

Del Papel a Digital – Mejorando el mantenimiento por condición mediante la migración y transformación de la medida para optimización y alertas tempranas

William Mejía López – Yenny Marcela Mesa Palencia
Carrera 9 No. 73 – 44. PBX. 3268000
Email: wmejia@enlaza.red – ymesa@enlaza.red
Bogotá, D.C. – Colombia

Resumen

La transformación digital en el mantenimiento de la infraestructura eléctrica de ENLAZA está redefiniendo la forma en que se gestionan los activos críticos. Este documento aborda todo el trabajo realizado en estos últimos años en el mantenimiento de líneas de transmisión, donde se muestra el camino que lleva del mantenimiento basado en formatos de papel al Mantenimiento 4.0, donde la digitalización optimiza la toma de decisiones y el costo del mantenimiento, mejorando la seguridad de los mantenedores y convirtiéndolos en más eficientes, lo que permite que los análisis se vuelvan más especializados sobre la infraestructura.

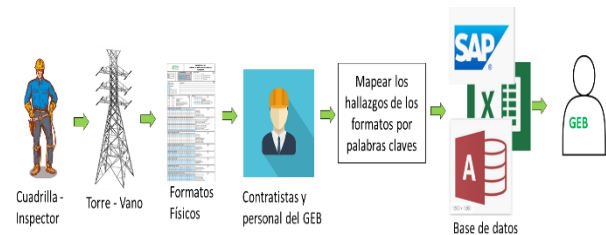
El enfoque de este trabajo se construye bajo las siguientes cinco etapas, las cuales han permitido la optimización de los procesos, mejora de la eficiencia operativa, la seguridad y la sostenibilidad.

1. Introducción - Formularios en papel

Anteriormente, las inspecciones de la infraestructura de líneas de transmisión de Enlaza era recolectada por medio de formularios físicos, informes y fotografías, cuyos datos debían ser digitalizados manualmente para llevar el registro en una base de datos, ocasionando retrasos en la adquisición y validación de la información para el

análisis y toma de decisiones en el área de mantenimiento, como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Figura 1. Proceso de adquisición de información mediante formatos físicos



Esta metodología daba lugar a errores humanos de Digitación, ineficiencias en la ocupación de tiempo de reproceso y corrección de las cuadrillas y el personal de oficina que estaba revisando las inspecciones, entre otros problemas que se presentaban como la pérdida y el deterioro de los formularios, ilegibilidad de los datos escritos en el formato físico, etc..

Adicionalmente, las líneas de transmisión tienen una gran cantidad de elementos a revisar, lo que ocasiona que sus formularios de inspección deban ser bastante compactos para poder categorizar la información, esta característica hace que cuando se reporten los hallazgos no se puedan incluir una información más detallada de lo que se encontró en sitio. Con base en lo anterior, la información de mantenimiento registrada podía tener

desviaciones, situación que afecta a los equipos de mantenimiento para actuar con agilidad, más analítica y efectiva en los mantenimientos. Por otro lado, la falta de integración inmediata entre los registros en papel y los sistemas como ERP impedía que los equipos tuvieran una visión clara y completa del estado de los activos, lo que generaba un enfoque a veces reactivo en lugar de preventivo.

Por otro lado, se debían tener en cuenta las Horas Hombre HH requeridas para el procesamiento de data con uso de Papel, con el diligenciamiento de formatos y poder alimentar la data de ERP (caso SAP) aparentemente maduro dentro del mantenimiento en líneas de transmisión. Frente a esto se debió revisar varios criterios para lograr implementar una digitalización tal como:

1. ¿Cuál era la mejor manera de vincularse al ERP?
2. Una herramienta de fácil uso para los linieros en campo en la inspección y que no causara traumatismos.
3. ¿Que características de los dispositivos móviles debían usarse y que fueran compatibles con la solución planteada?
4. ¿Que criterios Inspección y puntos de medida se requieren?

Por lo tanto, antes de dar inicio a la Movilidad, se inicio con el rediseño en Papel de los puntos de medida que se requerían alimentar en el ERP con base en las problemáticas tenidas en campo, tales como errores en identificar claramente que parte o que componente estaba averiado, como por ejemplo sobre el hallazgo de hilo roto en conductor con diferentes tipos de torres y conductores (Multiconductor, multicircuito, etc.).

2. Transición a formularios digitales:

Para mitigar los errores y la ineficiencia asociados con los formularios en papel, se inició una transición hacia el uso de formularios digitales. Esta fase de digitalización comenzó con la implementación de pilotos que utilizaron dispositivos móviles para recolectar datos en tiempo real desde el campo junto con el personal de Mantenimiento. El principal desafío que se tuvo fue que los formularios debían ser lo más intuitivos posible para no generar retrocesos o lentitud en la ejecución de las inspecciones. Los formularios digitales permitieron una captura de información más precisa, reduciendo los errores humanos y acelerando el procesamiento de los datos. Los mantenedores y/o inspectores podían recolectar y enviar información directamente con Ubicación Geográfica del sitio donde se toma el dato, eliminando la necesidad de transcribir datos manualmente, lo cual mejoro la consistencia y calidad de la información de campo. Esta etapa también implicó una gestión del cambio, ya que la adopción de estos dispositivos requería de un desarrollo inhouse, la capacitación del personal y la adaptación de los procesos tradicionales sin generar cuellos de botella.

2.1 Aspectos a considerar

Para lograr la transición de formularios físicos a digitales se tuvieron que analizar y caracterizar los siguientes aspectos:

- Formatos: se revisó la vinculación de criterios de inspección y puntos de medida requeridos para optimizar las rutas de inspección, ya que en esta actividad es necesario inspeccionar todos los componentes de la torre y las líneas y tener identificado los modos de falla y posibles hallazgos sobre estos elementos. Adicionalmente, estos formularios de inspección deben ser bastante compactos para poder categorizar la información, esta característica hace que cuando se reporten los

hallazgos estén ordenados y se pueda tener una información más detallada y clasificada.

- **Movilidad:** Se identificaron los tipos de formularios móviles y tecnologías existentes que permitan que los diseños de estos formularios sean lo más parecidos a los establecidos en el formato de papel, con el fin de no crear traumatismos en los linieros que realizan la actividad de inspección.
- **Integración con otras plataformas:** Se estableció el pivote entre el ERP y los formularios móviles, con el fin de poder asociar la información registrada con la ubicación geográfica, ya que esta es recolectada mediante inspecciones en sitio.
- **Usuarios:** Se identificó que los principales usuarios para la recolección y análisis de la información son el personal técnico de terreno (cuadrillas), quienes son los que realizan la inspección, y los especialistas en líneas de transmisión que se encargan de la validación de la información registrada en sitio y el diagnóstico de la infraestructura, informando sobre su estado, invasión de la franja de servidumbre, acercamientos de vegetación a la infraestructura, hallazgos electromecánicos y civiles encontrados en sitio [2].

2.2 Características de los sistemas de movilidad para adquisición de datos de manera remota y en línea

Para lograr esta mejora en este tipo de procesos de digitalización es necesario la implementación de tecnologías que permitan una adquisición y gestión de datos de manera remota y en línea, dentro de las que se encuentra la modernización en equipos móviles, comunicaciones, satélites GPS y las APPs que permiten integrar la mayor cantidad de datos en campo y en línea [3, 4, 5].

Actualmente en el mercado existen varias aplicaciones de movilidad que permiten la captura de información como SurveyMonkey, QuickTabSurvey, etc., también existen ERPs (Enterprise Resource Planning) como SAP que están empezando a incorporar estas tecnologías de movilidad dentro de sus opciones de producto. Sin embargo, la herramienta que se implementó en el área mantenimiento de líneas de transmisión fue una aplicación de Arcgis denominada Survey123. En el presente numeral se muestra la aplicación Survey123 como una solución para la optimización de las inspecciones y monitoreo en línea del mantenimiento de líneas de transmisión, en el cual se tratará desde las características de este tipo de aplicaciones hasta los resultados que ha tenido el área de mantenimiento en su implementación.

Survey123 es la solución integral más completa de la suite de Arcgis para la generación de encuestas [6]. Esta herramienta cuenta con una interfaz para compartir y analizar datos utilizando formularios y encuestas inteligentes. Survey123 recolecta los datos registrados por los usuarios vía internet mediante dispositivos móviles y páginas WEB, incluso cuando no hay conexión a internet estos formularios son almacenados en una bandeja interna para ser enviados posteriormente a la base de datos de la aplicación, convirtiendo a Survey123 en una herramienta remota y en línea para la recolección y cargue de información de una manera confiable y segura para la captura de datos en campo.

Adicionalmente, Survey123 proporciona una solución moderna, flexible y de fácil aplicabilidad sobre equipos de telefonía móvil y tabletas. Teniendo en cuenta la necesidad planteada de mejorar la adquisición de datos en tiempo real de las inspecciones en líneas de transmisión, se realizó un plan piloto en el año 2019 con esta herramienta para las cuadrillas de zona centro. A

partir de este plan se identificaron las siguientes ventajas de Survey123:

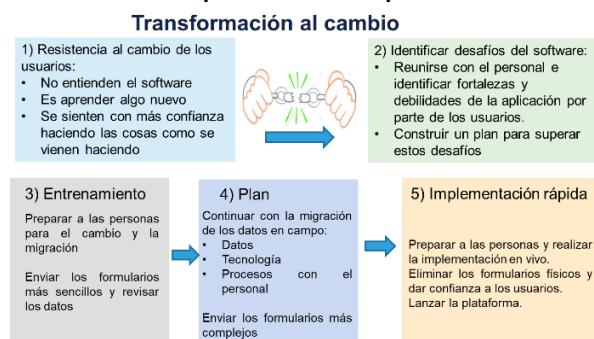
- Permite tener los datos de las inspecciones civiles y electromecánicas de las torres en línea y al alcance de todo el personal de mantenimiento, debido a que los registros quedan almacenados en la nube.
- Cada formulario y registro de datos de estos formatos inteligentes captura la coordenada registrada por el GPS interno del celular o por un GPS externo.
- Automatiza los análisis y la recolección de la información, ya que estos datos quedan organizados, parametrizados y categorizados en un solo repositorio de datos, permitiendo que los datos sean segmentados y filtrados mediante tablas.
- Permite compartir las bases de datos con cualquier aplicación de Arcgis, por lo que el geoprocésamiento de datos se realiza en tiempo real y de manera integral, logrando construir mapas geográficos de información.
- Se disminuyen los errores en la transcripción de los datos a formato digital y se le hace un mejor seguimiento a la inspección de las cuadrillas de mantenimiento de líneas de transmisión.
- Se ahorra una gran cantidad de papel, por lo que ya no es necesario diligenciar los formatos de manera física, igualmente se reduce el transporte y almacenamiento de volumen de esta información.
- Además de los registros de texto de los formularios, la aplicación permite la toma de fotografías georreferenciadas de las torres y sus hallazgos.
- Es portátil y de fácil uso para las cuadrillas de mantenimiento, porque mediante un celular inteligente que tenga la aplicación instalada el usuario puede diligenciar el formato de inspección. Adicionalmente, la aplicación es bastante amigable para el usuario que diligencia el formulario como para la persona que crea y publica la encuesta en la herramienta.

Después de identificar las ventajas de la aplicación de Survey123 en el plan piloto, se optó por su implementación definitiva en la inspección de líneas de transmisión para todas las zonas donde se tiene infraestructura.

2.3 Metodología y aplicación de la movilidad en las actividades de inspección de líneas de transmisión

Cualquier herramienta tecnológica antes de ser aplicada en un ambiente de trabajo, debe pasar por una serie de pasos para la aceptación de los usuarios finales que van a utilizar la aplicación, ya que ellos son la clave del éxito en el funcionamiento de esta herramienta. En el caso de Survey123 se trabajó en una transformación cultural con el personal de campo que realiza la inspección de las líneas de transmisión.

Figura 2. Proceso de implementación de Survey123 con el personal de campo



Este proceso de acondicionamiento consistió en 5 pasos descritos en la Figura 2, cada etapa descrita en esta figura tenía cierto nivel de dificultad y para su solución se presentó una curva de aprendizaje y otra de estabilización. Uno de los desafíos más grandes en su implementación fue que el personal de campo entendiera y confiara en las ventajas de porque esta digitalización optimizaba su trabajo, ya que siempre existe una resistencia al cambio como las mencionadas en la etapa 1 de la Figura 2. Teniendo en cuenta los desafíos de Survey123 identificados en la etapa 2, se diseñaron unos

formularios inteligentes que tuvieran la misma estructura y representación de los formatos físicos, con el fin de que la adaptación al cambio de las cuadrillas fuera mucho más sencillo. Actualmente se tienen 6 formatos de inspección de líneas de transmisión, que cubren las siguientes necesidades:

- Inspección electromecánica
- Inspección civil
- Inventario silvicultural
- Ejecución de podas y talas
- Descripción de actividades de las cuadrillas
- Medición del sistema de puesta a tierra de torres de transmisión.

Dentro de los formularios más complejos en su implementación se encuentra el formulario de inspección electromecánica, porque este contenía campos categorizados para cada elemento de la torre y vano de la línea de transmisión teniendo un total de 1384 preguntas. Para solucionar el problema de la visualización de esta cantidad de preguntas se elaboró un diseño matricial con listas desplegables que permitieron esconder la cantidad de preguntas de tal forma que el usuario que diligencia la encuesta solo responda los hallazgos que encontró en sitio.

En la etapa 3 (Entrenamiento) con los formularios diseñados se inició la capacitación del personal de campo. Dentro de este entrenamiento se mostró la interfaz de la aplicación para la adquisición de los formatos de inspección, ver Figura 3, después se explicaba su diligenciamiento y la forma de como estos debían ser enviados desde el celular. Para lograr este cambio se empezó con el formato que era más sencillo de diligenciar.

Después de la curva de estabilización y aprendizaje de la implementación de este primer formato se empezaron a usar en Survey123 formatos más complejos, ver Figura 4, hasta terminar la implementación de los formatos de inspección. En esta etapa 4 se continuó

diligenciado el formato físico, esto con el fin de realizar una verificación de la información registrada en Survey123 y la información de los formatos físicos. Después de encontrar las diferencias de ambos formatos se realizaba una realimentación a las personas de campo con el fin de que se mejorara la información registrada en Survey123.

Figura 3 Interfaz de Survey123



Figura 4 Parte del formulario de inspección electromecánica

| Formato 1 RCM A | | | |
|---|-----|-----|-----|
| MITF-ML-001 CONTROL DE INSPECCIÓN DE LINEAS DE TRANSMISIÓN_A_15-10-19 | | | |
| Hoja 4 | | | |
| Empalmes de compresión de conductor y guarda | | | |
| Cantidad de empalmes | | | |
| F1Z | F1D | F2Z | F2D |
| F3I | F3D | F4I | F4D |
| F5I | F5D | F6I | F6D |
| GI | GO | | |
| Deformación de empalmes | | | |
| Dato de empalmes | | | |
| Camisas en cables y guarda | | | |
| Blindajes en cables y guarda | | | |
| Prefundados en cables y guarda | | | |
| Amortiguadores y separadores en cables y guarda | | | |
| 4 de 5 | | | |

En el momento en que las cuadrillas estuvieron completamente capacitadas y familiarizadas con los formatos en Survey123 se lanzó en vivo la herramienta y se eliminaron los formatos físicos, esto permitió que las cuadrillas entraran en confianza para el uso de esta herramienta como

una aliada en las inspecciones de las líneas de transmisión. Adicionalmente, esta herramienta como todas las que se usan en la actualidad son susceptibles de cambios, actualizaciones y mejoras, incluso de adicionar nuevas preguntas y formatos. Survey123 tiene la ventaja de facilitar estos cambios en los dispositivos móviles ya que se actualizan en sitio y están a un clic del usuario.

3. Inspecciones digitales y Mantenimiento 4.0.

Una vez se estabilizó el proceso de las aplicaciones de movilidad al mantenimiento, se entendió que estos procesos debían migrar a temas más tecnológicos y óptimos bajo las inspecciones digitales, lo cual representa un hito importante de la transformación de la realización de mantenimientos en la infraestructura de Enlaza GEB. En esta etapa se empiezan a incluir otros tipos de inspecciones y datos recolectados a través de nuevas tecnologías adaptadas al mantenimiento de líneas de transmisión como por ejemplo del tipo lidar en formatos, las texturizaciones de imágenes, videos de la infraestructura, etc, lo cual trajo beneficios en la entrega de más puntos de medida para alimentar las tomas de decisiones y tener un mejor conocimiento del estado y condición de las líneas de transmisión.

Adicionalmente, esta integración de tecnologías no solo mejora la captura de datos, sino que también mejora los análisis predictivos volviendo a los procesos más inteligentes para el desarrollo de alertas tempranas que permiten la toma de decisiones frente a los hallazgos presentados. Además, este enfoque proactivo mejora la confiabilidad de los activos, la seguridad del personal, la gestión y mitigación del riesgo social y ambiental, junto con una optimización de recursos y reducción de costos trazando una hoja de ruta para el mantenimiento del mañana.

3.1 Análisis y opciones de mejora para las aplicaciones de movilidad en el desempeño del mantenimiento de líneas de transmisión.

En el mantenimiento de líneas de transmisión no es posible que todas las necesidades de movilidad se resuelven con Survey123, por lo que para lograr una solución completa e integral es necesario el soporte de otras aplicaciones que puedan apoyar al personal en campo, como por ejemplo una aplicación que en sitio permita a los usuarios mediante la ubicación geográfica encontrar información técnica de los activos y de los hallazgos de las torres que se están inspeccionando. Un ejemplo de esto es la información de la invasión de servidumbre sobre los vanos, tener esta información en sitio sin la necesidad de estar conectado a internet permite llevar un mejor control y registro de estos hallazgos, además de que en el mismo lugar de la invasión pueden actualizar o mejorar la información registrada.

Mediante la adquisición de datos con Survey123 se pueden integrar sus bases de datos con otras aplicaciones de Arcgis [7], y por tanto su información puede ser visualizada y filtrada, como por ejemplo Arcgis pro permite gestionar esta información y hacer análisis georreferenciados. En las aplicaciones de campo de Arcgis también tiene una aplicación que permite la recolección de datos y visualización de estos mediante el uso de mapas. En la Figura 5 se observa la base de datos de uno de los formularios de Survey123 en la plataforma móvil de Collector [8], la ventaja de esta aplicación es que me permite ver y editar información georreferenciada de manera puntual y sencilla.

Collector presenta una desventaja frente a Survey123 y es que en Collector no se pueden realizar formularios complejos o preguntas que tengan varios tipos de visualización, caso contrario que sucede en la aplicación Survey123.

Figura 5 Base de Datos de un formulario de Survey123 en la app Collector.



Por lo tanto, una sola herramienta en los temas de movilidad no es suficiente para lograr una transición completa y eficiente a la digitalización de los datos. Sin embargo, una integración entre Collector y Survey123 es una excelente solución para los temas de mantenimiento de líneas de transmisión.

4. Desarrollo de metodologías y estrategias para el análisis de la información recolectada en campo

Como todo Sistema de Información en las etapas de implementación, en la aplicación Survey123 se surtieron varios pasos para el alistamiento y transformación los datos con el fin de que esta información fuera utilizada de manera eficiente por el personal que está a cargo de la programación del mantenimiento de líneas de transmisión, este proceso se observa en la Figura 6. El primer paso es la recolección de datos provenientes de la plataforma Survey123, para entender los datos de la plataforma sin utilizar las opciones de consumo de créditos (esta es una moneda que tiene un costo y sirve para utilizar algunas aplicaciones especiales de Arcgis) se realizó un desarrollo en el cual se identificó la estructura de la información al ser exportada en un archivo y como esta se

relaciona con las palabras reservadas utilizadas en la creación de los formularios.

Figura 6 Proceso de la transformación de los datos a los usuarios finales



Figura 7 Estructura de la información de Survey123 cuando se exporta a un Excel o un archivo plano

Cada columna es la información registrada en cada pregunta del formulario

| ObjectID | GlobalID | CreationDate | Creator | EditDate | Editor | Fecha | Orden de Selección | Selección | Selección | Selección | Área | Placa aérea | Daño | Antes | Identificación | Poste | subposte | | |
|----------|----------|--------------|------------|----------|-----------|-------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|-------|----------------|-------|----------|-----|---------|
| 1296 | 15ce130b | ##### | Cuadrilla2 | ##### | Cuadrilla | ##### | 36+08 | CENTRO | CORREDO | Torre | 64_CIGU1_2 | Corrosion | Antiescalato | ano | antiles | n o | Dano de | n o | Dano de |
| 1297 | 79c2f203 | ##### | Cuadrilla1 | ##### | Cuadrilla | ##### | 36+08 | CENTRO | CORREDO | Torre | 65_CIGU1_2 | Corrosion | Antiescalato | ano | antiles | n o | Dano de | n o | Dano de |
| 1298 | 96a72044 | ##### | Cuadrilla1 | ##### | Cuadrilla | ##### | 36+08 | CENTRO | CORREDO | Torre | 62_CIGU1_2 | Corrosion | Antiescalato | ano | antiles | n o | Dano de | n o | Dano de |
| 1299 | 70c21143 | ##### | Cuadrilla2 | ##### | Cuadrilla | ##### | 6551 | CENTRO | CORREDO | Torre | 14A_CIGU1_2 | Corrosion | Antiescalato | ano | antiles | n o | Dano de | n o | Dano de |
| 1300 | c2061f58 | ##### | Cuadrilla2 | ##### | Cuadrilla | ##### | 6551 | CENTRO | CORREDO | Torre | 14_CIGU1_2 | Corrosion | Antiescalato | ano | antiles | n o | Dano de | n o | Dano de |

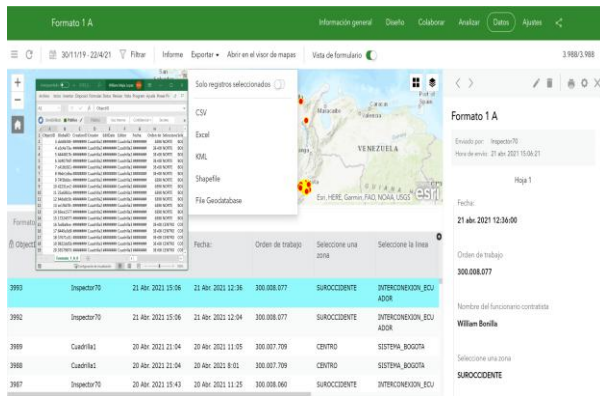
Cada fila es un registro, es decir que se considera como un formulario de una visita a la torre

En la Figura 7 se muestra la estructura de los datos de Survey123 al ser exportados a un Excel, donde cada fila es un registro de una encuesta, es decir que es el diligenciamiento de un formulario de inspección, y cada columna son las respuestas a cada pregunta realizada en el formulario.

El segundo paso de la transformación de los datos es la exportación de éstos a un archivo. Survey123 ofrece varios tipos de archivos en los que la información puede ser exportada, en la Figura 8 se muestran los diferentes tipos de archivos. Después de exportar la información se verifica que la información fuera consistente y tuviera la misma

estructura, también que no se presenten duplicados y las dependencias fueran las correctas, esta labor es muy importante pues una vez cargado en los repositorios de la base de datos no deben quedar registros y relaciones de datos erradas.

Figura 8 Exportación de la información de Survey123 a diferentes tipos de archivos

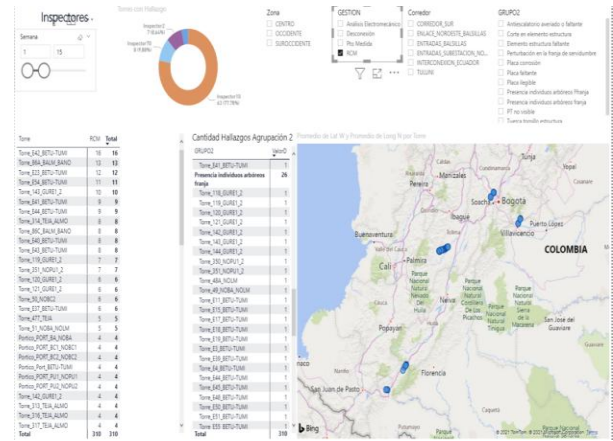


El tercer paso tiene que ver con los repositorios donde se almacenan los datos. Estas bases de datos tienen como característica presentar varios tipos de perfiles de usuario, estos perfiles tienen a su vez varios niveles de acceso para la visualización, edición y registro de datos con el fin de garantizar la seguridad e integridad de la base de datos. La información que se exporta de los formularios de Survey123 debido a la gran cantidad de datos producto de la inspección es convertida en documentos de medida en el ERP SAP, con el fin de que en un posterior análisis de éstos se generen los avisos y ordenes de trabajo asociados a las actividades de mantenimiento de líneas de transmisión. En este caso los puntos de medida están asociados a los equipos y ayudan a llevar el registro de los hallazgos encontrados en cada inspección y el monitoreo de la línea de transmisión.

Una vez se tengan los registros de acuerdo con las actividades relacionadas a las inspecciones en líneas de transmisión en una base de datos, se procesa la información para construir reportes,

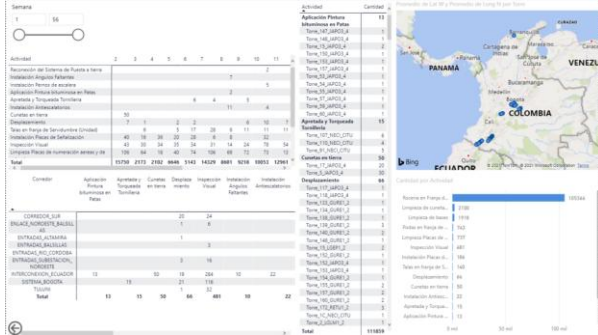
segmentación de datos, cuadros de seguimiento e informes totalizados. Esta información se puede manejar de esta manera ya que los formularios que se implementaron para las inspecciones de mantenimiento están categorizados de tal forma que la información consignada no permite registros ambiguos. Por ejemplo, en la Figura 9 se ilustra una vista de un tablero de control en Power BI [9] que relaciona la información de las bases de datos de documentos de medida y survey123, en esta se observan los hallazgos asociados por zonas y su clasificación frente a la gravedad del mismo. La visualización de Power BI de esta información permite que los resultados mostrados en esa ventana sean dinámicos y de fácil consulta para el personal que coordina y revisa el mantenimiento.

Figura 9 Visualización de hallazgos de Survey123 con Power BI



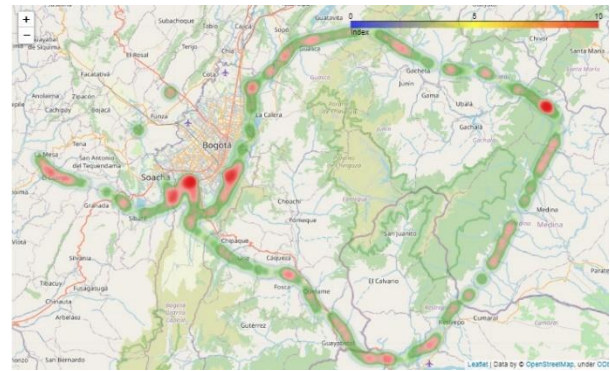
En la Figura 10 se observa otro tablero de control en Power BI de la información de Survey123, este se utiliza para el seguimiento de actividades de ejecución sobre las líneas de transmisión de las cuadrillas de mantenimiento. Adicionalmente, la ventaja de tener un mapa con este seguimiento es que permite conocer donde se está concentrado los recursos del mantenimiento y genera que se tomen decisiones de donde falta enfocar otras actividades de ejecución.

Figura 10 Tablero de control en Power BI para el seguimiento de las cuadrillas



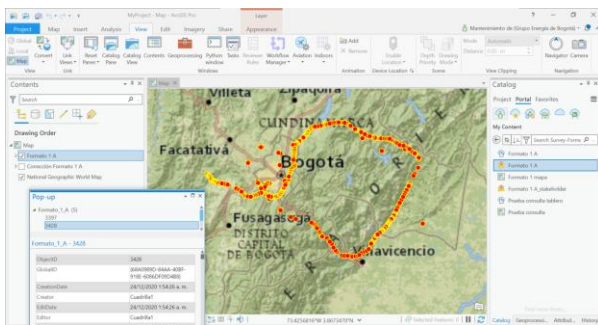
de Python [10]. En la Figura 12 se muestra un mapa de calor elaborado con Jupyter de los documentos de medida y la información de aisladores contaminados de Survey123 en las inspecciones realizadas por las cuadrillas.

Figura 12 Mapa de calor de aisladores contaminados



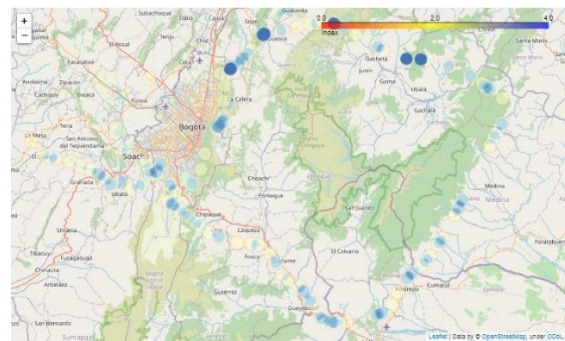
Otra alternativa diferente a la visualización de los datos con Power BI es Arcgis Pro, como se menciono anteriormente la ventaja de tener la información en Survey123 permite la integración con otras aplicaciones de Arcgis. En la Figura 11 la visualización de la información registrada en Arcgis Pro es de los formularios de Survey123, en esta se observan las coordenadas, la fecha y la hora donde fueron diligenciadas las encuestas, lo que permite llevar un control y seguimiento en línea de las tareas realizadas por el personal de campo, con el fin de dar una realimentación de cómo se vienen ejecutando las actividades.

Figura 11 Base de datos de Survey123 en el programa Arcgis Pro



Una ventaja adicional de tener la información categorizada en Survey123 es que se logra implementar un análisis de datos con otro tipo de herramientas para el tratamiento de grandes volúmenes de información como lo son los Jupyter Notebook mediante el lenguaje de programación

Figura 13 Mapa de calor de los hallazgos de las inspecciones de líneas de transmisión.



En la Figura 13 también se observa un mapa de calor, que referencia los tipos de hallazgos obtenidos junto con su forma de intervención. Esta metodología permite analizar la forma en que se van a distribuir los grupos de trabajo cuando se tenga que realizar una intervención sobre la línea, lo cual permite una mejor planeación de los trabajos de mantenimiento de líneas de transmisión.

5. Evolución del Mantenimiento digital pedestre al no pedestre.

A medida que pasa el tiempo el mundo va cambiando y las empresas como las de transmisión de energía eléctrica buscan ser más sostenibles en sus procesos. Esto significa que por ejemplo en el área de mantenimiento de líneas de transmisión de Enlaza se empezara a realizar la búsqueda de nuevas técnicas de inspección, con el fin de tener de tener eficiencias de tiempo, costo y calidad, por lo que fue necesario evaluar los aspectos actuales a mejorar de las inspecciones y como estas deben evolucionar.

Dentro de los principales aspectos a atacar de las inspecciones pedestres de líneas Línea de Transmisión se encontraron los siguientes factores:

1. Problemas con Comunidades
2. Difíciles accesos
3. Jornadas largas de trabajo sin ningún resultado y poca eficiencia.
4. Bloqueos y/o Problemas de Orden público
5. Demoras en análisis de información
6. Demoras en toma de decisiones
7. Falta de conexión OFFLINE

Con base en esto se encontró que en el mercado había tecnologías que podían mejorar en cierto grado las dificultades mencionadas anteriormente, frente a esto se implementaron varios pilotos y a continuación se mencionan sus principales ventajas y desventajas:

Drones: Inicialmente comenzaron con inspecciones básicas para lograr que procesos mejora y cuales deben ser fortalecidos, tales como Fortalezas:

- Mayor eficiencia en el recorrido de inspección, reduciendo el tiempo de 1 a 2.
- Registro de Información de fotografía y videos, lo que permite posteriormente

realizar revisiones adicionales con el fin de mejorar la adquisición y ajuste de los datos.

- Menor tiempo para llegar al sitio.
- Puede realizarse la inspección con cámara termográfica.

Debilidades:

- No se logra tener los datos requeridos de todos los puntos de medida
- Poca autonomía de vuelo drones
- Todavía requiere largas caminatas y acceso por predios debido a la ubicación de las torres
- Mitiga en cierto modo los bloqueos, pero no elimina completamente esta dificultad.

Vehículos Aéreos tripulados:

Fortalezas:

- Mayor eficiencia en el recorrido de inspección, de 1 a 45.
- Registro de Información de fotografía y videos, lo que permite posteriormente realizar revisiones adicionales con el fin de mejorar la adquisición y ajuste de los datos.
- Se inspecciona con LiDAR
- Se inspecciona con cámara termográfica
- Se realizan videos y toma de fotografías alta calidad
- No requiere traslados en campo
- No requiere horas hombres en traslados
- Se toma datos en máximo una semana para 200 km de líneas sin importar los datos que requiera tomar

Debilidades

- El registro de los datos depende del clima
- Se tienen que visitar muchas torres a la vez
- Se debe revisar la información por los hallazgos falsos positivos y/o Positivos falsos

Para la realización de los pilotos implementados con estas tecnologías se realizaron varias actividades entre las que se destaca:

- Se inicia el piloto con una Línea corta y que haya tenido una inspección pedestre con Movilidad recientemente, esto con el fin de comparar los registros obtenidos por las tecnologías.
- Se identifica la naturaleza y tipo de datos que puede implementar la tecnología.
- Valoración y comparación de la Nube de datos frente a los puntos de medida.
- Se buscan herramientas adicionales, con el fin de mejorar el procesamiento de los datos, de tal forma que pueda entregarse de la misma forma que entrega Movilidad para su futura vinculación con el ERP

5.1 Creando cultura

Además de la búsqueda de nuevas tecnologías para la inspección fue necesario la creación de una cultura digital en la cual se busco romper paradigmas y la aceptación del cambio. Por lo que se requirió de la implementación de capacitaciones a los ingenieros líderes de mantenimiento, linieros, supervisores, proveedores, mediante presentaciones de cultura digital y entrenamientos de los registros y tipo de información de la tecnología. Adicionalmente, se realizaron talleres de sensibilización sobre los beneficios de estas nuevas tecnologías, nuevos datos y la adopción de nuevas técnicas de diagnóstico en el mantenimiento, esto con el fin de que estos datos se conviertan en los insumos principales en la toma de decisiones frente a los mantenimientos.

5.2 Transformación de los datos

Esta evolución en la forma que se realiza las inspecciones también transformo el tipo de datos que se pueden obtener con estas actividades y también cambio la forma en que se realiza el diagnóstico de la infraestructura. Por lo cual fue

necesario realizar una serie de actividades con el fin de integrar esta información a los procesos de mantenimiento. A continuación se mencionan las más importantes:

- Revisar los procesos críticos, como generar confianza en lo datos, revisar desde lo que se realizó en movilidad y lo que se generó en digital, para entender y validar las posibles brechas que puedan existir en la información recopilada.
- Adaptación y postprocesamiento a la nueva forma de entregar los datos (PLSCAD, LiDAR, imágenes raster).
- Compatibilidad e interoperabilidad con el esquema de ERP y los procedimientos de las actividades de mantenimiento.

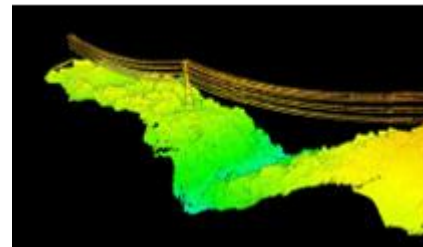


Figura 14 Se muestra la nube de punto para la identificación de la variables de servidumbre tomas por Lidar

En la figura 14 se muestra la generación de datos para el análisis de la información obtenida mediante tecnología LIDAR. Estos modelos digitales fueron obtenidos en terreno con resoluciones 0.5 x 0.5, que tiene como característica la modelización del terreno y la línea. Esto trae como ventaja la identificación de parámetros que no se pueden ver de una manera fácil en una inspección pedestre como condiciones de baja flecha, acercamientos o temas forestales.

Adicionalmente, con estas nuevas tecnologías se pueden tomar fotografías de alta resolución con ángulos más favorables para la búsqueda de hallazgos. Por ejemplo en figura 15. se muestra detalle de resolución donde se identifica falta de pin en herraje.

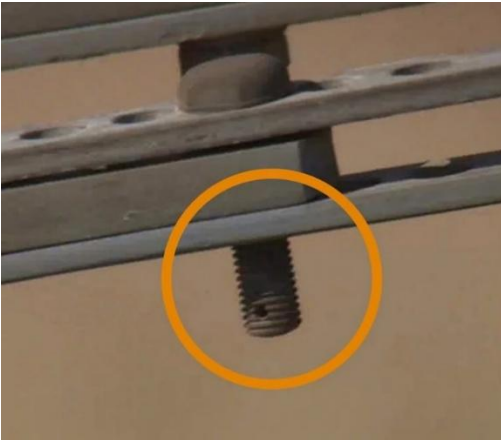


Figura 15 Hallazgo identificado mediante vuelo de inspección.

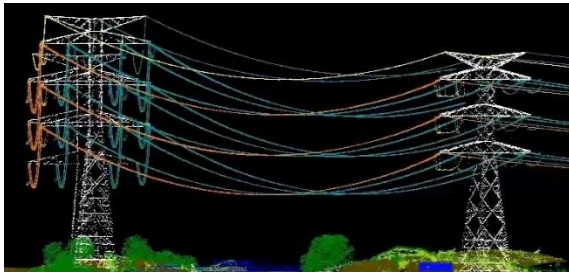


Figura 16 Imagen 3D de Vano y Torres de la inspección.

Otro tipo de información que se está teniendo actualmente con estas nuevas tecnologías es la Vectorización 3d de las estructuras y los vanos, como la mostrada en la figura 16. En estas imágenes se pueden obtener deformaciones, desgastes, daños estructurales, y también se identifican desviaciones respecto al diseño original. Con lo cual se pueden identificar los puntos críticos de los vanos frente a distancias de seguridad en flecha por efectos del desgaste, condiciones de carga. Con base en esta información de datos geoespaciales y modelos de las torres ya se está desarrollando la creación de gemelos digitales de líneas de transmisión, lo que permite tener una mejor herramienta para la toma de decisiones en la operación y mantenimiento.

Además de las fotos también se están generando ortomosaicos de la franja donde se identifican,

invasiones en franja, hallazgos de tipo geológico, geotécnico, antropización del terreno. Por ejemplo en la figura 17, se muestra detalle del ortomosaico donde se identifican los hallazgos de tipo geológico y geotécnico con la variable de posible vulneración de franja de servidumbre.



Figura 17 Ortomosaico de franja



Figura 18 Identificación de hallazgo del terreno

En la figura 18, se identifica los componentes civiles como entradas para la caracterización geotécnica generando los planes de intervención por condición civil, sin asistir a terreno. Desde la misma digitalización se obtiene datos adicionales predictivos generando eficiencias como se muestra en la figura 19.

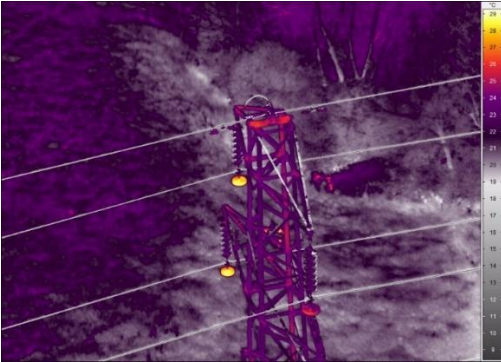


Figura 19 Identificación de hallazgo del terreno

Con base en la información obtenida con estas nuevas tecnologías de inspección, se desarrolla una “matriz de hallazgos”, donde se identifican los aproximadamente 1384 puntos de medida de cada sitio de torre, aquí esta vinculada con ERP donde se establece el tipo de mantenimiento por Condición, frente a las desviaciones que se puedan tener de manera asertiva. Esta matriz es un archivo plano, como se muestra en la figura 20, que posteriormente se carga al ERP.

| PUNTO DE MEDIDA | SÍNTOMA/PTXT | UNIDAD | EQUIPO | DENOMINACIÓN EQUIPO | EMPLAZAMIENTO | MEDIDA | FECHA | NOEA | TEXTO |
|--|-----------------------------------|------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--|--|--|
| (Número de identificación de del punto de medida en SAP) | (Descripción del punto de medida) | (Unidad del punto de medida) | (Número de identificación de equipos o subequipos en SAP) | (Nombre del equipo o subequipo) | (Identificación de la H) | (Valor numérico medido en campo) | (Fecha de inspección formato dd/mm/yy) | (Fecha de inspección formato dd/mm/yy) | (Se registra el número de la orden de mantenimiento) |
| 2948396 | Placa aérea con Corrosión | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948399 | Placa numeración con Corrosión | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948422 | Placa peligro con Corrosión | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948425 | Placa serviluz con Corrosión | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948428 | Placa aérea faltante | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | 1 | 18/12/22 | 1118300 OT 110002926 |
| 2948431 | Placa numeración faltante | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948434 | Placa peligro faltante | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | 1 | 18/12/22 | 1118300 OT 110002926 |
| 2948437 | Placa serviluz faltante | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948440 | Placa aérea ilegible | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948453 | Placa numeración ilegible | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948456 | Placa peligro ilegible | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948459 | Placa serviluz ilegible | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948462 | Cable PT suelto o roto Pata A | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948465 | Cable PT suelto o roto Pata B | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948468 | Cable PT suelto o roto Pata C | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948470 | Cable PT suelto o roto Pata D | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948484 | Grapa bifilar faltante Pata A | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948486 | Grapa bifilar faltante Pata B | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948488 | Grapa bifilar faltante Pata C | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948511 | Grapa bifilar faltante Pata D | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948514 | Cable PT no visible Pata A | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948518 | Cable PT no visible Pata B | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948541 | Cable PT no visible Pata C | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |
| 2948543 | Cable PT no visible Pata D | UN | 20004053 | ESTRUCTURA TORRE 041 | TEAF1_2 | | | | |

Figura 20 Archivo de identificación de hallazgos de manera plana en plantillas para ERP

Con base en estas nuevas fuentes de información actualmente se esta trabajando en tener repositorios de datos que permitan obtener la información en tiempo real y de manera confiable. Adicionalmente, se esta buscando la incorporación de nuevos modelos para predecir la vida útil de los elementos de las líneas de transmisión, tales como herrajes, estructuras, conductores, en diferentes

condiciones como tipos de corrosión, mayores cargas, cambios climáticos y contaminación. Esto con el fin de llegar a la predicción de la falla de manera más asertiva para poder realizar el mantenimiento preventivo antes de llegar a falla.

6. Conclusión:

Las empresas deben ir evolucionando en la forma que desarrollan sus procedimientos, esto con el fin de que sean mas sostenibles en el tiempo. Una de las características para llevar a cabo esto es la incorporación de nuevas tecnologías, con el fin de adaptarse a las dinámicas y cambios que se puedan presentar en su entorno. En el caso de mantenimiento de líneas de Enlaza ha demostrado con esta adopción de estas tecnologías una mejora en la eficiencia en el mantenimiento y la operación y el know how de sus activos.

Adicionalmente, la incorporación de nuevas tecnologías y procesos permiten que las empresas se vuelvan más competitivas en especial en el mantenimiento de líneas de transmisión, lo que mejora la planificación y construcción de programas de mantenimiento, cuyo objetivo es el incremento de la vida útil de los activos de una manera optimizada mediante el mantenimiento predictivo.

Para una exitosa implementación de una cultura de transformación digital en mantenimiento es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Iniciar con una estrategia clara y objetivos definidos en conjunto con una hoja de ruta de las tecnologías digitales.
2. Involucrar a todo el personal en el proceso de transformación.
3. Mantenerse al día con las últimas tendencias tecnológicas.
4. La transformación digital no es solo una opción, sino una necesidad para el sector del mantenimiento de líneas de alta tensión.

5. Aprovechar la tecnología nos permite garantizar la confiabilidad y sostenibilidad de nuestra infraestructura energética en el futuro

Hoja de Vida

William Mejía López: Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional de Colombia, con Maestría en ingeniería eléctrica de la misma universidad. Experiencia profesional en mantenimiento de líneas de transmisión, máquinas eléctricas, análisis, operación y planeamiento de sistemas de potencia.

Yenny Marcela Mesa Palencia: MBA Inalde , Ingeniera Civil de la Universidad de La Salle, especialista en geotecnia en Pontificia Javeriana, Especialista en Gerencia de Mantenimiento de UIS, con más de 21 de años de experiencia en mantenimiento de líneas de transmisión.

BIOGRAFIA

- [1] CIGRE, “Over Head Lines – Green Book” Springer, Malters-Suiza, 2017.
- [2] EPRI, EPRI AC Transmission Line Reference Book—200 kV and Above, Palo Alto: Electric Power Research Institute (EPRI), 2005.
- [3] G. Balzer, C. Schorm, “Asset management for infrastructure system”, Springer 2015
- [4] J. Sifonte, J. Reyes, “Reliability Centered Maintenance – Reengineered. Practical optimization of the RCM Process with RCM-R”

- [5] Lina Bertling, “Infrastructure Asset Management with Power System Applications”, CRC Press, 2018.
- [6] <https://esri.co/survey123-for-arcgis/>
- [7] Laura Tateosian, "Python for ArcGIS", Springer, 2015.
- [8] <https://doc.arcgis.com/es/collector-classic/>
- [9] Alberto Ferrari, “Introducing Microsoft Power BI”, Microsoft Press, 2016.
- [10] Ajay Ohri, “Python® for R Users”, Wiley, 2018.

NOTA

Para facilitar el contacto con los autores de trabajo se hace necesario suministrar al final del trabajo los siguientes datos:

1. Yenny Mesa P
2. Teléfono
 - a. Residencia: 3155399362
 - b. Oficina 3204881827
3. Dirección del autor(es) a. Residencia calle 66 #11-50
 - b. Oficina carrera 9 # 73-44 bogota
 - c. E. mail – ymesa@enlaza.red
 - d. Ciudad Bogotá
 - e. País Colombia
1. William Mejia Lopez
2. Teléfono
 - a. Residencia: 6016947304
 - b. Oficina: 3188366200
 - c. Celular: 3142559887
3. Dirección del autor(es) a. Residencia calle 152#7C-44
 - b. Oficina carrera 9 # 73-44 bogota
 - c. E. mail – wmejia@enlaza.red
 - d. Ciudad Bogotá
 - e. País Colombia