

ESTRATEGIAS Y EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES PARA LA RENOVACIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS ASOCIADAS A LOS PÓRTICOS DE SUBESTACIONES EN SERVICIO, EN ZONAS DE ALTA CORROSIÓN Y POLUCIÓN

Julio César Pombo Acevedo & Carlos Eduardo Julio Arteaga
TRANSELCA S.A E. S. P. Carrera 24 # 1A -24 Piso 18 Edificio BC Empresarial
PBX (095) 3717200 Ext. 52357 & 52687
Email: jpombo@transelca.com.co & cjulio@transelca.com.co
Puerto Colombia - Colombia

Resumen

Este trabajo tiene por objeto, primero, detallar la experiencia de TRANSELCA en la ejecución de actividades para la renovación de estructuras metálicas expuestas a los efectos corrosivos propios de las zonas en las que se encuentran instaladas. Segundo, las estrategias y consideraciones para determinar los costos de inversión, contratación, diseños, fabricaciones, definiciones de riesgos, impacto en el sistema eléctrico y la ejecución para el montaje de estos componentes en las subestaciones eléctricas.

Introducción

Las columnas, vigas y accesorios de los pórticos de las subestaciones eléctricas están conformadas en su gran mayoría por elementos de acero al carbono de mediana y alta resistencia que generalmente son sometidos a un proceso de galvanizado en caliente [1] para protegerlos de las atmósferas corrosivas.

La corrosión es una reacción química producto de la unión del metal con el oxígeno, es decir, es un deterioro observado en un objeto metálico a causa de un alto impacto electroquímico de carácter oxidativo y la velocidad degenerativa de dicho material dependerá de la exposición al agente oxidante, la temperatura presentada y en nuestro caso la exposición a ambientes salinizados (con presencia de cloruro de sodio).

Este proceso es espontáneo, natural, degenerativo y no reversible, pero previsible siempre y cuando se tomen medidas para prolongar su aparición temprana [2].

En subestaciones eléctricas del tipo AIS, las estructuras metálicas están expuestas al efecto corrosivo y en aquellos casos donde el peine del viento se convierte en un factor acelerante de las consecuencias, se hace necesario un mayor énfasis en la intervención o métodos para tomar medidas que permitan prolongar la vida útil de estos metales. Los pórticos son conjuntos de estructuras metálicas entrelazadas, que conforman un subconjunto estructural y cuyo objetivo es suspender el aislamiento aéreo de forma que se garantice las distancias eléctricas requeridas [3].

En zonas costeras estos pórticos son vulnerables al ataque de la corrosión por las razones ya expuestas, sin embargo, en algunas zonas se convierte en un desafío para los ingenieros el mantenimiento, ya que soluciones como el galvanizado son insuficientes para garantizar la vida útil esperada de dichas estructuras.

1. Caso de estudio: Renovación de pórticos Subestación Nueva Barranquilla

La subestación Nueva Barranquilla, en adelante NBQ, se encuentra situada en la ciudad de Barranquilla, capital del departamento del

Atlántico en Colombia, a 7 km del mar Caribe y a 6 km del Río Magdalena, como se muestra en la Figura 1. Dada la cercanía de la ciudad con el mar, las subestaciones se ven expuestas a atmosferas marinas o industriales.



Fig 1. Localización Subestación Nueva Barranquilla

Los componentes galvanizados propios de los pórticos se ven afectados por la corrosión, debido a que los contaminantes agresivos sólidos o gaseosos son transportados por el viento desde el mar o las plantas de producción y se depositan en sus superficies donde reaccionan químicamente con la capa de zinc produciendo sales solubles.

Luego de que el recubrimiento de zinc se consume totalmente, la velocidad de corrosión en el elemento se incrementa significativamente y obliga a realizar seguimiento permanente a la condición de los componentes y establecer los planes de acción para evitar que se materialicen los riesgos sobre el sistema, los equipos y sobre todo accidentes con el personal.

2. Marco Teórico

2.1. La Corrosión

La corrosión es la degradación que experimentan los materiales por la acción del medio que los rodea, es un proceso inevitable, lo que se pretende es controlar la velocidad de corrosión de modo que el deterioro resulte compatible con la vida útil de la estructura o en su defecto reemplazar los componentes cuando

han alcanzado grados de corrosión que pongan en riesgo la seguridad de la infraestructura.

2.2. Como ocurre la corrosión

La mayor parte de los procesos de corrosión del acero estructural son de naturaleza electroquímica y suceden por etapas. El ataque inicial ocurre en las áreas anódicas sobre la superficie, donde los iones ferrosos son disueltos. De las áreas anódicas se liberan los electrones que se mueven a través de la estructura metálica a las áreas catódicas adyacentes existentes en la superficie, donde se combinan con el oxígeno y con el agua, formando iones hidróxilos.

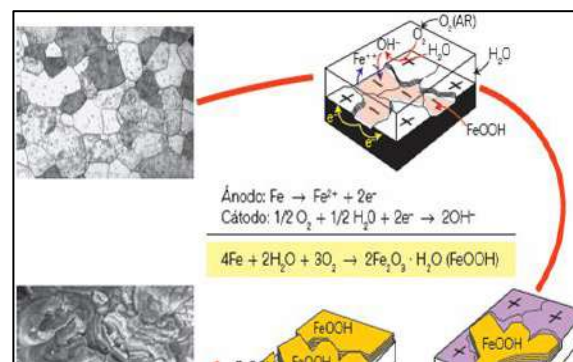
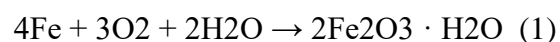


Fig 2. Representación esquemática mecanismo de corrosión

Los iones hidróxilos reaccionan con los iones ferrosos generados en el ánodo, produciendo hidróxido ferroso que, a su vez, se oxida al aire produciendo el óxido de hierro hidratado, conocido como herrumbre. Todas estas reacciones pueden ver mediante la ecuación:



Dos puntos importantes son consecuencias directas de las consideraciones anteriores:

- Para que el acero se corra, es necesario la presencia simultánea de agua y de oxígeno. En ausencia de una de estas sustancias, no se produce corrosión.

- Toda la corrosión ocurre en el ánodo; en el cátodo no hay corrosión. Pero después de un tiempo y debido a los efectos de polarización (tal como el crecimiento de la capa de herrumbre en las regiones anódicas), la velocidad del proceso de corrosión decae sustancialmente.

3. Condiciones Generales

3.1. Descripción de las estructuras

Un pórtico de subestación es una estructura metálica conformada por Columnas y Vigas, en su gran mayoría compuesto por herrajes, platinas, tornillos y perfiles galvanizados en caliente de alta y mediana resistencia mecánica. Su disposición en cuatro patas la hace autoportante y las mismas son protegidas con concreto, dependiendo de la capacidad portante de los terrenos o de la agresividad corrosiva de los mismos.

En el siguiente esquema se muestra los principales elementos en un pórtico típico al momento de calificar la condición por corrosión de sus componentes.

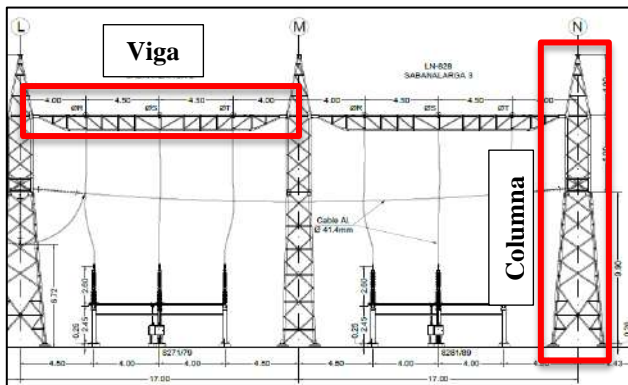


Fig 3. Pórtico típico patio de 220kV de la subestación nueva barranquilla

3.1.1 Columnas/Vigas

Se denomina columnas y vigas al conjunto de perfiles y platinas metálicas fabricados

generalmente en acero galvanizado en caliente de media y alta resistencia mecánica, que en conjunto forman un pórtico.

3.1.2 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 activos situados debajo.

3.1.3 Herrajes

Se considerarán herrajes todos los elementos utilizados para la fijación de los cables de guarda y las cadenas de aisladores a las vigas.

3.1.4 Aisladores

Los aisladores son dispositivos que sirven para mantener un conductor fijo, separado y aislado de partes que en general no están bajo tensión (a tierra); 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 resinas epóxicas y siliconicas.

3.1.5 Cables conductores

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, deben presentar además una resistencia elevada a la corrosión atmosférica. Pueden ser fabricados con alambres de cobre reunidos formando cuerdas o hilos, también pueden ser fabricados con alambres de aleaciones de aluminio ó con refuerzo de acero.

3.1.6 Tornillería

Estos son elementos metálicos galvanizados en caliente de cuerpo cilíndrico y dotado de cabezas hexagonales para su montaje, son utilizados para la fijación entre piezas.

4. Metodología

A cada uno de los elementos metálicos que conforman los pórticos se le debe evaluar la condición por corrosión. Dado que la mayoría de componentes que conforman las columnas y vigas son básicamente perfiles en ángulo, platinas y tornillería fabricados en acero galvanizado en caliente, se crearon tres grados de corrosión de las cuales se determina la criticidad del problema de corrosión que se presenta en los pórticos; para los otros componentes que por su deterioro pueden generar interrupciones en el servicio o demandar inversiones económicas importantes para su reposición, se crearon patrones específicos.

A continuación, se describen los diferentes grados de corrosión en los componentes de torres:

4.1. Grado de corrosión para componentes de pórticos diferentes a perfiles en ángulos

Debido a que componentes de torre como los pernos de escalera y la tornillería cuando son expuestos en atmósferas corrosivas no muestran un patrón típico de deterioro, se hace necesario utilizar mecanismos prácticos de calificación de condición como la inspección con cámara y pértiga, en el cual se evidencian mediante registros fotográficos; la condición en tres grados de afectación del componente.

4.2. Grado de corrosión para evaluación de perfiles estructurales

4.2.1 Perfiles Corrosión Grado I

Se caracterizan por que en dos de las cuatro caras del perfil se presenta un color beige (café con leche), producto de la oxidación del recubrimiento de Zinc y los contaminantes atmosféricos, también se observan óxidos de hierro en forma de puntos pequeños de color café rojizo.

4.2.2 Perfiles Corrosión Grado II

Estos perfiles presentan un color café rojizo generalizado en las superficies de las caras más afectadas y en algunos casos, óxidos de forma laminar (exfoliación), con un desgaste hasta del 20% del espesor original; las otras dos caras presentan un color beige (café con leche), con puntos pequeños de óxidos de hierro.

4.2.3 Perfiles Corrosión Grado III

Este es el grado de corrosión más crítico que podemos encontrar en los componentes; al igual que en el grado anterior, se presenta desgaste de metal y óxidos en forma laminar; las caras más afectadas presentan un desgaste superior al 20% del espesor original del perfil y generalmente perforaciones

5. Procedimiento de Evaluación y ejecución de actividades

5.1 Antecedentes

Cuando un pórtico está ubicado en una atmósfera con un nivel de agresividad corrosiva, lo típico es que la afectación de sus componentes sea mayor en las partes altas y menor en las partes bajas, es por esto por lo que la evaluación no se hace desde el piso, es necesario ascender hasta la parte alta del pórtico y verificar las condiciones de las columnas y las vigas. La evidencia del estado de los componentes asociados a los pórticos en la subestación NBQ se muestran a continuación:



Fig 4. Condición de perfil de viga asociada a pórtico de la subestación NBQ

Adicionalmente, la corrosión en las estructuras no se presenta de manera uniforme (Ver Fig. 5, 6 y 7) en todos sus componentes, en un mismo elemento, el grado de corrosión puede variar significativamente.



Fig 5. Condición de perfil de viga asociada a pórtico de la subestación NBQ

Por lo Anterior, para la evaluación del grado de corrosión, se debe considerar el grado más avanzado observado en cada elemento estructural, teniendo en cuenta los grados de corrosión.



Fig 6. Condición de perfil de columna



Fig 7. Grado de corrosión III

5.2 Costos de la inversión

Una vez identificada la criticidad de la condición de los componentes que hacen parte de los pórticos, se establecen los costos para renovar los pórticos y garantizar la seguridad del sistema eléctrico de potencia, los equipos y las personas. Los costos por pórtico se detallan a continuación:

Tabla I. Costos asociados al cambio de un pórtico completo

ítem	Descripción De La Actividad	% proyecto	Cantidad De Pórticos	Valor Desembolsos Pesos Colombianos (COP)
1	Suministro De Vigas y Columnas	25%	1	\$ 21.028.061
2	Armado De Vigas Y Columnas Nuevas	25%	1	\$ 21.028.061
3	Desmontaje Y Montaje De Vigas y Columnas	30%	1	\$ 25.233.673
4	Desarmado De Vigas Y Estructuras Desmontadas	10%	1	\$ 8.411.224
5	Acta De Liquidación Definitiva	10%	1	\$ 8.411.224
	TOTAL	100%	1	\$ 84.112.244,0

Una vez se analiza los costos – beneficios que implica la renovación de los pórticos, se procede con la ejecución de las actividades para los cambios de pórticos completos por la severidad por corrosión en sus componentes.

5.3 Etapas de ejecución

Las actividades comprenden el suministro e instalación de las vigas y las columnas (completas) que se encuentran con grado de corrosión 2 y 3. La ejecución para el cambio de pórticos corroídos y evaluados con grado de corrosión III se ejecutan en siete (7) etapas, así:

- 1) Diseño y fabricación de vigas y columnas completas.
- 2) Transporte de herrajería hasta la subestación.
- 3) Armado de vigas y columnas en sitio
- 4) Desmontaje de vigas y columnas en mal estado
- 5) Montaje de vigas y columnas nuevas
- 6) Desarmado de vigas y columnas desmontadas
- 7) Disposición final de componentes



Fig 8. Suministro de vigas y columnas completas a instalar en la subestación



Fig 9. Transporte de herrajería correspondiente a las vigas y estructuras fabricadas a la subestación NBQ.



Fig 10. Armado de vigas y estructuras nuevas en piso parte I.



Fig 11. Armado de vigas y estructuras nuevas en piso parte II.



Fig 12. Desmontaje de vigas y estructuras actuales parte I.



Fig 13. Desmontaje de vigas y estructuras actuales parte II.



Fig 14. Seccionamiento de Barras.



Fig 18. Montaje de estructuras nuevas parte I.

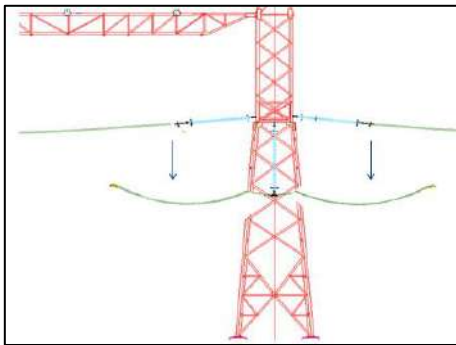


Fig 15. Diagrama de Seccionamiento de Barra.



Fig 19. Montaje de estructuras nuevas parte II.



Fig 16. Seccionamiento de Barra 2.



Fig 20. Desarmado de vigas y estructuras desmontadas en piso.



Fig 17. Montaje de Vigas.



Fig 21. Disposición final de herrajería desarmada.

Estas actividades se ejecutan de acuerdo con la orientación solicitada o indicada por el funcionario INTERVENTOR designado por TRANSELCA.

6. Conclusiones y recomendaciones

- Debido a que la atmosfera en donde están ubicadas las subestaciones tienen niveles agresivos de corrosión, es necesario hacer el seguimiento de manera rigurosa con inspecciones de cámara y pértiga, a fin de establecer la condición por corrosión de sus componentes, todo esto, teniendo en cuenta los criterios de evaluación para los componentes estructurales que hacen parte de los pórticos (Columnas y Vigas). Con esto, se garantizan los planes de acción necesarios para la renovación o repotenciación de sus componentes.
- La criticidad de los procesos corrosivos que se observan en los pórticos generalmente es ascendente; es decir entre más alta sea la estructura, mayor es el nivel de afectación de los componentes. Teniendo en cuenta lo anterior, las piezas que se ven más afectadas en los pórticos de las subestaciones están asociadas generalmente a la parte superior de las columnas (cuerpo superior, castillete, columnas y vigas).
- Las estrategias de evaluación por condición a pórticos de subestaciones, garantizan minimizar el riesgo en la seguridad de las personas y la continuidad del servicio de energía.
- La relación del costo de la inversión y el impacto en el sistema eléctrico de potencia, es razonable teniendo en cuenta el costo de las fabricaciones y la galvanización unido a la elevada duración de los recubrimientos galvanizados, dan como resultado que este procedimiento sea económicamente viable y

garantiza la confiabilidad disponibilidad de activos la y seguridad del sistema eléctrico de potencia.

7. Referencias bibliográficas.

- [1] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Recubrimiento de zinc por inmersión en caliente para elementos en hierro y acero, NTC 2076, 2006-12-22, Bogotá, Colombia, 2009.
- [2] P. R. Roberge, Handbook of corrosion engineering, New York, USA: McGraw-Hill, 2000.
- [3] J. A. Martínez Velasco, Coordinación de aislamiento en redes eléctricas de alta tensión, Madrid, España: McGraw-Hill, 2013.

Julio César Pombo Acevedo

Ingeniero Electricista, Especialista en Sistemas de Transmisión de Energía Eléctrica, en Finanzas y Magíster en Administración de Empresas (MBA)

Universidad del Norte, Barranquilla – Colombia.

Cargo actual: Coordinador Sénior de Mantenimiento.

Departamento de Gestión del Mantenimiento.
TRANSELCA S.A. E.S.P.

Carlos Eduardo Julio Arteaga

Ingeniero Electricista

Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena – Colombia.

Cargo actual: Analista Junior de Mantenimiento.

Departamento de Gestión del Mantenimiento.
TRANSELCA S.A. E.S.P.