelada al facilitar la comprensión de diferentes relaciones espaciales como superposiciones en 3D, contacto de parcelas ubicadas por encima y por debajo de la superficie, intersecciones de restricciones en el espacio (como las que están presentes bajo las líneas de transmisión). El ambiente 3D permite también realizar medidas en 3D, aumentando el nivel de intervención de los proyectistas e interacción de los usuarios con los datos de la red.

Entre los aplicativos con capacidad de visualización 3D, útiles para la estructuración de catastros 3D para redes se destacan: los de diseño asistido por computadora (CAD), los sistemas de información geográfica (SIG) y los visores 3D sin opciones de edición. Un ejemplo de este último es el conocido formato Adobe Acrobat, que también propone una opción para el manejo de archivos PDF en 3D y ofrece opciones mínimas para modificar el color, la transparencia y la proyección. Google también propone un globo tridimensional (Google Earth) que incluye la visualización de edificios en 3D para algunas ciudades del mundo.

La tercera dimensión en el sistema catastral generaría nuevas oportunidades para los técnicos e inclusive para nuevos usuarios de datos eléctricos. Interactuar con la visualización 3D de datos catastrales es útil para identificar y comprender el límite geométrico tridimensional de las parcelas, medir dentro y fuera de las unidades de propiedad horizontal 3D, encontrar objetos adyacentes a un objeto legal 3D, tanto vertical como horizontalmente, identificar los Derechos, Responsabilidades y Restricciones (RRR), bien como los volúmenes de fusión o subdivisión. El catastro 3D permitirá rastrear otras redes e infraestructuras de servicios públicos (túneles y puentes), controlar su proximidad con límites de propiedad y detectar intersecciones espaciales, verificar visualmente la validez espacial de nuevos proyectos sin superposición entre volúmenes vecinos y sin huecos 3D indeseados.

La base de datos alfanumérica de la CFE está pronta para operar en ambiente SIG 3D. Si bien las representaciones de los elementos aún están en 2D, contar con datos descriptivos de las estructuras construidas en las subestaciones y de las líneas de transmisión permitirán a corto plazo componer los cuerpos en un nuevo y renovado ambiente SIG.

El posicionamiento planimétrico de los objetos territoriales no presenta mayor dificultad para las redes en México, una vez que fue establecido el sistema de referencia el elipsoide ITRF08, época 2010.0, mientras que para determinar las alturas el país adoptó y el Geoide Gravimétrico del 2010 GGM10. Así, el país cuenta con el sistema de referencia espacial completo para el posicionamiento de cada elemento de la red en 3D.

La altura elipsoidal se adopta con eficiencia para posicionar parcelas urbanas puesto que no presenta ambigüedades y puede obtenerse con precisión adecuada al catastro en un momento determinado. En este sentido, siendo que los movimientos tectónicos tienen sus efectos conocidos a partir de las mediciones oficiales de desplazamientos, es perfectamente posible correlacionar las coordenadas de un mismo objeto en el espacio en dos épocas distintas. No obstante, ante la magnitud del espacio geográfico cubierto por la CFE, la altura elipsoidal no es suficiente para atender sus necesidades siendo obligatorio el uso de la altura ortométrica para posicionar los elementos de la red.

La ingeniería topográfica mexicana cuenta con técnicos experimentados y los más modernos

instrumentos de levantamiento. La integración de datos provenientes de multifuentes está en funcionamiento y las representaciones a partir de modelos 3D están en auge, no obstante, el territorio y los objetos aún se representan a través de los tradicionales mapas, planos y perfiles. En este contexto, la perspectiva es que el grupo que administra la base de datos geográfica comience a representar los elementos a través de cuerpos en vez de figuras, y que las posiciones en el espacio en vez de en un plano de proyección.

Referencias bibliográficas

ESPECIFICACIONES PARA LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS ESPECIFICACIONES CPTT-DSS-002/17.

ESPECIFICACIÓN PARA LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CPTT-DSS-001/05.

ESPECIFICACIONES PARA LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON TECNOLOGÍA LIDAR AEROTRANSPORTADO.

Diccionario de Datos Geodésicos (INEGI).

Diccionario de Datos Toponímicos (INEGI).

Diseño para Caminos de Acceso a Subestaciones Especificación CFE-10100-68

Especificación Para Levantamientos Topográficos de Líneas de Transmisión CPTT-DSS-001/05.

Gobierno de México. (2013). Plan Nacional de Desarrollo. 12/09/2015, de Gobierno de la Republica Sitio web: <http://pnd.gob.mx/>.

Geoide Gravimétrico Mexicano (INEGI).

ISO 19111:2009 Información Geográfica - Sistemas de referencia espaciales por coordenadas.

NOM-008-SCFI-2002 Norma Oficial Mexicana, Sistema General de Unidades de Medida.

Norma para la autorización de Levantamientos Aéreos y Exploraciones Geográficas en el Territorio Nacional (INEGI).

Norma Técnica de Estándares de Exactitud Posicional (INEGI).

Norma Técnica para el Sistema Geodésico Nacional (INEGI).

Norma Oficial Mexicana NOM-014-SCT3-1995 (SCT).

Harper, Gilberto Enríquez (2014). Los Conceptos Básicos de la Generación Transmisión, Transformación y Distribución de la Energía Eléctrica. México D.F.: LIMUSA.

Moreno Vázquez, Rigoberto Alejandro (2015). Propuesta de Libro de Texto: Topografía Aplicada para el Diseño y la Construcción de Subestaciones Eléctricas y Líneas de Transmisión de Energía Eléctrica” Tesis, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Tonala.