

Renovación de líneas de transmisión, visión de futuro

D. Gómez-Torres, M. Gómez-Pérez

INTERCOLOMBIA S.A E.S.P. Calle 12 Sur # 18-168 – Medellín, Colombia

Email: degomez@intercolombia.com – magomez@intercolombia.com

Medellín - Colombia

Resumen

ISA acaba de cumplir 50 años y parte de sus activos de transmisión en Colombia también han alcanzado esta edad. En este punto, surge la necesidad de establecer planes de renovación de los activos, de forma que se asegure la sostenibilidad de su negocio. Pensar entonces en una renovación completa de una línea de transmisión resulta inviable, toda vez que la degradación de cada uno de sus componentes ocurre en tiempos diferentes. Es así como criterios de condición, índices de salud, vida remanente y la estrategia de la compañía se incorporan en la evaluación del activo.

Este documento tiene como intención mostrar la metodología de índices de salud desarrollada por INTERCOLOMBIA para líneas de transmisión, de forma que se pueda estimar la vida remanente de sus componentes. También, se presenta la metodología establecida por INTERCOLOMBIA para determinar las intervenciones e inversiones activos de ISA.

Introducción

En un sistema de transmisión de energía, las líneas de transmisión permiten la interacción entre los generadores y los usuarios finales de la energía, al ser las “autopistas” que los conectan. Estos activos, al igual que muchos otros, son afectados por el paso del tiempo, algunos en mayor medida que otros, dependiendo de las condiciones operativas o de entorno a las que esté expuesto.

ISA acaba de cumplir 50 años y parte de sus activos de transmisión en Colombia también han alcanzado esta edad. En este punto, surge la necesidad de establecer si es necesario o no realizar su renovación, de forma que se asegure la sostenibilidad de su negocio.

Particularmente, en las líneas de transmisión, no existe una norma internacional que permita de

una forma acertada establecer en qué momento debe ser renovada una torre, un conductor, sus accesorios, el aislamiento o su puesta a tierra.

Una renovación completa de una línea de transmisión es inviable, toda vez que la degradación de cada uno de sus componentes ocurre en tiempos diferentes.

Ante esta necesidad, INTERCOLOMBIA decidió establecer una metodología propia que le permitiera estimar la vida remanente de sus activos, de forma que se pudiera obtener un horizonte de inversión a largo plazo, optimizando los recursos económicos de la compañía, sin impactar su estado de resultados e indicadores de desempeño. Es así como criterios de condición, índices de salud y vida remanente se incorporan en la evaluación del activo.

Para emitir un concepto sobre la necesidad de renovar, estos criterios se evalúan con base a las condiciones operativas y ambientales a las que se ven expuestos cada componente de la línea de transmisión, resultando en una estimación en años de las necesidades de inversión por componente acorde con los criterios estratégicos de la compañía.

La intención de implementar una estrategia para la renovación del activo es alinear los actores de su ciclo de vida (Creación, Operación, Mantenimiento, Renovación y disposición final).

En este documento se mostrará la metodología de índices de salud desarrollada por INTERCOLOMBIA para sus líneas de transmisión, empleada para estimar la vida remanente de sus componentes. También, se presenta la estrategia establecida por INTERCOLOMBIA para la renovación de este tipo de activo, de forma que se las intervenciones e inversiones aseguren la competitividad de su negocio.

Alineación Estratégica y Línea de Vista

Establecer las necesidades de renovación de las líneas de transmisión y su plan de intervención está plenamente alineado con los objetivos del mapa estratégico de INTERCOLOMBIA, respecto a “Definir y ejecutar el plan de renovación y disposición final optimizado en función de la criticidad, salud de activos, vida remanente y generación de valor”.

Adicionalmente, en la línea de vista de gestión de activos (Figura 1), esta actividad se enmarca en las estrategias funcionales del ciclo de vida de INTERCOLOMBIA, en lo que respecta a la renovación de sus activos.

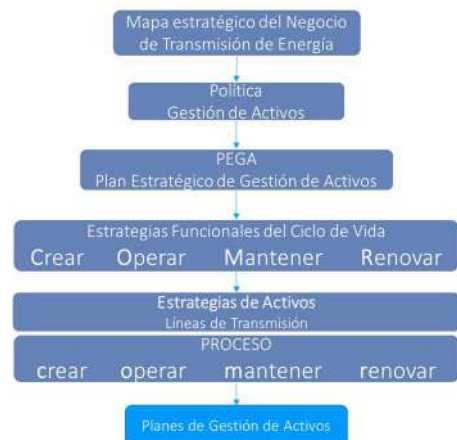


Fig. 1. Línea de vista gestión de activos INTERCOLOMBIA [1]

Con la inclusión de esta metodología, se asegura la conectividad jerárquica los objetivos del mapa estratégico de INTERCOLOMBIA y las acciones de ciclo de vida sobre los activos.

Componentes de una línea de transmisión

Una línea de transmisión está conformada por diferentes componentes que, en conjunto, hacen posible el transporte de energía. A continuación, se presenta una breve definición de cada uno de ellos:

- *Estructura metálica:* Se denomina estructura al “cuerpo de la torre” o conjunto de perfiles y platinas metálicas fabricados generalmente en acero galvanizado en caliente de media y alta resistencia mecánica [2], [3].
- *Conductores:* Como su nombre lo indica, son cables por los que fluye la energía eléctrica; podrán ser de cualquier material metálico o combinación de éstos que permitan constituir alambres o cables de características eléctricas y mecánicas adecuadas [2], [3].
- *Cables de guarda:* En la parte más alta de la torre, se instalan conductores desnudos, llamados de guarda, que sirven para apantallar la línea e interceptar los rayos antes que alcancen los conductores. Esos no conducen corriente constantemente.

Normalmente se hacen de alambres de acero recubierto con aluminio o zinc y se conectan solidariamente a tierra en cada una de las torres las cuales, a su vez, también lo están. Podrán ser también tipo OPGW, en cuyo caso incluyen la posibilidad de transmitir datos por sus fibras ópticas. [2], [3]

- *Aislamiento:* Los aisladores son dispositivos que sirven de apoyo y soporte a los conductores, al mismo tiempo que los mantienen aislados de tierra. El material más utilizado para los aisladores es la porcelana, el vidrio y materiales sintéticos como siliconicas. [2], [3]
- *Herrajes y accesorios:* Se considerarán herrajes todos los elementos como grilletes, prolongas, etc., utilizados para la fijación de los cables de guarda y las cadenas de aisladores a las torres, también se incluyen algunos elementos de las grapas de suspensión y retención de los conductores de fase con los aisladores. [2], [3]
- *Sistema de puesta a tierra:* Conductor o conjunto de conductores que sirven para establecer una conexión con la tierra, de tal forma que cualquier anomalía producto de una descarga atmosférica o una falla a tierra de la línea de transmisión se atenúa adecuadamente. A su vez permite controlar las tensiones de paso, de contacto transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla. [2], [3]
- *Sitio de torre:* Lugar geográfico en donde se localiza o desplanta una estructura perteneciente al sistema eléctrico nacional. [2], [3]
- *Vano:* Distancia horizontal comprendida entre los dos ejes de torres. En esta variable se considera todo aquello que está debajo de los conductores y dentro de la zona de servidumbre. [2], [3]

En el alcance de este documento no se incluyen los componentes Sitio de torre y Vano.

Criticidad y Condición de las líneas de transmisión

Criticidad

La criticidad es una jerarquización de los activos de acuerdo a su nivel de importancia para el negocio. Esta jerarquización considera diferentes variables de evaluación, entre las que se encuentran requisitos legales, ambientales, de salud ocupacional, remuneración del activo, niveles operativos, entre otros.

La clasificación adoptada por INTERCOLOMBIA considera 3 niveles: Alto (A), medio (B) y bajo (C). Después de un análisis ponderado del conjunto de variables aplicada a cada línea de transmisión, el resultado se registra para cada torre en sus características técnicas en SAP.

Esta información permite priorizar las necesidades de renovación de los activos, de forma que las inversiones de la compañía se realicen minimizando el riesgo inherente al deterioro de los activos.

Condición

Una vez realizada la inspección de una línea de transmisión, los hallazgos deben ser evaluados de forma que se establezca su condición y posteriormente las acciones correctivas.

Para ello, INTERCOLOMBIA desarrolló una serie de reglas de diagnóstico, las cuales contienen a una serie de criterios técnicos para clasificar los niveles de riesgo técnico de cada anomalía, considerando información de diseño, la experiencia del personal de mantenimiento y las normas vigentes.

Dado que, las líneas de transmisión son analizadas por componente, las reglas de diagnóstico fueron creadas de igual forma para

cada uno de ellos. Estas reglas se automatizaron en SAP, asignando calificaciones entre 0 y 5 a los equipos. En la Figura 2 se presenta el significado de cada valor asignado por el algoritmo.

CALIFICACIÓN	CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN
5	BUENA	El equipo se encuentra en buen estado, opera satisfactoriamente y no requiere acciones diferentes a las definidas para mantenimiento de tipo preventivo periódico (por Estrategia)
4	SEGUIMIENTO	La torre presenta un estado anormal en alguno(s) de sus componentes, sin embargo corresponden a hallazgos que no afectan la operación normal de la línea y su corrección se hace por oportunidad.
3	TOLERABLE	Torre en seguimiento con el fin de confirmar causas de la condición anormal que existe en alguno(s) de sus componentes. No existe riesgo inminente de falla o salida de servicio de la línea
2	RIESGOSA	La torre presenta alto deterioro en alguno de sus componentes y debe ser revisado con prontitud. Algunos componentes faltantes.
1	CRÍTICA	La torre presenta excesivo deterioro o deformación en alguno de sus componentes y si continúa en operación puede llevar a falla. Cantidad considerable de componentes faltantes
0	NO FUNCIONA	La torre presenta falla por alguno de sus componentes y lleva a que la línea está fuera de servicio.

Fig. 2. Significado de cada calificación del algoritmo

La calificación se realiza por torre, siendo la condición de la línea de transmisión el menor valor de calificación que haya tenido cualquiera de sus torres. Esto se debe a que se considera un sistema en serie.

En este punto, junto con la criticidad del activo, se determina la prioridad de atención de cada anomalía, pero no todas las anomalías detectadas implican un deterioro del activo. Partiendo de este hecho, es necesario seleccionar aquellas anomalías (Modos de falla) que realmente afecten su vida útil y clasificarlas a través de índices de salud de forma que se obtenga una estimación de su vida remanente.

Estrategia de Renovación de Líneas de Transmisión

Factores de Degradación de las Líneas de Transmisión

En las líneas de transmisión de INTERCOLOMBIA, se han detectado

principalmente los siguientes modos de degradación:

- *Fatiga mecánica:* Corresponde al rompimiento de elementos metálicos por esfuerzos dinámicos cíclicos en puntos de sujeción como herrajes de suspensión, empalmes de compresión y amortiguadores. La evidencia del daño se da principalmente en los conductores o cables y en los componentes empleados para su fijación. [2]

Este fenómeno se debe principalmente a un diseño inapropiado del amortiguamiento o inadecuado control del galopeo, derivando en rupturas de cables en periodos inferiores a 25 años. No es común observar este tipo de desgaste en elementos con menos de 50 años en operación. Debido a la complejidad de evaluar esta condición en las líneas de transmisión de INTERCOLOMBIA y que corresponde normalmente a un diseño inadecuado del sistema de vibración, este factor se tratará como una actividad de mantenimiento correctivo. [2]

- *Creep:* Es un alargamiento no elástico que comienza a experimentar un cable (Conductor, guarda u OPGW), una vez es sometido a tensiones longitudinales durante su tendido y posterior regulación y grapado. Este fenómeno se asocia con la fluencia de los materiales que constituyen el cable y se desarrolla rápidamente en los primeros días de tendido del cable, llegando a alcanzar un 80% en el primer año sin llegar al 100% en su vida útil. [2]

El creep depende de la calidad del conductor, de las tensiones aplicadas, las condiciones climáticas, la potencia transmitida y el mismo creep experimentado previamente. Dada su naturaleza y el tiempo necesario para el desarrollo completo del creep, esta variable de degradación no es analizada. [2]

- *Corrosión:* Es uno de los principales factores

de degradación en las líneas, dado que dependiendo las condiciones de la zona de instalación disminuye drásticamente la expectativa de vida de los componentes metálicos, si estos no son seleccionados adecuadamente. El factor de la corrosión es tan crítico, que bajo condiciones extremas de contaminación un elemento metálico puede tener una vida útil de aproximadamente 15 años. Este factor se considera como determinante en la expectativa de vida de los componentes metálicos de las líneas de transmisión. [2]

En este aspecto, en los años noventa ISA-INTERCOLOMBIA desarrolló una metodología de control de la corrosión denominada “Manejo Integral de la Corrosión – MIC”. Con esta metodología, se establecieron diferentes ambientes a los que pueden estar sometidos las líneas de transmisión en su trazado (Figura 3).

Distancia al mar km	Niveles de Corrosión	Identificador por color
$0 \leq X \leq 5$	Extremadamente severo	
$5 < X \leq 10$	Muy severo	
$10 < X \leq 15$	Severo	
$15 < X \leq 20$	Muy alto	
$20 < X \leq 25$	Alto	
$25 < X \leq 30$	Levemente alto	
$X > 30$	Moderado - Bajo	

Fig. 3. Niveles de agresividad corrosiva

Con base en esta información, la ubicación geográfica de cada activo y el conocimiento de deterioro de cada componente de las líneas de transmisión, es posible estimar la vida útil y vida remanente de cada uno de sus componentes a través de los índices de salud.

Índices de Salud de Líneas de Transmisión [2]

El índice de salud se emplea para determinar el grado de deterioro de un equipo de acuerdo con el estado de las variables que evidencian la reducción de su vida útil. Para el caso de las líneas de transmisión, el índice de salud permite establecer prioridades de reemplazo que definen un tiempo de intervención. En este aspecto se

definen 4 índices de salud, cuyo detalle se presenta en la Figura 4.

Índice de salud	Tiempo de Intervención [Años]	Condición
4	>10	Bueno, en capacidad de prestar su función, requiere mantenimiento preventivo.
3	$5 < X \leq 10$	Deteriorado, requiere mantenimiento correctivo.
2	$2 < X \leq 5$	Equipo deteriorado, requiere restauración (Refurbish) o reemplazo.
1	$0 \leq X \leq 2$	Fin de vida útil, requiere reemplazo.

Fig. 4. Índices de salud para líneas de transmisión

De acuerdo con lo establecido en el numeral anterior, la corrosión es el factor determinante en la degradación de los activos. Dependiendo del componente de la línea de transmisión analizado, variará su rata de deterioro, ya que está se relaciona directamente con diferentes aspectos como la forma, tamaño, material o ubicación del elemento.

En este aspecto, INTERCOLOMBIA con la aplicación del MIC, clasificó la condición de deterioro por corrosión de los diferentes componentes metálicos de una línea de transmisión, definiendo los siguientes grados de corrosión:

- *Corrosión Grado 1:* En cables se presenta como picaduras superficiales en alambres interiores y/o exteriores. En perfiles y elementos cilíndricos corresponde con la afectación del recubrimiento de Zinc, con afectación mínima del acero. [3]
- *Corrosión Grado 2:* En cables se presenta como picaduras profundas en alambres interiores y/o exteriores. En perfiles y elementos cilíndricos corresponde con la afectación del acero hasta un 20% de la sección del elemento. [3]
- *Corrosión Grado 3:* En cables se presenta como picaduras profundas o alambres interiores y/o exteriores rotos. En perfiles y elementos cilíndricos corresponde con la afectación del acero más del 20% de la sección del elemento. [3]

- *Condición peligrosa:* Condición donde el riesgo de falla es inminente y posible desde el mismo momento en el que se detecta. [3]

Con base en la información se construyeron los índices de salud por cada componente de las líneas de transmisión, teniendo en cuenta el nivel de agresividad corrosiva. En la Figura 5 se presenta un ejemplo aplicado a los aisladores de vidrio y porcelana.

Niveles de Agresividad Corrosiva Extremadamente Severo/Muy Severo/Severo/muy alto				
Índice de salud	Sin corrosión	G1	G2	G3
1				X
2			X	
3		X		
4	X			

Fig. 5. Índices de salud para aislamiento de vidrio y porcelana [2]

Es importante anotar que, la condición peligrosa es algo puntual y por ende no es posible establecer un plan de renovación en esta condición.

En cuanto a la estimación de la vida remanente de la línea de transmisión, esta se realiza con base en el índice de salud de cada uno de los activos. En este aspecto, es importante analizar e integrar las necesidades por sectores y componentes para la optimización de las intervenciones. El resultado de este análisis es el plan de inversiones jerarquizado acorde a la criticidad de cada activo.

Metodología de renovación de líneas de transmisión

La metodología propuesta se divide en el plan de inversión y el plan de compras.

El plan de inversión se deriva de los resultados de la aplicación de índices de salud, vida remanente, criticidad y sectorización de las necesidades de intervención. En este punto se obtiene el tiempo óptimo de renovación del activo, con su respectiva administración de riesgos.

El plan de compras consiste en determinar, acorde a los procesos establecidos en cada compañía, los tiempos en que se debe iniciar el proceso de adquisición de bienes y servicios para ejecutar el plan de inversión aprobado. En INTERCOLOMBIA esta metodología se resume en el flujograma de la Figura 6:

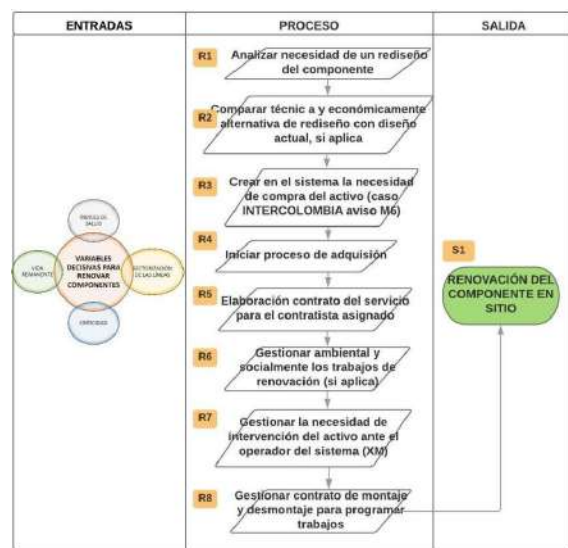


Fig. 6. Diagrama de flujo de plan de compras

Esto va a acompañado de criterios de decisión y responsabilidades en las diferentes etapas del plan de inversión. En INTERCOLOMBIA se definió la matriz RACI (**R**esponsable, **A**probador, **C**onsultado e **I**nmformado) que se presenta en la Figura 7.

	ÁREAS			
	Equipo Diseño	Equipo de Compra	Equipo de Gestión	Equipo Ejecutor
Analizar la necesidad de un rediseño del componente.	Responsable		Consultado	Consultado
Comparar técnica y económicamente alternativa de rediseño con diseño actual, si aplica.	Consultado		Responsable	Informado
Crear en el sistema la necesidad de compra del activo (Caso INTERCOLOMBIA aviso M6).		Aprobador	Responsable	
Iniciar el proceso de adquisición.		Responsable	Consultado	
Elaborar el contrato de servicio para el contratista asignado.		Responsable	Informado	
Gestionar ambiental y socialmente los trabajos de renovación (Si aplica).		Responsable	Informado	Informado
Gestionar la necesidad de intervención del activo ante el operador del sistema (XM).			Responsable	
Gestionar contrato de montaje/desmontaje para poder programar los trabajos.			Responsable	
Iniciar el trabajo de renovación			Informado	Responsable

Fig. 7. Matriz RACI para la ejecución del plan de renovación

Mejora de componentes de las líneas de transmisión

Partiendo del hecho que la corrosión es un factor de degradación de los componentes de las líneas de transmisión. se hicieron estudios e investigaciones tendientes a mejorar su desempeño.

Por ejemplo, para las estructuras metálicas se determinó aplicar recubrimientos anticorrosivos para aumentar su expectativa de vida. De igual forma, se determinó la utilización de herrajes en acero inoxidable de acuerdo con el perfil de agresividad corrosiva de la zona de construcción de los nuevos proyectos. [2]

Cómo estos casos, existen otras mejoras sobre los componentes de las líneas de transmisión que permiten mejorar su desempeño, pero su implementación depende de un análisis de beneficios en el largo plazo del activo.

Disposición Final

Para el proceso de disposición final de los diferentes componentes de las líneas de transmisión que han llegado al fin de su vida útil, INTERCOLOMBIA tiene establecido la entrega de estos elementos a un contratista especializado y certificado para este fin, cerrando de esta forma el proceso de renovación del activo. [4]

Resultados Obtenidos

Con base en la aplicación de la metodología de renovación, INTERCOLOMBIA ha podido establecer planes de inversión y compra para los componentes asociados a la estructura metálica, el aislamiento, cables de guarda y conductores. En la Figura 8 se presenta el plan de inversión en pinturas anticorrosivas para estructuras metálicas hasta el año 2040.



Fig. 8. Plan de inversión en pintura anticorrosiva de estructuras metálicas

Adicionalmente, se ha incorporado mejoras en los componentes como cables de guarda y conductores engrasados, soportado en análisis de beneficios. Esta información ha permitido cambiar la forma de interacción entre las áreas técnicas y financieras de INTERCOLOMBIA, toda vez que se armonizan las necesidades de los activos con el flujo de capital de la empresa, conservando el valor de esta y cumpliendo con indicadores de confiabilidad y disponibilidad.

Esta información se consigna en el sistema SAP como el plan de largo plazo de renovación de los activos relacionados con las líneas de transmisión. Adicionalmente, se utiliza como base de seguimiento para los indicadores de alto nivel de los objetivos estratégicos de INTERCOLOMBIA.

Conclusiones

- La metodología planteada en este documento dio respuesta al objetivo estratégico de INTERCOLOMBIA sobre definir y ejecutar el plan de renovación y disposición final optimizado en función de la criticidad, salud de activos, vida remanente y generación de valor. Su aplicación ha permitido mejorar la proyección financiera de INTERCOLOMBIA respecto al mejor momento de realizar una inversión.
- El seguimiento a través de indicadores de desempeño del plan de renovación propuesto es de vital importancia para validar que la proyección planteada se ajusta a la realidad. Es importante también que se generen

espacios de revisión (Anual), de este plan de forma que se actúe rápidamente a cambios derivados de la estrategia de la compañía o de la regulación.

- De acuerdo con la matriz RACI, la integración entre áreas es vital para asegurar el cumplimiento del plan de renovación y la toma de decisiones en casos de simultaneidades.

Hoja de vida de los autores

David Ernesto Gómez Torres

Ingeniero Electricista, Especialista en Finanzas -
Universidad Nacional Sede Medellín.
Medellín, Antioquia, Colombia.

Cargo actual: Coordinador Gestión Equipo Líneas.

Dirección Mantenimiento - INTERCOLOMBIA.

S.A. E.S.P.

degomez@intercolombia.com

Medellín, Antioquia, Colombia.

Maria del Socorro Gómez Pérez

Ingeniera Electricista, Universidad Tecnológica de
Pereira. Magister en Ingeniería Eléctrica, Universidad
Tecnológica de Pereira.

Cargo actual: Analista Gestión Equipos Líneas.

Dirección Mantenimiento – INTERCOLOMBIA S.A.

E.S.P.

msgomez@intercolombia.com

Medellín, Antioquia, Colombia.

Referencias

[1] Gerencia Operaciones INTERCOLOMBIA,
“Así vivimos la Gestión de Activos en la
Gerencia de Operaciones”, 2018.

[2] D. Gómez, L. Porras, C. Puentes. “Estrategia
de renovación de líneas de transmisión”, 2015

[3] J. Maya, “Evaluación de condición por
corrosión de componentes de torres de líneas de
transmisión de energía” manual técnico
normalizado MTN-M-L-18.00-P-2066, 2008.

[4] J. Maya, D. Gómez “Gestión de Activos en
el Mantenimiento de Líneas de Transmisión de
Energía, 2018.