

USO DE LA INFORMACIÓN DEL GIS EN EL ANÁLISIS DE LOS YACIMIENTOS PETROLÍFEROS

Juan Manuel Gers
Presidente
GERS USA LLC
Weston, FL, USA
jmgers@gersusa.com

Ricardo Cardona
Departamento de TexasGERS
USA LLC
Midland, TX, USA
rcardona@gersusa.com

Resumen - Este documento presenta la importancia de utilizar la tecnología avanzada de los SIG en la recopilación de información de campo para la industria del petróleo y el gas. Esto mejora la eficiencia del proceso y permite una mejor y más confiable representación de los sistemas eléctricos para el respectivo análisis del sistema. El proceso se ilustra con un caso real llevado a cabo en la Cuenca Pérmica del Oeste de Texas.

Palabras clave - GIS, ArcGIS®, ArcGIS® Online, Neplan®, IEEE®, IEC®, NFPA®, Collector App, Shapefile, Geodatabase - GDB.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, hay más de 185.000 pozos petrolíferos activos en el estado de Texas [1] conectados a la red eléctrica que requieren un suministro de energía permanente para garantizar la producción de 4 MBOPD (una producción ligeramente superior a la producción diaria de los Emiratos Árabes Unidos, cercana a los 3,8 MBOPD). Este nivel de producción requiere un suministro de 6.619 millones de kilovatios-hora/día equivalente al consumo medio diario de electricidad de 229 millones de hogares en Estados Unidos.

Este consumo obliga a los operadores de distribución de energía a garantizar la disponibilidad de energía eléctrica en todo momento y a mantener los más altos niveles de fiabilidad y calidad. El primer paso para determinar el funcionamiento óptimo de la red es conocer cada uno de los componentes eléctricos que la componen. La mayoría de las empresas de petróleo y gas desconocen la cantidad total de activos que tienen en sus campos petrolíferos. El desconocimiento del número de activos se debe a varios factores como las grandes extensiones de terreno, las ubicaciones remotas, la falta de trazabilidad de los cambios en la red eléctrica, las limitaciones en el presupuesto de operación y mantenimiento y la limitada estandarización para la gestión de la información. Según nuestra experiencia, el factor predominante para el desconocimiento del número total de activos se debe a la limitada estandarización de la gestión de la información o a la falta de estandarización. A primera vista, el proceso de recopilación de información puede parecer un proceso básico y repetitivo; sin embargo, si no se hace de la manera correcta, podría llevar a las empresas de petróleo y gas a un limbo en el que ignoran lo que tienen en el campo porque todos sus asociados ven la información desde perspectivas diferentes y la utilizan con fines distintos.

En el mercado existen varias herramientas diseñadas para manejar grandes volúmenes de información mediante el uso de la tecnología SIG. Esta tecnología comenzó con la creación de un marco para una base de datos capaz de almacenar y analizar enormes cantidades de datos. Más tarde, los sistemas SIG tuvieron

la capacidad de realizar análisis espaciales integrando métodos cartográficos.

Los sistemas GIS permiten crear una base de datos completa de cualquier sistema, lo que resulta muy útil para modelarlo y analizarlo.

Para nuestro estudio de caso, utilizamos las plataformas ArcGIS® y ArcGIS® Online por su capacidad de recopilar información incluso sin tener conexión a Internet en los lugares más remotos de los campos petrolíferos.

El proceso de recopilación de la información es complejo, muy detallado y requiere mucho tiempo, pero debe realizarse con gran precisión para garantizar la fiabilidad de los datos y, por consiguiente, de los resultados obtenidos de los módulos que los utilizan. Este es el caso, en particular, de los yacimientos petrolíferos que tienen un número muy elevado de componentes eléctricos. En los siguientes párrafos se explica una metodología para llevar a cabo la recogida de información.

Para modelar adecuadamente los sistemas de distribución que alimentan los campos petrolíferos, es necesario conocer la longitud total de las líneas eléctricas, los postes primarios y secundarios, los dispositivos de protección, los transformadores de distribución y de potencia, los variadores de frecuencia, los arrancadores suaves, los paneles, los bancos de condensadores, los bancos de reguladores de tensión, los interruptores, los motores y las cargas. El número de componentes eléctricos del modelo eléctrico estará ligado a los motores instalados en el campo y en función de la precisión deseada. Este número de componentes podría ser de 10 a 20 veces la cantidad de motores, es decir, para un yacimiento petrolífero con 1.000 pozos productores, el número de componentes eléctricos a modelar oscilaría entre 10.000 y 20.000. La relación entre el número de componentes eléctricos y el número de motores se obtuvo a partir de nuestra experiencia en la recopilación de información sobre el terreno. Partiendo de esta base, para 185.000 motores, el número de componentes eléctricos sería superior a 1.850.000 y, por tanto, es esencial un enfoque adecuado para la recogida de información, ya que un simple proceso de recogida puede convertirse en un quebradero de cabeza. Por otra parte, es necesario disponer de un estándar de recogida personalizado que permita a cada empresa de petróleo y gas conocer su número total de activos de forma eficiente y manteniendo la precisión adecuada.

II. IDENTIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN

En el proceso de identificación de la información, es aconsejable clasificar los componentes eléctricos en dos categorías,

componentes de alta tensión y componentes de baja tensión. Para ambas categorías, es necesario definir los parámetros mínimos que se recogerán sobre el terreno.

A. Componentes de alta tensión:

En esta categoría se consideran los componentes eléctricos con tensiones nominales superiores a 1.000 V, como por ejemplo

1. Líneas primarias aéreas/subterráneas (tamaño del cable, número de fases, aislamiento, longitud)
2. Postes primarios (altura, configuración del brazo transversal, material de los postes, número de circuitos, descargadores de sobretensión)
3. Condensadores de alta tensión (fabricante, kvar nominal, tensión nominal, estado de funcionamiento)
4. Interruptores automáticos de alta tensión y seccionadores (fabricante, modelo, ajustes de protección, transformadores de corriente, estado de funcionamiento)
5. Reconectores (Fabricante, modelo, ajustes de protección, transformadores de corriente, estado de funcionamiento)
6. Fusibles de línea y de transformador (fabricante, modelo, tamaño, tipo)
7. Transformadores de distribución y de potencia (Fabricante, número de latas, kVA por lata, impedancia por lata, tensión nominal por lata, grupo de conexión, puesta a tierra, tipo de refrigeración)
8. Reguladores de tensión (Fabricante, corriente nominal, tensión nominal, pasos, esquema de conexión)
9. Contador primario (Ubicación, serie)

B. Componentes de baja tensión:

En esta categoría se consideran los componentes eléctricos con tensiones nominales inferiores a 1.000 V, como por ejemplo

1. Líneas/cables secundarios aéreos/subterráneos (tamaño del cable, número de fases, aislamiento, longitud)
2. Paneles principales de desconexión y de motor (Dimensiones, tamaño / tipo de protección / fabricante / modelo / unidad de disparo / ajustes / configuración de electrodos / orientación)
3. Condensadores de baja tensión (Fabricante, kvar nominal, tensión nominal, estado de funcionamiento)
4. Motores (fabricante, potencia, tensión nominal, corriente nominal, factor de potencia, rpm, factor de servicio, dispositivo de arranque del motor, hojas de datos)
5. Generadores (Fabricante, MW, factor de potencia, hojas de datos)
6. Postes secundarios (altura, configuración del brazo transversal, material de los postes, número de circuitos)
7. Transformadores de baja tensión (Fabricante, kVA, impedancia, tensión nominal, grupo de conexión, puesta a tierra, tipo de refrigeración)
8. Interruptores automáticos de baja tensión (fabricante, modelo, ajustes de protección, transformadores de corriente, estado de funcionamiento)
9. Relés (fabricante, modelo, ajustes de protección, transformadores de corriente, estado de funcionamiento)
10. Contador secundario (Ubicación, serie)

III. RECOGIDA DE INFORMACIÓN CREACIÓN DE PLANTILLAS

Una vez identificados los parámetros mínimos a recoger en el campo, el siguiente paso es crear una metodología estandarizada para la recogida masiva de datos. El estándar de recogida de información es el nervio central del proceso de modelización de los componentes eléctricos del sistema de distribución para lograr la adecuada representación de las condiciones reales en el campo. El estándar se basa en la creación de plantillas de recogida de parámetros para cada componente eléctrico utilizando la plataforma ArcGIS®, representando los componentes como líneas y puntos.

En ArcGIS®, cada componente eléctrico se identificará como una característica y sus parámetros se conocerán como atributos. La creación de valores predefinidos será posible si existen bibliotecas de componentes antes de la creación de las plantillas o si dichas bibliotecas se están creando a medida que avanza la recopilación de información. Los valores predefinidos se conocerán como dominios y, en algunos casos, diferentes componentes pueden compartir el mismo dominio. Para terminar de crear las plantillas, es necesario definir la relación entre características y especificar las reglas de topología para construir la red eléctrica. Todas las características, atributos, dominios, clases de relación y reglas de topología conforman lo que se conoce como geodatabase o GDB. Cuando la GDB está terminada, puede publicarse para que el personal de campo pueda acceder a ella en sus dispositivos móviles y empezar a recoger la información. La GDB puede incluir la recopilación de fotos y otros tipos de archivos en función de la capacidad de almacenamiento de los servidores de ArcGIS® Online o de los dispositivos móviles.

Tabla 1 muestra los componentes eléctricos con su respectiva representación.

Tabla 12. Representación de los componentes eléctricos en ArcGIS®.

Representación	Componente
Línea	<ol style="list-style-type: none"> 1. Líneas primarias aéreas/subterráneas 2. Líneas/cables secundarios aéreos/subterráneos
Punto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Polos primarios 2. Condensadores de alta tensión 3. Interruptores automáticos de alta tensión y seccionadores 4. Reconectores 5. Fusibles de línea y de transformador 6. Transformadores de distribución y de potencia 7. Reguladores de tensión 8. Paneles de desconexión principal y del motor 9. Condensadores de baja tensión 10. Motores 11. Generadores 12. Postes secundarios 13. Transformadores de baja tensión 14. Disyuntores de baja tensión 15. Relés

IV. PUBLICACIÓN DEL BGF

Para empezar a recopilar la información utilizando el GDB, es necesario publicarlo en los servidores de ArcGIS® Online, ya que el propio GDB sólo contiene líneas y puntos y no permite identificar la zona en la que se requiere la recopilación de información. En ArcGIS® Online, se creará un mapa para la zona evaluada y se cargará el GDB en este mapa para recoger la información. ArcGIS® permite dos métodos de recogida de información sobre el terreno, en línea o fuera de línea. La recopilación en línea requiere una conexión permanente a Internet, por lo que es imposible utilizarla en lugares remotos donde no hay cobertura de red. Es aquí donde la funcionalidad offline de ArcGIS® juega un papel clave en la recogida de información ya que permite obtener los datos sin conexión a internet y una vez que se dispone de conexión a internet, los datos pueden ser sincronizados en los servidores online de ArcGIS® permitiendo el acceso de otros miembros del equipo desde cualquier parte del mundo. En el mercado existen diferentes aplicaciones alternativas para recoger información sobre el terreno. Sin embargo, ArcGIS® es la aplicación que permite una mayor flexibilidad para la creación de BGFs personalizados y la migración de la información a diversas plataformas de simulación de sistemas de energía.

V. RECOGIDA DE INFORMACIÓN

Una vez publicado el GDB en los servidores de ArcGIS® Online, el siguiente paso es compartir el mapa con las cuadrillas de campo que recogerán la información. Las cuadrillas pueden utilizar diferentes dispositivos para recoger la información, como teléfonos inteligentes, tabletas u ordenadores, a través de la aplicación denominada ArcGIS® Collector. Para garantizar una óptima recogida de información, es recomendable disponer de dispositivos externos del Sistema Global de Navegación por Satélite - GNSS para obtener coordenadas precisas de la ubicación del componente y de cámaras de largo alcance para leer la información de sus placas. En cuanto a la información de la altura de los postes y el tamaño de los brazos transversales, será necesario conectar dispositivos de medición láser al dispositivo de recogida de información. Actualmente, en el mercado existen diferentes alternativas de láser para la medición de estructuras que permiten conectarse al smartphone o iPhone a través de una conexión Bluetooth o Wi-Fi. Dependerá del presupuesto del cliente qué dispositivos se utilizarán, ya que sus precios son del orden de los miles de dólares. Además de la medición láser, es necesario medir el tamaño del conductor por sección de línea para calcular la carga del circuito necesaria para el modelo de la red de distribución. Se recomienda que el dispositivo de recogida de información tenga suficiente capacidad de almacenamiento, ya que los datos de un solo alimentador pueden ocupar de 2 a 3 Gb de almacenamiento.

En general, un sistema de distribución tiene múltiples alimentadores que cubren áreas del orden de kilómetros cuadrados, lo que dificulta la recogida de información debido al tamaño de la red eléctrica. Para no fracasar en el intento de comenzar con la recogida de información, es fundamental definir una estrategia adecuada en la que se identifique el punto de partida y de llegada de cada uno de los alimentadores. La recogida de información en una red de distribución puede ser compleja debido al gran número de componentes y parámetros eléctricos que deben recogerse para garantizar una buena representación de la red eléctrica. Figura 1 muestra una red de distribución típica en un campo petrolífero.

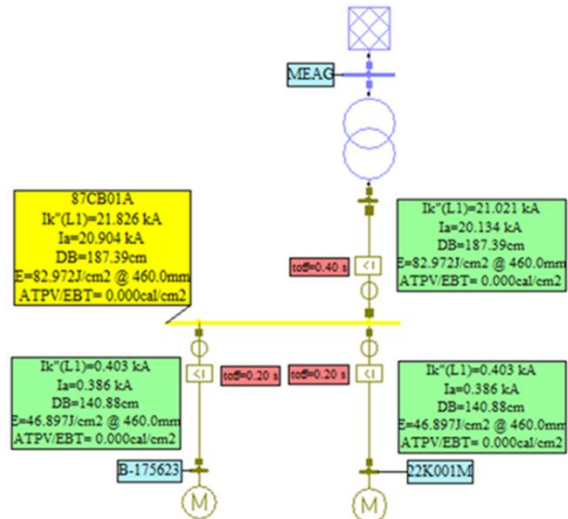


Figura 12. Típica red de distribución. Foto: Neplan®.

Las siguientes imágenes presentan la información que debe recogerse sobre el terreno para los equipos descritos en la sección II.

La figura Figura 3 muestra dos ejemplos de medición del calibre de un conductor primario. La Figura 5 polo primario. La Figura 7 una batería de condensadores y su placa. La Figura 8 reconector y su archivo de configuración. La Figura 10 eslabón fusible. La Figura 11 transformador reductor y su placa. La Figura 13 reguladores de tensión y su placa. La Figura 14 panel de desconexión principal y sus dispositivos de protección. La Figura 16 condensadores de baja tensión. La Figura 17 parámetros. La Figura 18 generador de gas y su información. La Figura 19 contador de la red eléctrica.



Figura 34. Líneas aéreas primarias y secundarias



Figura 56. Polos primario y secundario



Figura 7. Placas del banco de condensadores de alta tensión

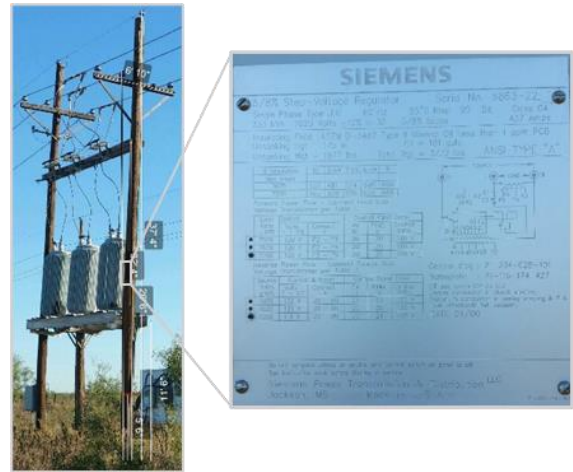


Figura 13. Placas reguladoras de tensión



Figura 89. Reconectores, disyuntores de alta tensión, seccionadores y relés



Figura 1415. Paneles de desconexión principal y del motor



Figura 10. Fusibles de línea y de transformador



Figura 1112. Placas de transformadores de distribución y de potencia



Figura 16. Condensadores de baja tensión



Figura 17. Placas del motor



Figura 18. Placas del generador



Figura 19. Contadores primarios y secundarios

La recopilación de información comienza en la subestación de la que parten los alimentadores. Para cada alimentador, es necesario determinar el tamaño del conductor, su número de polos y cada una de sus ramas. Para cada uno de los componentes eléctricos del alimentador, hay que recopilar los parámetros mínimos. Para todos los componentes, se recomienda verificar su estado de funcionamiento, hacer fotos de seguridad y descargar los archivos de configuración de las protecciones.

VI. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Esta etapa del proceso consiste en verificar la consistencia de la información recogida en el campo en busca de parámetros fuera de los rangos típicos o de información faltante. En caso de inconsistencia, será necesario utilizar los parámetros típicos recomendados por las normas IEEE, IEC y NFPA correspondientes en función del tipo de componente evaluado. Aunque la etapa de

recogida de información se considera el nervio central de la modelización, la correcta interpretación de los datos tomados en campo dependerá del procesamiento de la información. Una vez procesada toda la información, se puede realizar el ajuste entre líneas y puntos para validar la topología de la red.

VII. MIGRACIÓN DE MODELOS GIS

Una vez terminado el procesamiento de la información, el archivo GDB en ArcGIS® está completo y representa la topología de la red. Sin embargo, para analizar el comportamiento del sistema de distribución, será necesario disponer de la funcionalidad ArcGIS® Utility Network sólo para la versión ArcGIS® Enterprise o migrar el GDB a una herramienta de análisis del sistema eléctrico.

Toda esta información se utiliza para modelar y analizar una red eléctrica mediante una herramienta de análisis de sistemas de energía - PSAT. El software de análisis de sistemas de energía no tiene la capacidad de leer archivos GDB. Sin embargo, algunas herramientas pueden leer los shapefiles de ESRI®. La migración de GDB a shapefile es un proceso sencillo y puede realizarse en un par de minutos.

En este caso, ilustramos cómo la base de datos de un ArcGIS® alimenta un NEPLAN®. Hasta la fecha, los shapefiles representan una forma interoperable de integración de los SIG. Estos archivos se definen en ESRI®:

"Un shapefile almacena información geométrica no topológica y de atributos de las características espaciales de un conjunto de datos".

Desde el sistema GIS se pueden exportar diferentes archivos para cada tipo de elemento. Inicialmente, se debe crear un archivo XML de mapeo para mapear el tipo de elemento en NEPLAN® de acuerdo con el SIG. Figura 21 ilustra cómo se puede desarrollar un mapeo de los interruptores.

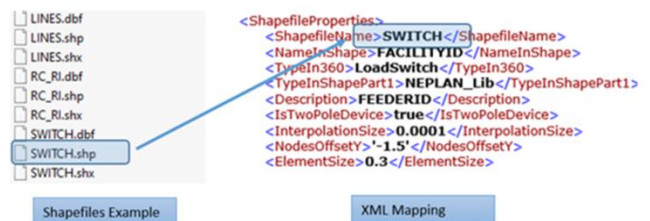


Figura 21. Asignación de Shapefiles a NEPLAN® con XML

Una vez que todos los elementos han sido mapeados a través del XML, este archivo puede ser combinado con los Shapefiles y luego importado a NEPLAN®. Figura 23 muestra el procedimiento para crear el modelo equivalente.

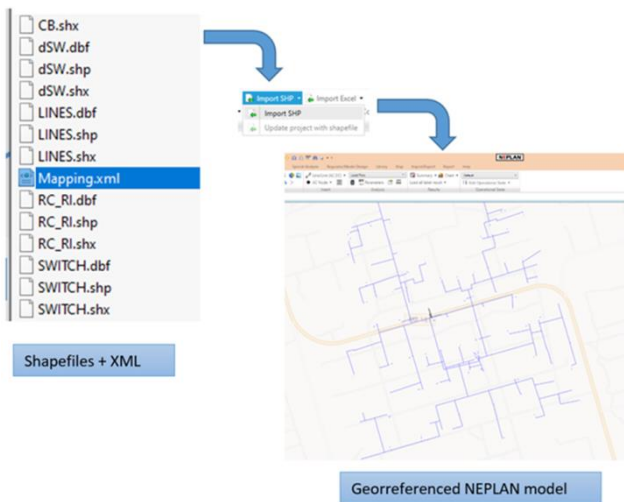


Figura 2324. Importación de Shapefiles a NEPLAN®.

VIII. ESTUDIO DE CASO

En nuestro estudio de caso, se recogió información de 8.499 pozos petrolíferos activos para la empresa Oil and Gas en Texas durante un proceso que duró 4 años. Los pozos evaluados estaban repartidos por toda la cuenca del Pérmico y abarcaban más de 40 condados. Figura 25 muestra la cuenca del Pérmico en el oeste de Texas.

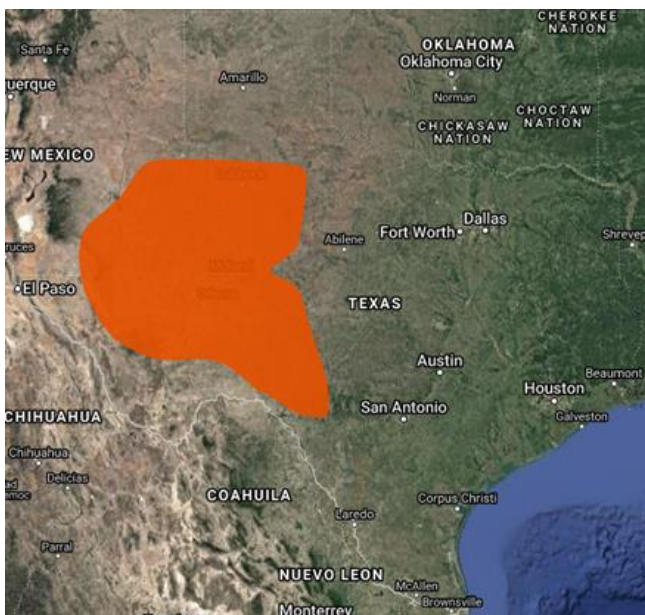


Figura 25. Zona de la cuenca del Pérmico

La información se recopiló teniendo en cuenta el procedimiento explicado anteriormente y utilizando la aplicación ArcGIS® Collector, donde se cargaron todos los parámetros requeridos junto con sus fotografías de respaldo. Figura 26(a) muestra la interfaz de ArcGIS® Collector en un smartphone.

Los datos eléctricos se recogieron desde los terminales del motor hasta la red de media tensión de 12,47 kV. Este procedimiento se llevó a cabo para cada uno de los pozos mencionados anteriormente. Junto con la información correspondiente a los motores, se recogieron los demás componentes eléctricos del sistema de distribución, tal como se explica en la sección V. Figura 26(b) muestra uno de los alimentadores de la red de distribución de los campos evaluados.

Se incluyeron fotografías de respaldo en caso de que la información introducida sobre el terreno presentara alguna incoherencia.

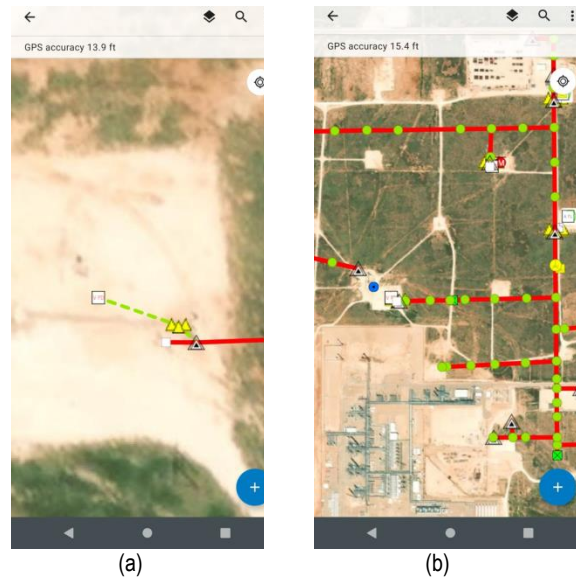


Figura 2627. (a) Ejemplo de recogida de motores, (b) Alimentador en ArcGIS® Collector

La información de ArcGIS® Collector puede verse casi instantáneamente en cualquier navegador de Internet una vez que se ha sincronizado con los servidores de ArcGIS® Online. Figura 28 muestra la información del SIG en un navegador de Internet en Windows 10.

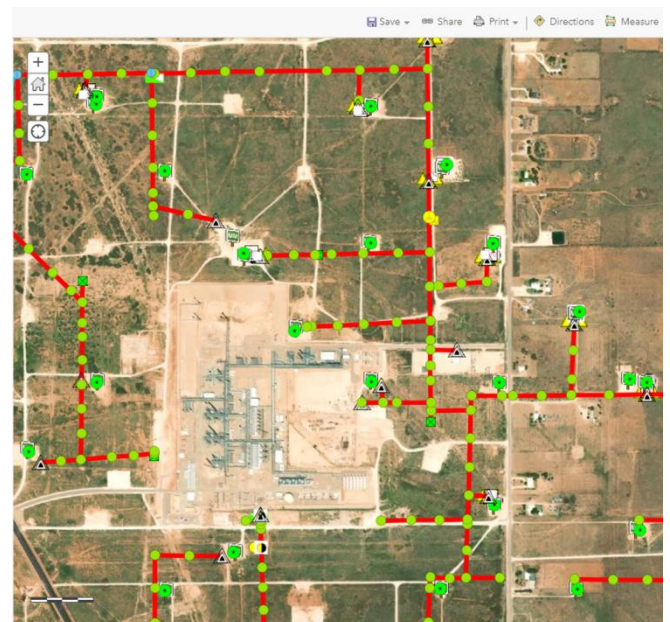


Figura 2829. Visualización en un navegador web

El número total de componentes eléctricos recogidos asociados a los 8.499 pozos petrolíferos activos se presenta en Tabla 3.

Tabla 34. Componentes eléctricos más destacados

Componente eléctrico	Cantidad
Motores	11,640
Polos primarios y secundarios	53,564

Componente eléctrico	Cantidad
Transformers	15,099
Línea aérea primaria/secundaria	2.212 millas

Dado que los pozos petrolíferos se encontraban en distintas ubicaciones, a menudo a decenas de kilómetros unos de otros, se crearon distintos modelos SIG para agruparlos por campos. Cada uno de los modelos GIS se verificó y validó para garantizar que fueran funcionales y representaran las condiciones aproximadas del sistema de distribución real. Los modelos GIS se migraron a NEPLAN®, donde se realizaron estudios de flujo de carga, cortocircuito y relámpago de arco. Para el estudio de Arc Flash, se siguieron las recomendaciones del IEEE Std. 1584 y de la NFPA 70E, considerando los límites de aproximación, la distancia de trabajo, el límite de arc flash, el equipo de protección personal, entre otros.

Figura 30 muestra los resultados del arco eléctrico de un pozo petrolífero después de recoger la información del campo en la Plataforma GIS y exportarla a NEPLAN®. El pozo fue modelado con suficiente detalle para poder incluir en la simulación los parámetros del motor y las protecciones que lo protegen. A la hora de realizar un análisis de arco eléctrico, hay que tener en cuenta que cuanto mayor sea el detalle del modelo, mayor será la precisión de los resultados.

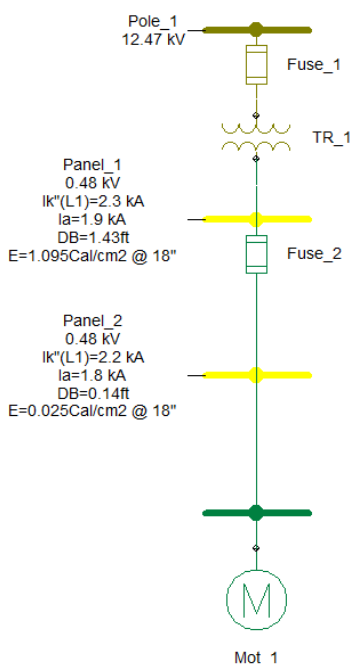


Figura 3031. Ejemplo de resultados del arco eléctrico

IX. CONCLUSIONES

- La recopilación de información permite determinar la cantidad de activos de una red de distribución que a menudo desconoce el operador de la red. Al conocer todos los componentes de la red, el operador puede elaborar planes de sustitución de activos y presupuestos más realistas.
- La recogida de información de una red de distribución debe tener en cuenta un estándar de recogida porque el orden de los parámetros necesarios para crear un modelo eléctrico funcional puede ser de miles a cientos de miles e incluso millones.

- Antes de iniciar cualquier tipo de actividad de recopilación de información, el procedimiento de recopilación debe ajustarse a las necesidades del propietario de la red para optimizar los recursos y cumplir los calendarios propuestos.
- Las aplicaciones del modelo SIG son infinitas y pueden extenderse a cualquier tipo de análisis, como el topográfico, el eléctrico y el mecánico, entre otros. Por eso es primordial asegurarse de que la recogida de información sea lo más precisa posible.
- Gracias a la metodología utilizada, se pueden recopilar y procesar grandes volúmenes de información para todo tipo de yacimientos petrolíferos siempre que se disponga de los conocimientos y la experiencia necesarios en paquetes SIG y en el manejo de un PSAT como el NEPLAN® que se utilizó en el campo de estudio.

REFERENCIAS

- [1] Comisión de Ferrocarriles de Texas. <https://www.rrc.state.tx.us/oil-gas/research-and-statistics/production-data/historical-production-data/crude-oil-production-and-well-counts-since-1935/>
- [2] David W. Allen, "Focus on Geodatabases in ArcGIS Pro", 2019, Esri Press.
- [3] Michael Law, Amy Collins, "Getting to Know ArcGIS Pro, second edition", 2019, Esri Press.
- [4] Bill Meehan, "Modeling Electric Distribution with GIS", 2013, Esri Press.
- [5] IEEE Std. 242-2001 - "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Buff Book)"
- [6] IEEE Std. 399-1997 - "IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis (Brown Book)"
- [7] IEEE Std. 1584-2018 - "Guía IEEE para realizar cálculos de riesgo de arco eléctrico"
- [8] NFPA 70E-2018, "Norma de seguridad eléctrica en el lugar de trabajo"
- [9] NFPA 70-2020, "Código Eléctrico Nacional"