

COMPACTACIÓN DE UNA SUBESTACIÓN TIPO INTEMPERIE EXISTENTE A UNA SUBESTACIÓN GIS TIPO INTERIOR.

S. Ardila ^{*1} y J. Ardila ^{**}

**Universidad Pontificia Bolivariana, Cir. 1 #70-01, of. 11-261, Medellín, Colombia.*

*** Iberdrola. Tomás Redondo, 1. 28033, Madrid, España.*

Recibido 1 Marzo 2011; aceptado 15 Junio 2011
Disponible en línea: 27 Junio 2011

Resumen: Se presenta el desarrollo de los procedimientos y consideraciones a tener en cuenta para la compactación de subestaciones de tipo intemperie situadas en zonas urbanas estratégicas de grandes ciudades en subestaciones GIS (Gas Insulated Substations) tipo interior aisladas en SF₆. Basándose en experiencias previas en planificaciones de este tipo que se han llevado a cabo con gran éxito en las principales ciudades europeas, de tal forma que resulte evidente para cualquier persona, los beneficios y ventajas que tiene este proyecto innovador. *Copyright © 2011 UPB.*

Palabras clave: GIS, SF₆, Compactación, Subestación, Subestación tipo Intemperie, Subestación tipo Interior.

Abstract: Development of the procedures and considerations to take into account for the compaction of existing substations of outdoor type located in strategic urban areas of large cities in GIS indoor type substations SF₆ insulated is presented. It is based on previous experiences in plannings of this type, that have been carried out with great success in major European cities, in such a way that will be obvious to any person, the benefits and advantages that has this innovative project.

Keywords: GIS, SF₆, compaction, substation, substations of outdoor type, substations of indoor type.

1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura eléctrica de las grandes ciudades debe ser planificada con muchos años de antelación y desarrollada a medida que crece para así satisfacer la necesidad de energía de sus habitantes y sostener el desarrollo industrial. Consecuente con dicha planificación, se han construido subestaciones de transformación en diferentes zonas urbanas que antes eran poco pobladas o que no se tenía previsto que a mediano plazo tuvieran un crecimiento importante.

Es por esto que muchas de estas subestaciones que son estratégicas para el funcionamiento del sistema eléctrico de la ciudad, están hoy ubicadas

en zonas de gran desarrollo comercial o habitacional, es decir, han quedado atrapadas en medio de complejos de viviendas o comercios, impidiendo el crecimiento de la zona y convirtiéndose en un obstáculo para la expansión urbanística de las ciudades.

Al ver este tipo de infraestructura la gente del sector, los vecinos, sienten antipatía y en muchas ocasiones temor debido a factores como el sonido que generan los equipos y el tamaño de la instalación que provoca una alta contaminación visual, además estas instalaciones tienen poca seguridad por que están expuestas al vandalismo de personas inadaptadas. Sin embargo, la ubicación de estas instalaciones es la más

¹ Autor al que se dirige la correspondencia:
Tel: (+574) 448 83 88 ext 14130
E-mail: santiago.ardila@upb.edu.co (Santiago Ardila)

apropiada para el buen funcionamiento del sistema eléctrico de la ciudad por eso éstas no pueden ser desmanteladas ni trasladadas a otras zonas.

En varias ciudades Europeas, especialmente en España, se ha demostrado que la mejor solución para la situación actual de estas instalaciones está en la Compactación de la subestación, es decir, construir una subestación nueva tipo GIS que emplea la moderna tecnología de aislamiento en gas SF₆ e implantarla en el interior de un edificio, mejorando así las prestaciones técnicas actuales y consiguiendo una importante reducción del espacio a utilizar. Una de las ventajas de realizar este tipo de proyectos es que el terreno libre que tiene un alto valor comercial, puede ser utilizado para continuar con la urbanización del sector.

Al construir una subestación tipo GIS se logran importantes mejoras en el sistema eléctrico que van desde el incremento del número de circuitos, la conexión de nuevos equipos, la reducción del mantenimiento hasta lograr una mayor confiabilidad y seguridad. Con este artículo se espera entonces mostrar una alternativa para que las empresas de energía y las instituciones gubernamentales tengan en cuenta para mejorar el crecimiento urbanístico de la ciudad.

2. METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Se definió la subestación existente objeto de la compactación y se determinó su ubicación, se hizo un listado con la cantidad de equipos y materiales más relevantes de acuerdo con ([Norma Iberdrola, 2002](#); [Norma Iberdrola, 2003](#); [Norma Iberdrola, 2004](#); [Norma Iberdrola, 2008](#); [Norma Iberdrola, 2010](#)) y el costo de cada uno para establecer el valor estimado actual de la subestación existente ([CREG, 2009](#); [CREG, 2008](#)). Luego de llevar a cabo dichos procedimientos, se diseñó una subestación GIS tipo interior en un edificio prefabricado con las características empleadas en países de mayor experiencia como España y que cumple exactamente con las mismas prestaciones técnicas que la existente, con equipos de última tecnología. Finalmente se hizo un listado de los nuevos equipos con su valor comercial para establecer el costo de la compactación, además se avaluó el costo del terreno. Una vez definida técnicamente la nueva subestación, se realizaron

diferentes comparaciones de índole técnica, económica y de beneficio social con el fin de satisfacer los objetivos propuestos.

3. ILUSTRACION DE LA SUBESTACIÓN TIPO INTEMPERIE

La mayoría de las subestaciones actuales fueron construidas en décadas pasadas, normalmente en la periferia de la ciudad para suplir las necesidades de energía al interior de ella. En las [Fig. 1](#), [Fig. 2](#) y [Fig. 3](#) se presentan las ilustraciones de la subestación tipo intemperie.



Fig. 1. Panorámica de la zona de la subestación intemperie.



Fig. 2. Panorámica2 de la subestación intemperie.

Debido a la continua expansión de las ciudades, las subestaciones han sido absorbidas por el desarrollo urbanístico, obstaculizando en la mayoría de las veces el crecimiento ordenado de la zona de influencia y ocupando terrenos que pueden ser mejor utilizados para el bienestar de la comunidad.



Fig. 3. Vista superior de la subestación intemperie

Es por esto que se debe encontrar una alternativa que resuelva los inconvenientes que presentan las actuales subestaciones convencionales de energía que tenemos en nuestras ciudades y que según lo antes expuesto son principalmente:

- Su ubicación en un entorno actual no apto para infraestructuras eléctricas.
- Imposibilidad de traslado a otras zonas de la ciudad.
- Necesidad de renovación de equipos y aparatos eléctricos.
- Necesidad de aumento de potencia y más circuitos de distribución.
- Imposibilidad de crecimiento anexando más terreno.
- Oposición de la población a convivir con estas instalaciones.
- Alta contaminación visual.
- Ocupación de terrenos con alto valor comercial que podrían utilizarse para otros fines en beneficio de la comunidad.

4. SUBESTACIONES GIS TIPO INTERIOR

Las Subestaciones GIS, usan el gas SF₆ para el aislamiento eléctrico de los diferentes componentes de alta tensión, en lugar de aislamiento en aire como en las Subestaciones clásicas (*Air Insulated Substations*, AIS).

Cada equipo de alta tensión, incluyendo las barras principales, está encapsulado independientemente en un compartimiento metálico provisto de un ambiente de gas SF₆ a presión mayor que la atmosférica.

Los principales compartimientos individuales son:

- Compartimiento de juego de barras.
- Compartimiento de interruptor de potencia (ABB, 2010).
- Compartimiento de seccionador de barras (ABB, 2010).
- Compartimiento de seccionador de línea.
- Compartimiento de seccionador de puesta a tierra.
- Compartimiento de transformador de corriente (ABB, 2010).
- Compartimiento de transformador de tensión (ABB, 2010).
- Compartimiento de prolongación (recto, ángulo)
- Compartimiento de empalme con cable subterráneo.
- Compartimiento de empalme con máquinas (transformador/autotransformador de potencia, reactor, etc.).

Estos compartimientos son sellados de manera hermética al gas por medio de tapas impidiendo que éste se propague hacia otros compartimientos ó se mezcle con el gas de compartimientos contiguos, solo los conductores atraviesan este sellado para poder dar continuidad al camino de energía, de manera que al momento de hacer el llenado del gas SF₆, cada compartimiento se llenaría por separado, teniendo en cuenta las presiones de servicio y de llenado de cada equipo de la subestación.

Luego éstos se interconectan mecánica y eléctricamente entre sí, formando módulos, tal como se aprecia en la Fig. 4, los cuales tendrán diferentes funciones. Cada módulo es una bahía de la subestación.

Los módulos de las subestaciones GIS más sobresalientes son:

- Módulo de transformador de potencia.
- Módulo de línea de alimentación.
- Módulo de enlace o acople de barras.
- Módulo de medida y puesta a tierra.



Fig. 4. Sistema modular integrado.

Las características principales de la subestación GIS interior son:

- Tamaño reducido. La superficie necesaria para una subestación GIS es del 10% al 15% de la superficie requerida para una subestación convencional.
- Resistente a influencias medio ambientales y a prueba de contaminación.
- Alto nivel de seguridad para el personal de operación.
- No producen radiointerferencia.
- Alta confiabilidad en servicio.
- Integra varias funciones en una envolvente.
- Construcción modular.
- Larga vida útil.
- Compatible con el medioambiente por tener menores pérdidas eléctricas.
- Reducen el campo magnético en forma considerable y eliminan por completo el campo eléctrico.
- Requieren un mínimo mantenimiento. ([Mejía Villegas, 2003](#))

La configuración de la subestación GIS que se estableció es doble barra, al igual que la subestación intemperie, además tiene el mismo nivel de tensión 220/13.2 kV, esta subestación está instalada en un edificio. El sistema de 220 kV está compuesto por las siguientes posiciones:

- Dos (2) posiciones de línea.
- Dos (2) posiciones de transformador.
- Una (1) posición de enlace de barras.
- Una (1) posición de medida.
- Espacio para dos (2) posiciones de reserva.

El sistema de 13.2 kV está compuesto por dos grupos de celdas, con un total de 34 posiciones que son las siguientes:

- Veinte (20) posiciones de línea.
- Dos (2) posiciones de transformador.
- Dos (2) posiciones de servicios auxiliares.
- Dos (2) posiciones de batería de condensadores.
- Dos (2) posiciones de partición.
- Dos (2) posiciones de unión.
- Dos (2) posiciones de medida y puesta a tierra.
- Dos (2) posiciones de enlace de barras.

5. POSIBILIDADES PARA LLEVAR ACABO LA COMPACTACIÓN

La primera opción y la que más facilitaría la construcción de la nueva subestación y la ejecución de los trabajos necesarios es el suministro total de todos los equipos, elementos y materiales que la conforman, como si se tratara de una nueva instalación en un terreno independiente.

En este caso, que es el supuesto en este estudio por ser más didáctico, se minimizaría la interferencia con la subestación existente, se construye el edificio en la zona no ocupada y se montan todos los equipos nuevos; incluso se podría hacer toda la canalización y tendido del cable de potencia subterráneo quedando solo la conexión en la última torre de transmisión, donde se realiza el cambio de aéreo a subterráneo, y las pruebas y puesta en servicio general de la subestación.

La segunda opción es utilizar la casi totalidad de los equipos, elementos y materiales necesarios para la nueva instalación, suponiendo que se encuentran en buenas condiciones de funcionamiento y cuya vida útil esté lejos de su fin. Esto implica realizar una parada casi total de la subestación existente y desviar el flujo de energía hacia otras instalaciones para poder cumplir con la calidad del servicio exigido por la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas de Colombia). En este caso se deben planificar conjuntamente las labores de desmontaje, traslado a su nueva implantación y montaje en ella; en caso hipotético de que se tome esta opción, se tendrían todas las facilidades para acometer los trabajos necesarios.

La tercera opción sería una combinación de las dos anteriores, nuevo suministro de equipos esenciales y reutilización de algunos equipos y materiales existentes, ejecutando los trabajos en varias etapas para minimizar los períodos de cortes y descargos, por ejemplo se podría pensar en transferir parcialmente las cargas a otras instalaciones o a uno de los transformadores mientras se traslada el otro. Al final se pone la nueva subestación en servicio con un solo transformador en la primera etapa para asegurar el servicio aunque sea de forma parcial y luego en la segunda etapa se desmantela totalmente la subestación intemperie y se traslada el segundo transformador completando la instalación.

6. ILUSTRACIONES DE LA SUBESTACIÓN COMPACTADA

Con la compactación de la subestación tipo intemperie se obtiene una mejora del desarrollo urbanístico de la ciudad y una valorización de la zona, utilizando el terreno libre para la realización de algún proyecto que conlleve bienestar a la comunidad.

En las [Fig. 5](#) y [Fig. 6](#) que se muestran a continuación, se muestra el edificio que contiene la nueva subestación, además se pueden observar las dos alternativas que se hicieron para el aprovechamiento del terreno que queda libre, empleándolo para la creación de un parque temático y una unidad residencial.



Fig. 5. Vista superior del terreno de la subestación GIS tipo interior (unidad residencial).



Fig. 6. Vista superior del terreno de la subestación GIS tipo interior (parque temático).

7. VALOR COMERCIAL DEL TERRENO

Con el fin de realizar un ejercicio didáctico se situó la subestación existente que se quiere compactar en 3 sitios diferentes del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, donde actualmente existen subestaciones del Operador de Red Empresas Públicas de Medellín, aunque no necesariamente estas subestaciones tienen la configuración y nivel de tensión que la tratada en esta investigación.

El valor promedio de estos predios son datos facilitados por la Lonja de Propiedad Raíz, y su ubicación es la siguiente:

- Predio 1 Bello:

Autopista norte entre las estaciones del Metro Madera y Bello.

Valor promedio de zona: 300.000 \$/m².

- Predio 2 Suramericana:

Autopista norte entre la carrera 64 A con calle 48.

Valor promedio de zona: 800.000 \$/m².

- Predio 3 Envigado:

Entre la vía Regional y la calle 36 sur.

Valor promedio de zona: 1.500.000 \$/m².

Estos valores no son fruto del análisis individual de los inmuebles, puesto que se desconoce el frente, fondo y área del terreno. Son solo valores promedio.

Ahora, se realizará la compactación de la subestación, dejando libre una parte importante del terreno (cerca del 85%), para que sea utilizada con otros fines por el propio operador de red o por las autoridades gubernamentales para el

beneficio de la comunidad. En estos casos supuestos, el coste del terreno sería el que se muestra en la [Tabla 1](#) y [Tabla 2](#):

Tabla 1. Coste del terreno total

Predio	Sub/n	Terreno m ²	V/r miles \$/m ²	V/r total miles \$
1	Bello	10.916	300	3.274.800
2	Sura	10.916	800	8.732.800
3	Envi	10.916	1.500	16.374.000

Tabla 2. Costo del terreno si se compacta la subestación

Predio	Sub/n	78% Terreno m ²	V/r miles \$/m ²	V/r total miles \$
1	Bello	8.514	300	2.554.200
2	Sura	8.514	800	6.811.200
3	Envi	8.514	1.500	12.771.000

Como se desprende del ejercicio anterior, es apreciable el valor del terreno donde se ubican determinadas subestaciones eléctricas y esto hace posible que se piense en la compactación de éstas y la utilización o venta del terreno disponible como parte de financiación del proyecto.

8. CONCLUSIONES

La nueva subestación GIS tipo interior, aunque se encuentra rodeada por edificaciones habitacionales, comerciales o industriales, no causará rechazo de la comunidad porque la instalación ya no tendrá un fuerte impacto por contaminación visual o ruido, además como ya no es visible por encontrarse en el interior de un edificio y no a la intemperie, las personas no sentirán el miedo habitual que despiertan las instalaciones de alta tensión por los campos electromagnéticos, solo será un edificio más de la zona y por tanto esto es aceptado.

Al hacer la compactación de la subestación tipo intemperie existente, el terreno liberado es de alrededor del 78% del terreno total, o sea, el espacio utilizado para la nueva subestación GIS tipo interior es el 22% del terreno actual, esto representa un ahorro de espacio de alrededor de 8.514 metros cuadrados. Las opciones de utilización de este espacio libre son un parque temático abierto a toda la comunidad ó una

unidad residencial que contiene varios bloques habitacionales.

Al decir que la subestación se reduce notablemente se hace referencia a que la sala donde se encuentra el sistema modular integrado tiene un área de aproximadamente 10% al 15% del área utilizada por las bahías de la subestación tipo intemperie, al realizar el cálculo de áreas ocupada por las bahías de la subestación intemperie se obtiene un valor de 2414 m² y el área de la sala donde se encuentra el sistema modular integrado es de 244 m², al hacer una relación entre estas áreas se concluye que el área del sistema modular integrado es aproximadamente un 10% del área ocupada por las bahías.

Al realizar el ejercicio didáctico de situar la subestación que se quiere compactar en tres sitios diferentes del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Bello, Suramericana y Envigado), se concluye que un proyecto de este tipo es viable económicamente si se elige una subestación que esté situada en una zona de la ciudad donde el costo del m² sea relativamente elevado, debido a que no sería rentable compactar una subestación en una zona donde el costo del m² sea muy bajo. Por ejemplo, en Bello el costo estimado del terreno sería de \$2.550.000.000 de pesos mientras que en Envigado éste sería de \$12.770.000.000 de pesos.

Para este tipo de proyectos es importante que se tenga en cuenta el modelo de responsabilidad social empresarial, que se basa en tres aspectos relevantes: ambiental, social y económico. La aplicación de este modelo permitirá valorar los aspectos intangibles como el beneficio social y ambiental, aportando al coste estimado del proyecto, dando como resultado la sostenibilidad tanto de los grupos de interés entre los que se encuentra la comunidad, el medio ambiente y los clientes, como para el operador de red.

REFERENCIAS

- Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG (Febrero 11 de 2009). Metodología para la remuneración de la actividad de transmisión de energía eléctrica, consultado en 2010-03-05.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG (Septiembre 26 de 2008). Resolución 097, consultado en 2010-03-05.

- Mejía Villegas. Ingenieros Consultores. Subestaciones de Alta y Extra Alta tensión. 2ª Edic. Medellín: Impresiones Gráficas Ltda. 2003. p. 189
- Norma Iberdrola (Septiembre de 2003). NI 50.43.20. Edición 2ª, pp. 3-14.
- Norma Iberdrola (Marzo de 2003). NI 72.54.02. Edición 3ª, pp. 3-8.
- Norma Iberdrola (Marzo de 2003). NI 72.50.02. Edición 3ª, pp. 3-8.
- Norma Iberdrola (Enero de 2008). NI 74.00.01. Edición 6ª, pp. 4-8.
- Norma Iberdrola (Marzo de 2004). NI 75.30.02. Edición 2ª, pp. 2-5.
- Norma Iberdrola (Marzo de 2010). PNI 75.30.03. Edición 4ª, pp. 5-6.
- Norma Iberdrola (Marzo de 2002). PNI 75.40.02. Edición 3ª, pp. 5-6.
- ABB Switzerland Ltd. (2010). SF₆ Gas-insulated Switchgear ELK-14. Circuit Breaker with Operating Mechanism, 300 kV.
- ABB Switzerland Ltd. (2010). SF₆ Gas-insulated Switchgear ELK-14. Disconnecter/Earthing Switch, 300 kV.
- ABB Switzerland Ltd. (2010). SF₆ Gas-insulated Switchgear ELK-14. Voltage Transformer, 300 kV.
- ABB Switzerland Ltd. (2010). SF₆ Gas-insulated Switchgear ELK-14. Current Transformer, 300 kV.
- transformadores de potencia en la multinacional Española Iberdrola en Madrid, en el área de subestaciones de alta tensión.

SOBRE LOS AUTORES

Santiago Ardila Pino.

Ingeniero Electricista en 2010 de la Universidad Pontificia Bolivariana, donde se desempeña como investigador en el grupo de investigación en transmisión y distribución de energía eléctrica de la Facultad de IEE desde 2010.

Jorge Ardila Quiroz.

Ingeniero Electricista en 1988 de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Trabajó desde 1988 con la Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá durante la construcción del Tren Metropolitano y luego desde 1992 como autónomo en su firma “Servicios de Ingeniería Eléctrica” al mismo tiempo que era profesor de cátedra en la Universidad Cooperativa de Colombia, el I. T. Pascual Bravo y el Politécnico Colombiano, desde 2004 hasta la actualidad se ha desempeñado como Ingeniero especialista en