

5. REHABILITACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

5.1. GENERALIDADES

El fenómeno de la corrosión que se presenta en todas las tuberías de manera inevitable, demanda anualmente importantes sumas de dinero para su control y por consiguiente afectando la economía de cualquier empresa. De todos los sistemas de protección contra la corrosión quizá el de la protección catódica ha demostrado ser el más económico y el que mayores ventajas ofrece.

Aunque, aparentemente las inversiones iniciales para la instalación de un sistema de protección catódica en una tubería pueden parecer altas, está comprobado que los beneficios resultantes a largo plazo son mayores, por lo que estos son ampliamente usados en todo el mundo y distintos tipos de tuberías.

Dentro de las investigaciones adelantadas en el presente estudio, se encontró que las tuberías de la red matriz de Bogotá D.C., poseen distintos tipos de protección contra la corrosión entre los más representativos están:

1. Revestimiento exterior con esmalte bituminoso reforzado con telas de fibra de vidrio y envuelto con papel Craft. Aplicado en tuberías de acero. Actúa como una barrera entre el tubo y el suelo exterior. Requiere de ayuda con sistemas de protección catódica, por no presentar cubrimientos garantizados del 100% de la superficie del tubo. Algunas líneas con este tipo de revestimiento son Silencio -Casablanca y la conducción Funza-Madrid- Mosquera.

2. Revestimiento exterior con pinturas epóxicas de alto polímero. Aplicado en tuberías de acero para viaductos o en tuberías y accesorios de estructuras de control, bombeo y otras. Actúa como barrera entre el tubo y el suelo exterior. Entre los viaductos con este tipo de revestimiento están el del río Teusacá de 60 pulgadas, río Juan Amarillo de 60 pulgadas y río Tunjuelito.
3. Revestimiento exterior con pinturas enriquecidas con zinc metálico. Aplicado en tuberías de hierro dúctil. Actúa como barrera entre el tubo y el suelo exterior y como protección catódica con ánodos de sacrificio por el zinc incorporado. Requiere monitoreo después de la instalación y requiere de conexiones para conductividad eléctrica, en caso de presentar problemas de corrosión se puede implementar un sistema de protección catódica. La línea Nororientales que se está instando posee este tipo de revestimiento.
4. Revestimiento exterior con mortero de cemento. Aplicado en tuberías de acero, tuberías del tipo CCP y tuberías del tipo PCCP. Actúa como pasivador alcalino y como protector químico. Es recomendable dejar entre los tubos, conexiones para continuidad eléctrica, requiere de monitoreo después de instalada la tubería y si presenta problemas se debe instalar un sistema de protección catódica.
5. Protección catódica. Es quizá el método más importante de todos los intentados para conseguir el control de la corrosión. Por medio de una corriente eléctrica aplicada exteriormente la corrosión se reduce virtualmente a cero y se puede mantener una superficie metálica en un medio corrosivo sin sufrir deterioro durante un tiempo indefinido. La protección catódica no actúa sobre zonas fuera del electrolito de aplicación.

Normalmente los sistemas de protección catódica trabajan como una protección complementaria a la dada por los recubrimientos colocados directamente sobre la tubería, lo anterior se debe a que los recubrimientos no garantizan una protección sobre el área total de la superficie metálica debido a que la tubería esta expuesta a golpes durante la instalación que deterioran el revestimiento, lo cual también se puede presentar, como

resultado de la fricción entre la pared de la tubería y algún material pétreo que contenga sobre tamaños y que eventualmente haga parte del material utilizado como relleno.

En el caso de las conducciones enterradas, el costo de la protección catódica es menor que el de cualquier otro sistema que ofrezca la misma seguridad de protección. Adicionalmente, la garantía de que en una conducción enterrada protegida catódicamente no se produzcan fugas por deterioro de la pared exterior o cara en contacto con el suelo, ha permitido el transporte de fluidos a presión en suelos con condiciones altamente agresivas.

La Empresa tiene instalados sistemas de protección catódica en algunas de las líneas de sus redes matrices. En la Tabla 5.1.1. se relacionan las características básicas de las líneas que tienen instalada la protección por corriente impresa.

Tabla No. 5.1.1. Características de las líneas con Protección Catódica

CÓDIGO E.A.A.B.	DESCRIPCIÓN	ZONA DE SERVICIO	MATERIAL	CLASE p.s.i.	AÑO Inst.	DIÁM. Pulg.	LONGITUD (mts)
BIV60092	Línea a Suba	Z .B .N.	AWWA C200 C203	150	1986	60	5750.68
BIV42074	Silencio – Cazucá	SOACHA	AWWA C200 C203		1987	42	2887.60
BIV4842099	Silencio – Casablanca	Z .B .N.	AWWA C200 C203	350	1987	48	7620.00
BIV4842099			AWWA C200 C203	350	1987	42	7030.00
BIV60086	Silencio – Vitelma	VIT. GRAV y CDAD. BOLIVAR	AWWA C200 C205	250	1986	60	6787.06
BIV48100	San Diego Zona Intermedia I	Z .I.	AWWA C200 C205	150	1987	48	2188.55
RM3015	Conducción Funza – Mosquera – Madrid	Z.B.N.	AWWA C200 C205	150	1994	36	8408.54

El sistema de protección catódica por corriente impresa, esta compuesto de los siguientes elementos básicos:

- ♣ Rectificador de corriente, conectado metálicamente a la red y a la cama anódica.

- ♣ Cama anódica, formada por ánodos de grafito interconectados entre si, que recibe corriente del rectificador y la manda por la tierra al tubo que se va a proteger.
- ♣ Tubo a proteger, enterrado, recibe corriente directa de la cama anódica que está conectada metálicamente al rectificador, cerrando el circuito.

5.2. SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA DE LA LÍNEA BIV48100

En el Anexo 6 correspondiente al producto de la Actividad No. 4 del presente estudio se presentaron con detalle los resultados de las investigaciones y mediciones de campo realizadas, así como las conclusiones y recomendaciones sobre el estado de operación del sistema de protección catódica instalado en la línea BIV48100, San Diego- Zona Intermedia I, de 48 pulgadas. En el mismo informe, se describieron las actividades a desarrollar y se incluyeron las cantidades de obra y presupuesto necesario para la rehabilitación de este sistema de protección.

A continuación se resumen las recomendaciones y actividades a ejecutar para la rehabilitación del sistema de protección catódica de la línea indicada.

5.2.1 RECOMENDACIONES PARA LA REHABILITACIÓN.

Según los resultados de las mediciones e investigación adelantada, en la Tabla 5.2.1 se indican para cada uno de los componentes del sistema de protección catódica, las respectivas recomendaciones para su rehabilitación.

Tabla No. 5.2.1. Resumen de recomendaciones para la rehabilitación del sistema de protección catódica de la línea BIV48100

COMPONENTE	RECOMENDACIÓN
1. Rectificador de corriente	Mejorar las condiciones de limpieza del área y retiro de elementos ajenos a su funcionamiento.
2. Caseta Rectificador	Retiro de todos los elementos extraños y ajenos al sistema de protección catódica.
3. Puesta a tierra del rectificador	Destapar la puesta a tierra para verificar las conexiones de las varillas Copperweld con el alambre de cobre. Bajar la resistividad con aplicaciones de una o dos dosis de Sanik Gel.
4. Camas Anódicas	Poda del prado en la superficie.
5. Estaciones de Potencial	Caja No. 1: Poste No. 1, Tramo K0+00 a K0+121.33: Instalación de la protección catódica dejando la junta aislante como se encuentra.
	Caja No. 1: Poste No. 2. Revisión de la unión Tipo Dresser y su aislamiento a fin de verificar fugas de corriente en el cable No. 4
	Caja No. 1: Poste No. 3. Revisión de la unión Tipo Dresser y su aislamiento. Verificar conexión del cable No. 4.
	Caja No. 1: Retirar soldaduras Cadweld en todos los puntos, verificar la continuidad de los cables, identificarlos y volver a soldar
	Caja No. 2: Instalar cableado y conexiones necesarias con soldadura Cadweld para los cuatro postes de potencial existentes.
	Caja No. 3: Realizar zanjado para verificar las conexiones y cableado.
	Caja No. 6: Destapar acometida del cable No. 4 y verificar su conexión.
	Caja No. 7: Se encuentra perdida.
	Caja No. 8: La tapa se encuentra soldada. Requiere adelantar mediciones.
	Caja No. 9: Poste No. 1. Destapar la acometida de los cables 4 y 5 para verificar su conexión u otra interferencia.
Caja No. 9: Poste No. 2. Verificar conexiones de los cables 5 y 6 y fugas de corriente.	
Caja No. 10: Verificar acometidas del cable 1 y 2 y reparar conexiones Cadweld desoldadas. Verificar aislamiento de la unión Tipo Dresser para corregir fugas de corriente.	
6. Aspectos Generales	Pintura de los postes de potencial.
	Limpieza de conexiones de los postes de potencial.
	Pintura de las puertas de las cajas y cambio de candados.

5.2.2 TRABAJOS A REALIZAR PARA LA REHABILITACIÓN.

Las actividades necesarias para la rehabilitación y puesta a punto del sistema de protección catódica de la línea BIV48100 son:

1. Instalación del sistema de protección catódica mediante ánodos de sacrificio en el tramo comprendido entre el Tanque y la caseta del rectificador, K0+00 a K0+121.33.
2. Destapada y mantenimiento del sistema de puesta a tierra del rectificador de corriente existente.
3. Reconexiones de los postes de potencial existentes, según recomendaciones indicadas.
4. Aislamiento de las uniones Tipo Dresser instaladas.

5.2.3 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

En la Tabla 5.2.2. se relacionan las cantidades de obra estimadas para la rehabilitación y puesta a punto del sistema de protección catódica de la línea San Diego - Zona Intermedia I.

Tabla No. 5.2.2. Cantidades de obra estimadas para la rehabilitación del sistema de protección catódica de la línea BIV48100.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Excavación Manual en material común	m3.	300
Relleno con material común	m3.	300
Relleno con material de préstamo	m3.	150
Rotura de concretos e=20 cm.	m2.	20
Concreto para andenes y pisos e=20 cm.	m2.	20
Rotura de pavimentos asfálticos e=15 cm.	m2.	40
Pavimento Asfáltico e=15 cm.	m2.	40
Suministro e Instalación de: Varillas Copperweld	Un.	3
Sanick Gel	Dosis	2
Ánodos de Magnesio de 9 lbs.	Un.	4
Tornillo Bundy	Un.	3
Splice Kit 3M	Un.	2
Postes de Prueba	Un.	1
Cable AWG No. 10 o 12	ml.	560
Soldadura Cadweld	Un.	40
Láminas de Baquelita	M2.	0.5
Terminales de Conexión	Un.	54
Electrodos de referencia Cu CuSO4	Un.	3
Electrodo de Referencia de Zinc	Un.	3
Pintura Epóxica para Interperie	Gl.	2
Unión de Aislamiento para Dresser	Un.	2

El costo aproximado para la rehabilitación y puesta a punto del sistema de protección catódica de esta línea se estimó, según las actividades descritas, en la suma de \$51'000.000,00

5.3. SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA LÍNEA SILENCIO-CASABLANCA

Dentro de la investigación adelantada en el presente estudio se encontró que el proyecto definitivo para el diseño del sistema de protección catódica de la línea Silencio - Casablanca contenía los siguientes parámetros generales.

1. Para el tramo comprendido entre el sector del tanque El Silencio y la Avenida Boyacá se contempló el sistema de protección catódica por corriente impresa. Con las siguientes características generales:

- ♣ Diámetro de la tubería: 48 y 42 pulgadas.
- ♣ Longitud a proteger: 9900 metro
- ♣ Vida útil del sistema: 20 años.
- ♣ Densidad de corriente: 3 y 2,2 mA. / pie².
- ♣ Resistividad del electrolito en las camas anódicas: 5400, 9000, 16900, 14700 y 17300 ohm-cm.
- ♣ Potencial de protección: mínimo 850 mV, referido a electrodos Cu/CuSO₄.
- ♣ Efectividad del revestimiento: 90%.
- ♣ Factor de Seguridad: 1.3
- ♣ Aislamiento de la conducción: Flanches aislantes.

2. Para el tramo comprendido entre la Avenida Boyacá y el tanque de Casablanca se contempló el sistema de protección catódica por medio de ánodos de sacrificio y con las siguientes características:

- ♣ Diámetro de la tubería: 42 pulgadas.
- ♣ Longitud a proteger: 4585 metros.
- ♣ Vida útil: 20 años.
- ♣ Densidad de corriente: 0.5 mA. / pie².
- ♣ Resistividad del electrolito: 3500,5300,6800 ohm-cm.
- ♣ Potencial de protección: mínimo 850 mV.
- ♣ Efectividad del revestimiento: 95 %.
- ♣ Factor de seguridad: 1
- ♣ Aislamiento de la conducción: Flanche aislante

La razón fundamental para considerar los dos (2) tramos se debió a las interferencias que se presentaban, en el segundo tramo, con la línea Tibitoc - Casablanca de 78 pulgadas.

En el diseño se tuvieron en cuenta dos alternativas para el control de las interferencias con la línea Tibitoc- Casablanca, las cuales consistían en la colocación de flanches aislantes sobre la tubería de 78 pulgadas, 30 metros a lado y lado de cada cruce o instalar en el interior de la tubería de 78 pulgadas una tubería de acero revestida en una longitud entre 60 y 100 metros en los sitios de cruce.

También se involucraron en el diseño, para cada uno de los dos tramos mencionados, las interferencias existentes y futuras con otras tuberías metálicas y líneas eléctricas que se pudieran presentar a lo largo de toda la conducción.

La investigación adelantada durante el presente estudio permitió concluir que el sistema de protección catódica de la línea Silencio- Casablanca, según los diseños anteriormente mencionados no se instaló en su totalidad. De igual manera la parte instalada se encuentra abandonada y sin ningún tipo de mantenimiento como se pudo observar en algunas de las estaciones de prueba que se pudieron encontrar y las cuales tienen presencia de humedad en el interior y sulfatamiento de los bornes.

Con base en lo anterior, se recomienda la rehabilitación y puesta a punto del sistema de protección catódica de la línea Silencio -Casablanca según los diseños mencionados, los cuales fueron realizados por la firma Delta Ingeniería Ltda para la Empresa en el año de 1990.

5.4. SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA OTRAS LÍNEAS.

Para las otras líneas del sistema red matriz que cuentan con protección contra la corrosión por medio de sistemas de protección catódica (PC) por corriente impresa y para las cuales no fue posible adelantar, dentro del presente estudio, mediciones de campo por las restricciones del presupuesto asignado para tal fin, se determinó que en el mes de octubre de 1998 se llevó a cabo por parte de la EAAB el monitoreo más reciente del que

se conozcan resultados, los cuales se resumen en la tabla No. 5.4.1 de la siguiente manera:

Tabla No. 5.4.1. Resumen monitoreo protección catódica - Octubre de 1998

LÍNEA	DIAM. (pulg.)	ESTACIÓN DE PRUEBA	LOCALIZACIÓN	ESTADO
USAQUEN – SUBA	60	1	Av. 116 con Cra. 11	ACTIVO
		2	Av. 116 No. 21-30	ACTIVO
		3	Av. 116 No. 21-30	DESTRUIDO
		4	Autonorte. 30m. antes del puente	ACTIVO
		5	Cll. 125ª Tran. 33ª	ACTIVO
		6	Cra. 48 - Cll 125ª	PERDIDO
		7	Cll 125 No. 57-55	DESTRUIDO
SILENCIO – VITELMA	60	1	En Cámara al lado de Control Silencio	ACTIVO
	60	2	Portal Túnel los Rosales	PERDIDA
	60	3	Nueva Entrada al Silencio	DESTRUIDA
	60	4	Av. Circunvalar- Norte del Teleférico	DESTRUIDA
	60	5	Av. Circunvalar- Frente a Estación 4	TAPA TRABADA
	60	6	Sin Localizar	PERDIDO
	60	7	Calle 17 - Cra 3 (Av. Jiménez)	ACTIVA
	60	8	Sin Localizar	PERDIDO
	60	9	Av. Circunvalar- 20 m. al norte del CAI Egipto	ACTIVO
	60	10	Av. Circunvalar No. 10-27	PERDIDO
	60	11	Av. Circunvalar No. 9-96	TAPA TRABADA
	60	12	Calle 5 Cra. 3 No. 2-64	PRDIDO
	60	13	Clle 5 No. 1-36	DESTRUIDO
	60	14	Cra. 1 No. 1-05	TAPA TRABADA
	60	15	Vía Vitelma No. 2-78	PERDIDO
	60	16	Av. 1 Transversal 5 E	PERDIDA
	60	17	50 metros delante de la estación No. 16	PERDIDO
	60	18	Llegada al Tanque Vitelma	NO INSTALADO
LÍNEA A CAZUCÁ	42	1	Av. Villavicencio entrada al Perdomo	PERDIDO
	42	2	Cra. 63 No 76-03 sur	ACTIVO
	42	3	Frente a fábrica Filtex	PERDIDO
	42	4	Cra. 82 No. 62D-03 sur	PERDIDO
	42	5	Esquina CAFAM Galicia	PERDIDO
	42	6	Daig. 62 G No. 75 A 22 sur	ACTIVO
	42	7	Cr.10 E No. 12-04 sur	PERDICO
	42	8	Tanque Cazucá	ACTIVO

No se encontró registro de los resultados del monitoreo al sistema de protección catódica realizado para la Línea a municipios.

5.4.1 REHABILITACIÓN SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA OTRAS LÍNEAS

Con base en los resultados obtenidos en el más reciente monitoreo realizado en 1998 y teniendo en cuenta que muchas de las estaciones de prueba se encuentran perdidas o destruidas, se recomienda adelantar las actividades que se relacionan a continuación, para la rehabilitación de los sistemas de protección catódica para las líneas mencionadas anteriormente.

1. Levantamiento topográfico de los sistemas de protección catódica instalados o su verificación para la correspondencia entre lo instalado y lo indicado en los planos de construcción existentes (si se encuentran).
2. Identificación precisa de las especificaciones técnicas de cada uno de los componentes que integran el sistema, por medio de verificaciones en campo.
3. Inspección del corredor de la línea, haciendo mediciones en campo de la resistividad eléctrica de los suelos, pH, contenido de cloruros y sulfatos a una profundidad equivalente a la profundidad de eje de tubería.
4. Levantamiento del perfil de resistividades en el corredor de la tubería.
5. Levantamiento de los potenciales de protección catódica, empleando la técnica de tubo/suelo.
6. Evaluación de la eficiencia del revestimiento, calculando conductancia y atenuación de voltaje.
7. Calculo de eficiencia de revestimiento mediante pruebas de corriente evaluando, demanda.
8. Evaluación del avance de corrosión en la tubería.

9. Localización en campo de interferencias nuevas y viejas con otras líneas, en cada uno de los sistemas de protección catódica.
10. Reparación de todos y cada uno de los puntos de monitoreo en los sistemas instalados.
11. Inspección técnica y toma de medidas eléctricas en DC y AC, verificación de la puesta a tierra del rectificador de corriente.
12. Adecuación y calibración del rectificador de acuerdo a los parámetros actuales de estado de línea.
13. Inspección y adecuación de las camas anódicas, verificando su resistencia y adecuándolas a las condiciones actuales de la tubería.
14. Medición de potencial, graduación y calibración del rectificador y las estaciones de prueba a condiciones actuales.
15. Elaboración de los planos finales de construcción que contengan todas las modificaciones y ajustes realizados. Se debe incluir todas las justificaciones técnicas y puesta a punto. Estas justificaciones deben estar acordes con las normas vigentes en materia de corrosión en tuberías enterradas.
16. Elaboración de un manual de procedimiento y mantenimiento en particular para cada sistema instalado.

5.4.1.1 NORMAS Y ESTÁNDARES PARA LA REHABILITACIÓN

Para la ejecución de todos los trabajos de rehabilitación y puesta a punto de los sistemas de protección catódica, se deben cumplir las recomendaciones y parámetros establecidos en los siguientes documentos:

- ♣ AWWA M27. Introducción, química y control de la corrosión externa en tuberías enterradas.
- ♣ NACE RP-01. Recomendaciones para el control de la corrosión externa en tuberías metálicas enterradas y sumergidas.
- ♣ A. W. Peabody. Control de corrosión en tuberías enterradas. NACE.
- ♣ API Recommended Practice 1632, December 1987. Cathodic Protection of Underground Petroleum Storage Tanks and Piping Systems.

5.5. INTERFERENCIAS DE LAS REDES MATRICES DE ACUEDUCTO CON LÍNEAS FORÁNEAS CON PROTECCIÓN CATÓDICA.

La presencia de un sistema de protección catódica cercano a una tubería sin protección, puede generar un voltaje inducido en la tubería sin protección, con la consecuente afectación por corrosión en los puntos donde esta corriente inducida salga de la tubería sin proteger.

Las principales interferencias entre las líneas "foráneas" con protección catódica y las líneas de las redes matrices de acueducto se dan con las tuberías de acero para la conducción de gas natural. En el plano No. JR-052-ELM-002E, incluido al final del presente numeral, se indican los sitios donde se localizaron los cruces y tramos en paralelo que pueden presentar interferencias entre las líneas de gas con protección catódica y las líneas de acueducto, estas se identificaron por diámetros de las tuberías.

En la tabla 5.5.1 se relacionan dichas interferencias, las cuales como se indicó corresponden a cruces o paralelismos entre las redes mencionadas.

Tabla No. 5.5.1 Relación de sitios con interferencias entre líneas de Acueducto y Gas

No.	CODIGO EAAB	NOMBRE DE LA LINEA	Ø LINEA (Pulg.)	LOCALIZACION INTERFERENCIA	Ø GAS (Pulg)
1	RM60002	Interconexión Calle92 –Calle 129	60	Calle 122 X Autonorte	4
2	RM16067	Línea Calle 100 - Av. Suba	16	Calle 100 X Cra 36	14
3	CC9003	Tibitóc - Usaquén.	60	Av. Quito X Trans. 24	14
4	CC9008	Zona Baja Sur - Brazo Oriental (cra. 20 - Cll 37 a 75)	24	Cra 20 X Calle 71	4
5	BIV4842099	Silencio – Casablanca	42	Cra 21 X Calle 36	14
6	Sin Código	Universidad Nacional Parque Nacional	42	Cra 21 X Av 39	14
7	RMZI 36016	Zona Intermedia	42	Cra 16 X Calle 33	4
8	RD2142036	Calle 1ra. a la Av. 1 mayo por cra 8	24	Av.1 X Cra. 9	4
9	RD2324038	Vitelma - Santa Lucía (San Blas - La Colina).	24	Cra 2 X Calle 30B Sur	4
10	RD 3A24019	Conducción Estación de Bombeo Suba	24	Calle 153 X Cra 51	14
11	RM 78001	Tibitóc – Casablanca	78	Calle 129 X Cra 40	14
12	BIV 60092	Línea a Suba	60	Calle 125A X Trans. 35	14
13	RM 36012	Av. 78xAv. Américas (cras 60 y 50) - (Esc. Militar - Pte. Aranda)	42	Cra 50 X Diag. 22C	4
14	BIV 24102	Interconexión Línea Ferrocarril Autopista El Dorado	24	Av. Esperanza X Av. Cra 68	4
15	JR 241601	Línea Av. De las Américas	24	Av. Americas X Calle 13	4
16	RM 16057	Av. Centenario calle 13	16	calle 13 X Cra 53	4
17	RM16053	Av. 6 x Cra. 36 a la Av Primera x Cra. 14.	16	Calle 1C X Cra 27	4
18	RM 16053	Av. 6 x Cra. 36 a la Av Primera x Cra. 14.	16	Calle 2 X Cra 25A	14
19	RMZI 30013	Zona Intemedia - Etapa Final - Prolongación	30	Diag. 31 Sur X Av. Caracas	4
20	CC 9009	Av. Quito santa Lucia	30	Cra 23 X Calle 42 Sur	14
21	STF 20126	Av. Ciudad de Cali	20	Cra. 95 A Calle 128	6
22	BIV 3024068	Línea El Rincón	30	calle 122 X Av Ciudad de Cali	14
23	STF 24135	Av. Moriscos (Cras 91 y 116)	24	Av. Morisco X Cra 90	14
24	RD 424020	Autop. Medellín por Av. Boyacá a la Cra 116	24	Auto. Medellin X Cra 90	14
25	RM 16051	Calle 73 x Cra. 53.	16	Av. Calle 68 X Cra. 81	4
26	BIV 3024091	Refuerzo Zona Occidental	24	Calle 67A x Trans. 85	10
27	RM 78001	Tibitóc – Casablanca	78	Av. Boyacá X Calle 59A	10
28	RM 78001	Tibitóc – Casablanca	78	Av. Esperanza X Av. Boyacá	4
29	RM 78001	Tibitóc – Casablanca	78	Calle 13 X Av. Boyacá	8
30	RM 78001	Tibitóc – Casablanca	78	Av. Boyacá X Calle 12C	4
31	RM 16058	Av. El Dorado por Av. Cra. 47 Cra. 66A (Av. Rojas)	16	Av El Dorado X Av. Constitución	10
32	RD 742005	Línea San Francisco	42	Av. Constitución X Diag. 22 A	10
33	RM 16057	Av. Boyacá - Av. Centenario. (Relocalización)	16	Av. Constitución X Calle 13	10
34	BIV 24089	Línea refuerzo Av. Las Américas	24	Av. Boyacá X Av. Americas	4
35	BIV 24089	Línea refuerzo Av. Las Américas	24	AV. Américas X Cra 69	10

No.	CODIGO EAAB	NOMBRE DE LA LINEA	Ø LINEA (Pulg.)	LOCALIZACION INTERFERENCIA	Ø GAS (Pulg)
36	RM 78001	Tibitóc – Casablanca	78	Av. Boyacá X Calle 34 Sur	4
37	BIV 4842099	Silencio – Casablanca	42	Av. Cra 68 X Av FFCC del Sur	10
38	RM 16049	Avda. 44 Sur x Cra.25 - El Carmen	16	Av. Boyacá X Autosur	4
39	RD 1324030	Línea El Tunal	24	Trans. 44 X Calle 54 Sur.	10
40	RD 1324030	Línea El Tunal	24	Cra. 32 X Calle 54 Sur	4
41	RM 78001	Tibitóc – Casablanca	78	Cra. 72 X Diag. 44 Sur	10
42	RM 78001	Tibitóc – Casablanca	78	Cra. 72 X Diag. 44 Sur	4
43	BIV 4842099	Silencio – Casablanca	42	Cra. 72 X Diag. 44 Sur	10
44	BIV 4842099	Silencio – Casablanca	42	Cra. 72 X Diag. 44 Sur	4
45	BIV 42074	Silencio – Cazucá	42	Calle 63 Sur X Av. Villavicencio	10
46	BIV 4842099	Silencio – Casablanca	42	Diag. 67 Sur X Av. Villavicencio	10
47	BIV 30069	Ruta Baja Jerusalem	24	Cra. 45A X Calle 69 Sur	6
48	BIV42074	Silencio – Cazucá	42	Calle 63 Sur X Cra 78	8
49	BIV 42074	Silencio – Cazucá	42	Calle 62D Sur X Cra. 82	8
50	BIV 36101	Refuerzo Autopista del Sur	36	Calle 14 Sur Auto sur - Bosa estación	
51	BIV 36101	Refuerzo Autopista del Sur	36	Calle 14 Sur Auto sur - Bosa estación	8
52	RD 2924043	Línea Carretera del >Sur - Prolongación Soacha	24	Calle 6 X Auto Sur - Cazuca Estación II	8
53	BIV 36101	Refuerzo Autopista del Sur	36	Calle 6 X Auto Sur - Cazuca Estación II	8
54	BIV 24090	Línea refuerzo Av. Primero de Mayo	24	Av. Villavicencio X Trans. 84	4
55	RD 2224037	Línea RD-22 - Diag. 30	24	Calle 42 sur X Av. 1 Mayo	10
56	STF 1624131	Bosa - Kennedy. Av. Américas. Av Dagoberto Mejía (cra. 86)	16	Cra 86 X Calle 38 Sur	10
57	BIV 36075	Av. Ferrocarril x Cra. 50 y 112 hacia Municipios. (Línea a Fontibón, Línea a Fontibón)	30	Diag. 22A X Cra. 106	4

La severidad del ataque de las corrientes errantes en una tubería cercana a otra con protección catódica, depende de varios factores entre los que se encuentran:

- ♣ La configuración geométrica de las tuberías. Un cruce puede producir hasta 10 veces la densidad de corriente que ocurriría en una situación de paralelismo.
- ♣ Conductancia de la línea vecina. Una baja conductancia minimizará las corrientes mientras que una tubería sin recubrimiento maximizará el problema.

- ♣ Amplia variabilidad de la resistividad del suelo, incluyendo áreas de baja resistividad. Esta condición frecuentemente concentra el ataque de corrientes errantes en estas ultimas.

Donde se cruzan las dos líneas, se debe establecer e implementar un programa de monitoreo para evaluar las corrientes errantes en el cruce. El monitoreo consiste esencialmente, en tomar potenciales tubo-suelo y tubo -tubo en el sitio de cruce. El problema es evaluar si existe una corriente errante en una tubería sin protección catódica, como consecuencia de la corriente dada por el rectificador de la línea que si tiene protección. Si se detecta la presencia de corriente errante en la línea sin protección, se debe establecer una protección para atenuar este efecto. Este fenómeno, se presenta también en líneas paralelas, siendo el efecto en este caso menos dañino que en los cruces.

5.5.1 GUÍAS PARA MITIGACIÓN DE CORRIENTES ERRANTES.

Las siguientes son las guías generales para tener en cuenta en la mitigación de corrientes errantes. Las mismas deben ser atendidas por un especialista en corrosión y mediante la verificación en el sitio:

1. Para líneas nuevas, se recomienda evitar las condiciones de corrientes errantes haciendo una localización de la tubería en las zonas donde se verifique su ausencia.
2. Efectuar una Correlación del potencial tubería suelo de la conducción con la fuente generadora de corrientes errantes, estimando la magnitud probable de la desviación.
3. Establecer la mayor densidad de corriente errante anódica a ocurrir en la conducción.

Sin embargo los problemas más severos y complicados son causados por grandes e intermitentes fuentes de corriente continua, como las utilizadas en las líneas del metro o en equipos de minería, lo cual no es el caso de Bogotá. D.C., en donde son más

frecuentes los problemas asociados a tuberías vecinas sujetas a protección catódica con corrientes impresas, como los mencionados cruces con tuberías de gas en donde las afectaciones a las tuberías de acueducto sin protección catódica se pueden agrupar en las siguientes configuraciones:

- ♣ Tubería sin protección instalada cerca de un lecho anódico de una tubería vecina.
- ♣ Cruce de una tubería con protección catódica, con una sin protección.
- ♣ Tuberías paralelas, una con protección catódica y la otra no.

Cuando se requiera una nueva tubería de acueducto, se deberá evitar su instalación cerca de un lecho anódico, especialmente si se trata de un diseño de lecho poco profundo. Los lechos anódicos profundos, a más de 200 pies (61 m) son menos peligrosos como generadores de corrientes errantes.

Los tipos de medidas técnicas a implementar y aplicar, para eliminar el ataque de corrientes errantes en tuberías de conducción se clasifican en tres categorías;

1. Protección catódica.
2. Recubrimientos dieléctricos.
3. Escudamiento.

También, es común la utilización de combinaciones de dos o más medidas de este tipo.

5.5.1.1 PROTECCIÓN CATÓDICA

Cuando se usa protección catódica para mitigar corrientes errantes, se emplea por lo general ánodos de sacrificio en la línea de tubería afectada en el punto de descarga de la corriente errante. La principal ventaja del esquema de sacrificio es su simplicidad en la operación y el mantenimiento. Los ánodos de sacrificio, evitan la dependencia de operadores de sistemas extraños de protección catódica, como sería el caso en que se utilizan conexiones de drenaje y/o diodos.

5.5.1.2 RECUBRIMIENTOS DIELECTRICOS

Los recubrimientos dieléctricos, cumplen su papel de aislantes eléctricos, si el cambio anódico crítico del potencial tubería-suelo, no es sobrepasado para la tubería afectada cuando se aplica protección catódica en la línea vecina.

5.5.1.3 ESCUDAMIENTO

En los términos de la teoría de corrosión, el escudamiento significa la exclusión de sitios de corrientes anódicas o catódicas, mediante la aplicación de una barrera alrededor del área susceptible del tubo, con una “jaula “ de Faraday. De esta manera, se interceptan y disipan hacia el terreno todas las corrientes.

Enterrando cerca de la tubería cables de un material de baja resistividad y baja permeabilidad como cobre y aluminio, se obtiene una reducción hasta de un 65% en los voltajes pico inducidos.

No obstante, la colocación de varios conductores es mas efectiva que colocar uno solo, tres conductores a diferente profundidad, pueden ser una protección adecuada, estos conductores no deben estar conectados a la tubería y los cables reciben el nombre de “Cables de mitigación”.

5.5.1.4 COMITÉ DE CORROSIÓN.

Adicionalmente, con la implementación de las medidas técnicas, para solucionar los problemas de interferencias entre sistemas de protección o de sistemas de protección con líneas sin protección, se debe establecer comunicación e interrelación entre las diferentes

empresas involucradas y responsables de la operación, administración y mantenimiento de las instalaciones que incitan o son perjudicadas.

La efectividad de dicha interrelación, se logra a través de la permanente participación de cada una de las empresas en los comités interinstitucionales, especialmente establecidos para tal fin.

La participación de cada una de las empresas en dichos comités, se puede dar a través de los comités internos de corrosión. En vista de que la EAAB no cuenta con un comité interno de corrosión, se recomienda la creación del mismo, el cual tendrá dentro de sus funciones iniciales la convocatoria a la conformación de un comité interinstitucional de corrosión. Lo anterior, en vista de que en este momento son las tuberías de las redes matrices de acueducto, las que principalmente se están viendo perjudicadas por la presencia de corrientes errantes generadas de las instalaciones de otros servicios públicos.

Normalmente, la última empresa que llega con su sistema de protección catódica, es la que corre con los gastos originados por instalación de protecciones en los cruces o en los sitios de paralelismo. Situación que para el caso de las redes matrices de distribución de acueducto, no se ha presentado, pues existen muchas instalaciones de otros servicios que fueron posterior a la instalación de la tubería. Sin embargo, la atención de cada uno de los problemas generados por la interferencia de las redes y la aplicación de las medidas técnicas, tales como las mencionadas anteriormente, tendientes a dar las soluciones respectivas, deberán ser el resultado de acuerdos logrados en el respectivo comité interinstitucional de corrosión.

Cuando sea necesario actuar sobre una línea existente con protección catódica, se debe tener la autorización y supervisión de la empresa dueña de esta línea, para ejecutar los trabajos.

5.6. MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA INSTALADOS

Una vez ha sido rehabilitado y puesto en operación un sistema de protección catódica, se debe establecer e implementar un programa de mantenimiento que sea manejado por personal capacitado y motivado para desarrollar su trabajo.

Los principales puntos que se deben considerar para un programa de mantenimiento son: las inspecciones periódicas, el mantenimiento de los recubrimientos, el chequeo de los rectificadores y camas anódicas, el chequeo de los puntos de control y la verificación de las interferencias con redes foráneas.

5.6.1 INSPECCIONES PERIÓDICAS

Su objetivo es determinar el estado del sistema de protección, por lo cual incluye las siguientes actividades.

1. Medición de los voltajes establecidos de protección, ajustar los mismos según la estación climática que se tenga; en verano con los suelos secos la conductividad del suelo es menor que en época de lluvias.
2. Control de los recubrimientos, calculando su real resistencia.
3. En cada rectificador, controlar la D.C., los voltajes y la eficiencia del rectificador.
4. Verificación de la calidad de la fuente de poder que alimenta el sistema.
5. Chequeo de la resistencia de la cama anódica de los sistemas de corriente impresa.

6. Verificación de los potenciales en los cruces con líneas foráneas, comunicando en forma inmediata las variaciones encontradas. Esta información debe ser conocida por la EAAB-ESP y por la empresa foránea dueña del otro sistema.
7. Verificación de las corrientes vagabundas, estado de los interruptores tomando las debidas medidas para la solución de los problemas presentados.
8. Verificación del adecuado funcionamiento de las juntas aislantes.
9. Se deben anotar todos los posibles cambios físicos que puedan generar fallas en el sistema.

5.6.2 MANTENIMIENTO DE LOS RECUBRIMIENTOS.

Durante las suspensiones del servicio, que por diversas razones se presentan en las líneas, se debe estar pendiente para observar los posibles daños al recubrimiento, ya sea por la inspección visual directa donde el diámetro permita el acceso de personal o por medio de inspecciones con cámaras de video previo la limpieza de las tuberías. Si hay daños que originen cambio de piezas, se debe verificar el recubrimiento de las mismas, para que no se presenten daños posteriores por deficiencia de protección. Si hay deterioro en los recubrimientos se debe establecer una rutina de reposición de los mismos.

La inspección de los recubrimientos, también puede ser programada y se puede lograr por los mismos métodos indicados anteriormente, mediante la suspensión del servicio y el aislamiento del tramo especialmente realizada para este fin.

5.6.3 CHEQUEO DE LOS RECTIFICADORES Y DE LAS CAMAS ANÓDICAS.

Cualquier fuente de energía que alimente al sistema de protección catódica, debe ser revisada periódicamente. Los chequeos normales incluyen las siguientes actividades:

1. Mediciones de voltaje y corriente.
2. Limpieza y aislamiento de todas las puntas de conexión eléctrica.
3. Aplicación de una película anticorrosiva y dieléctrica para proteger todas las conexiones.
4. Cambio de cables que presenten daños en el recubrimiento.
5. Chequeo de los elementos de protección de los equipos, tales como fusibles, cañuelas, cuchillas de corte, verificando su correcto funcionamiento.
6. Toma de mediciones de la resistencia de la cama anódica.
7. Limpieza de los puntos de conexión de la cama al rectificador y entre ánodos de la misma cama.
8. Chequeo de la correcta encapsulada de las juntas con soldadura exotérmica.
9. Se debe tener cuidado de no aceptar juntas entizadas en los sistemas de protección catódica.

5.6.4 CHEQUEO DE PUNTOS DE CONTROL.

El mantenimiento de los puntos de control o estaciones de prueba debe incluir las siguientes actividades:

1. Verificación del estado de las cajas o postes que albergan las plaquetas de medida.
2. Protección de los elementos contra el vandalismo.
3. Mantener limpios los sitios de monitoreo.
4. Se debe prever la provisión de elementos de repuesto, tales como plaquetas, tornillos y tuercas para las uniones de medida.

5.6.5 VERIFICACIÓN DE LAS TUBERÍAS FORÁNEAS.

En las labores de mantenimiento de los sistemas de protección catódica de las redes de acueducto se debe incluir la verificación de las interferencias por medio de las siguientes actividades:

1. Chequeo de los potenciales de protección en los puntos de control de cruces con líneas foráneas.
2. Se debe informar inmediatamente los cambios encontrados, este aviso es para los dueños de las dos líneas afectadas.
3. Si se recibe un mensaje de cambio en la otra empresa, asistir inmediatamente a verificar la situación. Estos avisos tienen prioridad sobre cualquiera otra actividad.
4. Verificar constantemente la aparición de otros sistemas foráneos que puedan causar daños en el nuestro.
5. Se debe mantener una recopilación de todos los daños, reportes de las acciones tomadas sobre los puntos de interferencia.

6. Se debe mantener una constante comunicación con los inspectores de las otras líneas foráneas.
7. Cualquier trabajo que se desarrolle sobre las líneas en la zona de interferencia debe ser discutido a nivel institucional, entre los dueños de las líneas que presentan interferencias.

5.6.6 RECURSO HUMANO PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA

El personal que interviene en este tipo de mantenimiento debe tener la capacitación y conocimientos básicos sobre las características y principios de funcionamiento de la protección catódica, y debe tener pleno dominio de los equipos de medición utilizados. Además, se debe mantener una continua actualización en temas tales como, nuevos métodos de control de la corrosión, nuevos materiales empleados en la industria del agua así como brindar la capacitación adecuada para que el personal dedicado a estas labores pueda asumir una actuación frente a los problemas existentes y nuevos para plantear soluciones, por ejemplo se debe tener criterio al investigar si el sistema esta funcionando adecuadamente o si por el contrario sufrió alguna alteración que este generando daños.

El monitoreo de un sistema de protección catódica, mediante las mediciones que se realizan en las estaciones de prueba, debe estar acompañado de un análisis de los resultados y de la implementación de los ajustes respectivos o de las medidas correctivas correspondientes.

Este grupo de trabajo debe interactuar con las diferentes dependencias de la EAAB involucradas en las labores de mantenimiento, las que a su vez reportarán al comité interno de corrosión los problemas encontrados y que ameriten una asesoría para su solución. De igual manera, si los problemas ameritan su tratamiento en el comité interinstitucional de corrosión deberán ser llevados y tratados por el mismo.

5.7. RECOMENDACIONES PARA INSTALACIONES FUTURAS.

Las siguientes son recomendaciones para tener en cuenta en instalaciones nuevas de redes matrices de acueducto, y están orientadas según el tipo de tubería que se emplee. Las recomendaciones se encuentran de acuerdo con las normas y manuales de la NACE y AWWA tales como las mencionadas en el numeral 5.4.1.1.

1. *Tuberías de acero con revestimiento de mortero de cemento:* Si el acople de la tubería es espigo-campana con empaque de caucho, se deben instalar juntas de conductividad y continuidad eléctrica en el acople de los tubos.
2. Si la tubería es de acero con revestimiento de mortero de cemento, pero sus juntas son soldadas no requiere de las conexiones mencionadas anteriormente. Se deben instalar estaciones de monitoreo y programar el mismo para controlar la aparición de puntos de corrosión y dejar previsto el sitio para la instalación en un futuro de un sistema de protección catódica si las condiciones de la corrosión lo ameritan.
3. *Tuberías de acero con revestimiento de esmalte bituminoso o pinturas epóxicas:* Se recomienda implementar el sistema de protección catódica simultáneamente con la instalación de la tubería; si la tubería es espigo-campana con empaque de caucho, se debe instalar la conductividad y continuidad eléctrica e instalar estaciones de monitoreo, programar y ejecutar el mismo.
4. *Tuberías tipo CCP con espigo-campana y empaque de caucho:* Se debe instalar juntas de conductividad eléctrica e instalar estaciones de monitoreo, programar y ejecutar el mismo con la periodicidad necesaria; dejar previsto el sitio para un futuro sistema de protección catódica.
5. *Tuberías de hierro dúctil sin funda de polietileno:* Si la tubería tiene espigo campana con empaque de caucho, se deben instalar las juntas para conductividad eléctrica e instalar estaciones de monitoreo, implementar y cumplir el mismo; dejar previsto el

sitio para instalar un futuro sistema de protección catódica. Si la tubería tiene funda de polietileno no se instala nada de lo anterior.

6. Si en tuberías con protección catódica o con sistemas de monitoreo instalados, se intercala una junta mecánica, esta debe tener sistema de conductividad eléctrica.

TABLA DE CONTENIDO

5.	REHABILITACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA	5-1
5.1.	GENERALIDADES	5-1
5.2.	SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA DE LA LÍNEA BIV48100	5-4
5.2.1	<i>RECOMENDACIONES PARA LA REHABILITACIÓN.....</i>	<i>5-4</i>
5.2.2	<i>TRABAJOS A REALIZAR PARA LA REHABILITACIÓN.....</i>	<i>5-5</i>
5.2.3	<i>CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO</i>	<i>5-6</i>
5.3.	SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA LÍNEA SILENCIO-CASABLANCA.....	5-7
5.4.	SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA OTRAS LÍNEAS.	5-9
5.4.1	<i>REHABILITACIÓN SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA OTRAS LÍNEAS.....</i>	<i>5-11</i>
5.4.1.1	Normas y estándares para la rehabilitación	5-12
5.5.	INTERFERENCIAS DE LAS REDES MATRICES DE ACUEDUCTO CON LÍNEAS FORÁNEAS CON PROTECCIÓN CATÓDICA.....	5-13
5.5.1	<i>GUÍAS PARA MITIGACIÓN DE CORRIENTES ERRANTES.</i>	<i>5-16</i>
5.5.1.1	Protección catódica	5-17
5.5.1.2	Recubrimientos dieléctricos	5-18
5.5.1.3	Escudamiento.....	5-18
5.5.1.4	Comité de corrosión.	5-18
5.6.	MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA INSTALADOS .	5-20
5.6.1	<i>INSPECCIONES PERIÓDICAS.....</i>	<i>5-20</i>
5.6.2	<i>MANTENIMIENTO DE LOS RECUBRIMIENTOS.....</i>	<i>5-21</i>
5.6.3	<i>CHEQUEO DE LOS RECTIFICADORES Y DE LAS CAMAS ANÓDICAS.....</i>	<i>5-22</i>
5.6.4	<i>CHEQUEO DE PUNTOS DE CONTROL.....</i>	<i>5-22</i>
5.6.5	<i>VERIFICACIÓN DE LAS TUBERÍAS FORÁNEAS.....</i>	<i>5-23</i>
5.6.6	<i>RECURSO HUMANO PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA</i>	<i>5-24</i>
5.7.	RECOMENDACIONES PARA INSTALACIONES FUTURAS.....	5-25

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla No. 5.1.1. Características de las líneas con Protección Catódica</i>	<i>5-3</i>
<i>Tabla No. 5.2.1. Resumen de recomendaciones para la rehabilitación del sistema de protección catódica de la línea BIV48100.....</i>	<i>5-5</i>
<i>Tabla No. 5.2.2. Cantidades de obra estimadas para la rehabilitación del sistema de protección catódica de la línea BIV48100.....</i>	<i>5-7</i>
<i>Tabla No. 5.4.1. Resumen monitoreo protección catódica - Octubre de 1998.....</i>	<i>5-10</i>
<i>Tabla No. 5.5.1 Relación de sitios con interferencias entre líneas de Acueducto y Gas</i>	<i>5-14</i>