

NORMA TÉCNICA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

NDC-SE-AA-010

PROTECCIÓN DE TUBERIAS EN REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO



Código	NDC-SE-AA-010
Estado	VIGENTE
Versión	1.0-16/04/2012
Fuente	GUENA-EMCALI EICE ESP- DISEÑO - CONSTRUCCIÓN
Tipo de Documento	NORMA TÉCNICA DE SERVICIO
Tema	ACUEDUCTO - ALCANTARILLADO
Comité	TÉCNICO DE APROBACIÓN DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

Título	PROTECCIÓN DE TUBERÍAS EN REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO
---------------	--

ÍNDICE

	Pág.
1. PROLOGO	4
2. OBJETO	5
3. ALCANCE	5
4. DEFINICIONES	5
5. REFERENCIAS NORMATIVAS	7
6. REQUISITOS	9
6.1 REQUISITOS TÉCNICOS GENERALES	9
6.1.1 Generalidades	9
6.2 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN	9
6.2.1 Parámetros para definir la utilización de sistemas de protección para tuberías metálicas (CCP, Acero, Hierro Dúctil)	9
6.2.2 Requerimientos para definir la protección de la tubería contra la corrosión	10
6.2.2.1 Evaluación de la agresividad de un suelo	11
6.2.2.2 Clasificación de la corrosividad	14
6.2.2.3 Requisitos de la estructura a proteger	14
6.2.3 Tipos de Protección	15
6.2.3.1 Protección mediante recubrimiento exterior de la tubería	15
6.2.3.2 Pinturas y protección catódica combinados	16
6.2.3.3 Sistemas de protección catódica	17
6.2.3.3.1 Criterios de diseño de la protección catódica	17
6.2.3.3.2 Tipos de protección catódica	18
6.2.3.3.3 Requisitos mínimos para equipos de medición del sistema de protección catódica	20
6.2.3.3.4 Requisitos para presentación de los diseños de protección catódica de tuberías de acero a EMCALI EICE ESP.	22
6.3 PROTECCIÓN DE TUBERÍAS DE LA ACCIÓN DE CARGAS VIVAS	23
6.3.1 Generalidades	23
6.3.2 Cárcamos	23
6.3.3 Tapa del Cárcamo	24
6.3.4 Requisitos para la presentación a EMCALI EICE ESP de los diseños de protección de tuberías.	24
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
8. ANEXOS	27

1. PROLOGO

La Unidad Estratégica de los Negocios de Acueducto y Alcantarillado - UENAA ha establecido el Área Funcional Sistema de Normas y Especificaciones Técnicas para gestionar el desarrollo y la actualización de las normas y especificaciones técnicas a ser utilizadas por el personal de EMCALI EICE ESP, contratistas, consultores, usuarios y otras partes interesadas. La misión principal del área, consiste en la normalización de los procesos, productos y servicios, para estar acorde con el estado del arte tecnológico y las exigencias gubernamentales, en beneficio de los diferentes sectores que participan en el desarrollo de la infraestructura del entorno y de la comunidad en general.

La versión final de esta Norma Técnica fue revisada y aprobada a través de los Comités Técnico y de Aprobación y ordenada su Publicación y Cumplimiento mediante la resolución de Gerencia General de EMCALI EICE ESP No. GG-001255 del 12 de Julio de 2011

2. OBJETO

Definir los criterios y aspectos a considerar para la duración de las redes de Acueducto y Alcantarillado de acuerdo con las características físicas, químicas y condiciones de instalación de los suelos donde se instalen.

3. ALCANCE

Aplica a las redes de acueducto y alcantarillado para proveer su protección exterior contra agentes corrosivos y la acción de cargas externas para EMCALI EICE ESP.

4. DEFINICIONES

4.1. ÁNODO

Elemento emisor de corriente eléctrica; es el electrodo de una celda en el cual ocurre el fenómeno de oxidación.

4.2. ÁNODO GALVÁNICO O DE SACRIFICIO

Metal con potencial de oxidación más electronegativo que el de la tubería por proteger y que al emitir corriente eléctrica de protección, se consume.

4.3. BACKFILL

Es un tipo de relleno que se coloca alrededor de los ánodos de los sistemas de protección catódica, el cual mejora la superficie de contacto, reduce la resistencia del terreno y permite la difusión de los gases producidos en las reacciones anódicas.

4.4. CÁTODO

Electrodo de una celda en el que ocurren las reacciones electroquímicas de reducción en un sistema de protección catódica.

4.5. CORROSIÓN

Destrucción lenta y progresiva de un metal por el medio que lo rodea, produciendo el deterioro de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Reacción de carácter electroquímico que involucra al metal y a un electrolito compuesto por aguas y otras sustancias, que combinados forman pilas o celdas de corrosión capaces de generar una corriente eléctrica, debido al flujo de electrones, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas anódicas y catódicas.

4.6. DETERMINACIÓN DE SULFUROS

La determinación de sulfuros en el terreno es importante, pues es un indicador de la presencia de las bacterias sulfo-reductoras y con ellas la corrosión bacteriana.

4.7. ELECTROLITO

Conductor iónico de corriente eléctrica directa. Se refiere al subsuelo o al agua en contacto con una tubería metálica enterrada o sumergida.

4.8. HUMEDAD

Indica la mayor o menor cantidad de agua presente en el suelo

4.9. MANGA DE POLIETILENO

La manga de polietileno es una película de polietileno, que se enfunda y aplica sobre la tubería de hierro dúctil (AWWA C-105 “American National Standard for Polyethylene Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems”) en el momento de colocarla, debe quedar perfectamente en contacto con la tubería, aislándola del relleno de la zanja. El polietileno debe cumplir con la norma ASTM D-1248 “Standard Specification for Polyethylene Plastics Molding and Extrusion Materials”.

4.10. POTENCIAL REDOX

El potencial redox es una medida de la fuerza de oxidación ó reducción de un sistema, siendo la medida de la actividad de los electrones. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que éste mide la actividad de protones y el potencial redox mide la de los electrones.

4.11. PROTECCIÓN CATÓDICA

Método electroquímico de protección contra la corrosión de uso común en metales enterrados ó sumergidos. Se basa en la aplicación exterior de una corriente eléctrica, desde unos ánodos situados en el mismo electrolito de la estructura que se va a proteger. De esta forma se puede mantener una superficie metálica en un medio corrosivo, reduciendo la corrosión virtualmente a cero, sin que los elementos metálicos sufran deterioro durante el periodo de vida útil del sistema de protección.

La protección catódica no elimina la corrosión, la remueve de la estructura a ser protegida y la concentra en un punto donde se descarga la corriente.

4.12. PROTECCIÓN CATÓDICA POR ÁNODOS DE SACRIFICIO

Método de protección catódica que se basa en la unión de un metal de mayor potencial con otro de menor potencial, con el fin de que la diferencia existente entre los dos potenciales de dichos metales genere una corriente eléctrica a través del electrolito del ánodo o elemento que se sacrifica al cátodo o elemento que se protege (tubería). El metal que actúa como ánodo se disuelve en favor de la protección del metal que actúa como cátodo.

4.13. PROTECCIÓN CATÓDICA POR CORRIENTE IMPRESA

Método de protección catódica que logra la diferencia de potencial necesaria para evitar la corrosión de una estructura metálica, mediante la Implementación de una fuente externa de corriente continua.

4.14. RECTIFICADORES

Equipo eléctrico que permite la conversión de un voltaje alterno (CA-corriente alterna o pulsante) en un voltaje continuo (CD-corriente continua). En el tema de la protección catódica aparecen los rectificadores

cuando existe la necesidad de contar con un flujo de corriente sin Intervalos o discontinuidades, que haga más eficiente el proceso.

4.15. RESISTIVIDAD DEL SUELO

Indica la resistencia que opone el suelo al paso de corriente y es recíproca con la conductividad. La resistividad eléctrica se estima en Ohm-cm y representa el promedio de la resistencia eléctrica a través de cada centímetro cúbico de terreno que se está ensayando. Para su medición se emplea el método de los cuatro planes según la norma ASTM G 5778 Test Method for Field Measurement of 5011 Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method.

4.16. VALORACIÓN DEL pH.

El valor pH Indica la mayor o menor acidez de un suelo, presentándose un valor neutro entre 8.5 y 7.5; suelos con pH mayor son básicos y suelos con pH menor son ácidos. Si hay presencia de cloro en el suelo el valor numérico del pH es menor, haciéndose el suelo más agresivo.

5. REFERENCIAS NORMATIVAS

Para las siguientes referencias normativas aplica su versión vigente o reglamentación que las modifique, sustituya o adicione.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.

- Fusion-bonded epoxy coating for the interior and exterior of steel water pipelines. Denver: AWWA. (AWWA C213)
- Protective interior coatings for valves and hydrants. Denver: AWWA. (AWWA C550)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG.

- Valves and fittings for untreated and potable water-protection against corrosion by internal epoxy coating of coating powders (P) or liquid varnishes (F)-requirements and tests. Berlín: DIN. (DIN 3476).

NACE INTERNATIONAL

- NATIONAL ASSOCIATION OF CATERING EXECUTIVES. Control of external Corrosion on Underground and Submerged Metallic Piping System. Washington, DC: 1993, NACE (RP 0169)
- NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. Standard recommended practice control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems. Texas: NACE. (RP 0169)

NSF INTERNATIONAL

- NATIONAL SANITATION FOUNDATION. Drinking water system components-health effects. Ann Harbor (Michigan): NSF. (NSF/ANSI 61)

NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION

- NATIONAL ELECTRIC MANUFACTURERS ASSOCIATION. (NEMA MR-20)

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO (Actual Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial)

- Resolución 1096 de 2000: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Bogotá: MinDesarrollo, 2000 (RAS-2000) versión vigente y sus posteriores actualizaciones

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA.

- Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá: AIS, 2010. (NSR-10)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.

- Ingeniería civil y arquitectura. Dimensiones modulares de unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Bogotá: ICONTEC. (NTC 296)

EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI – EMCALI EICE ESP.

- Concretos y morteros. EMCALI EICE ESP (NCO-PM-AA-004).
- Criterios para planes de manejo ambiental. EMCALI EICE ESP (NPL-SE-AA-023)
- Criterios para selección de materiales de tuberías para redes de acueducto y alcantarillado. EMCALI EICE ESP (NDI-SE-AA-018).
- Directrices para la ejecución de levantamientos topográficos. EMCALI EICE ESP (NDI-SE-AA-015)
- Rellenos. EMCALI EICE ESP (NDC-SE-AA-012)
- Requisitos mínimos de higiene y seguridad industrial para el manejo de equipos empleados en labores de construcción de sistemas de acueducto y alcantarillado. EMCALI EICE ESP (NPL-SE-AA-026)
- Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado. EMCALI EICE ESP (NDI-SE-AA-016)
- Requisitos para la elaboración y entrega de planos de obra construida de redes de acueducto y alcantarillado. EMCALI EICE ESP (NCO-SE-AA-003)
- Requisitos para la elaboración y presentación de estudios geotécnicos. EMCALI EICE ESP (NDC-SE-GE-001)

6. REQUISITOS

Este ítem incluye los requerimientos básicos a considerar en la protección de tuberías de acueducto y alcantarillado.

6.1 REQUISITOS TÉCNICOS GENERALES

6.1.1 Generalidades

Las actividades propias a la protección de tuberías deben complementarse con el cumplimiento de las siguientes normas de EMCALI EICE ESP:

- “NPL-SE-AA-026 Requisitos mínimos de higiene y seguridad industrial, para el manejo de equipos empleados en labores de construcción de sistemas de acueducto y alcantarillado”
- “NPL-SE-AA-023 Criterios para planes de manejo ambiental”

6.2 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

6.2.1 Parámetros para definir la utilización de sistemas de protección para tuberías metálicas (CCP, Acero, Hierro Dúctil)

El diseño de la protección catódica de las tuberías metálicas debe cumplir con los requisitos y recomendaciones de la National Association of Corrosion Engineers-NACE. (Standard RP-0169), A'ANVA M-27 “External Corrosion”, M-9 “Concrete Pressure Pipe”, M-1 1 “Steel Pipe Guide Desing and Installation” M-41 Ductile Iron Pipe And Fitting” y para los recubrimientos exteriores de las tuberías a proteger se debe tener en cuenta las siguientes normas: (AWWA C203), Cold aplied tape coating (AWNA C 209), Liquid epoxy coating (AWWA C 210), Fusion bonded epoxy coated (AWNA C 213), Tape coating Systems (AWNA C214), Extruded polyolefin coating (AWNA C 215), fundas de polietileno para tubería de hierro dúctil (AWWA C 105) y Standard for Cement-Mortar Protective Lining and Coating for steel Water Pipe-4 in (100 mm) and Larger — Shop Applied (AWWA-205).

El diseño debe contemplar la vida útil del sistema y debe incluir como mínimo lo siguiente:

- a) Estudio del trazado de la conducción en donde se deben instalar las tuberías, piezas especiales, válvulas y accesorios objeto del diseño de la protección catódica, así como las características, condiciones climáticas de la zona, juntas de aislamiento e interferencias.
- b) El trazado debe ser georeferenciado con un sistema de GPS.
- c) Elaboración del perfil de resistividad del terreno a lo largo del trazado de la conducción. Para la obtención de este perfil deben efectuarse mediciones de la resistividad del suelo a tres (3) profundidades distintas acordes con la localización que tendrá la tubería y que deben referirse a la cota clave, eje de la tubería y cota de fondo, respectivamente, éstas mediciones deben ser realizadas cada 250 a 300 m en terreno homogéneo, o cada 100 m en caso de terrenos con presencia de aguas estancadas o vertimientos industriales.

El perfil debe ser complementado con gráficos de resistividad en función del contenido de humedad del terreno.

- d) Se debe elaborar un registro de cada uno de los puntos de muestreo debidamente identificados y georeferenciados a los planos de la conducción. Para cada punto se debe indicar la profundidad y

localización de las mediciones, los resultados del muestreo, la fecha de toma de la muestra y los datos meteorológicos del clima en el momento del muestreo.

- e) Elaboración del estudio del suelo y del relleno que se va a utilizar en las zanjas, cumpliendo con los requisitos de las normas de EMCALI EICE ESP “NDC-SE-GE-001 Requisitos para la elaboración y presentación de estudios geotécnicos” y “NDC-SE-AA-012. Rellenos”
- f) Análisis de las posibles interferencias con tuberías de acueducto existentes y el efecto que causen los diferentes tipos de protecciones sobre éstas. En el caso de tuberías que ya tengan protección catódica (gas o acueducto) se debe garantizar el correcto funcionamiento de todos los sistemas. Además se debe tener en cuenta la eficacia del revestimiento.
- g) Selección del sistema de protección que se va a utilizar en la conducción, de acuerdo con los parámetros, criterios de diseño presentados en la presente norma, eficiencia, disponibilidad de energía y costo final.

En el proceso de selección del sistema adecuado para la protección catódica de la tubería, se deben tener en cuenta:

- La óptima economía de la instalación, mantenimiento y operación del sistema;
 - Minimización del suministro de corrientes excesivas o gradientes excesivos de potencial, los cuales pudieran causar efectos nocivos o destructores sobre tuberías, protección de otros elementos recubiertos u otras estructuras metálicas o de concreto con refuerzo de acero que se encuentren en las vecindades de la tubería a proteger.
- h) Cálculo y diseño de las camas anódicas y rectificadores que sean necesarios para la protección de la conducción, incluyendo su localización.
 - i) Localización y el diseño de las estaciones de prueba para medición de potencial y corriente. El diseño debe incluir las medidas que sean necesarias para evitar la obtención de información falseada. Las estaciones deben estar localizadas en los puntos de interconexión de la conducción con la red existente y sobre el trazado de la conducción a distancias de 1000 m como máximo.
 - j) Elaboración de los manuales de operación y mantenimiento del sistema de Protección Catódica de la conducción.

En estos manuales se deben establecer las recomendaciones en forma amplia y detallada sobre los sistemas de seguimiento y control de la Protección Catódica, incluyendo la manera para efectuar las mediciones, la evaluación y la corrección del sistema de Protección Catódica durante la operación del proyecto.

- k) En caso de que el Consultor utilice cualquier otro método distinto, este debe ser plenamente justificado, técnica y económicamente ante EMCALI EICE ESP para su aceptación.

6.2.2 Requerimientos para definir la protección de la tubería contra la corrosión

Para decidir sobre el empleo de un sistema de protección contra la corrosión, se deben conocer bien las condiciones del terreno y las condiciones de la tubería que se va a proteger.

La agresividad del suelo se debe determinar antes de instalar la tubería. Los trabajos topográficos, los estudios geológicos y la inspección del terreno previos a los diseños, son factores de gran ayuda en el control de la corrosión.

La topografía debe ser al detalle de acuerdo con la norma “NDI-SE-AA-015 Directrices para la ejecución de levantamientos topográficos” de EMCALI EICE ESP, se deben identificar entre otros los siguientes puntos:

- Relieve: Puntos altos y secos.
- Puntos bajos y húmedos.
- Ríos: Áreas húmedas.
- Estanques, ciénagas, lagos, depresiones que almacenen agua.
- Estuarios, marismas, terrenos salinos.
- Zonas contaminadas por diversos efluentes.
- Depósitos de procedencia industrial.
- Cercanía de tuberías de gas y/o petróleo que tengan protección catódica.
- Cercanía con líneas de fibra óptica, telefonía y/o comunicaciones.
- Proximidad a efluentes no estancos.
- Instalaciones industriales con corriente continua.
- Cruces con líneas eléctricas.

Para los estudios geotécnicos se debe determinar los siguientes aspectos:

- Terrenos de poco riesgo: arenas, gravas, piedra, caliza.
- Terrenos de alto riesgo: margas, arcillas.
- Terrenos de altísimo riesgo: yesos, piritas, sales para industria, combustible fósil.

Para el estudio hidrogeológico se debe determinar terrenos impermeables y zonas acuíferas. Para la inspección del terreno se debe tener en cuenta:

- Las medidas de resistividad.
- La toma de muestras para análisis de laboratorio.

6.2.2.1 Evaluación de la agresividad de un suelo

Cada uno de los parámetros que inciden en la agresividad del suelo es calificado asignándole un puntaje que al ser sumados permiten obtener el Índice del Suelo (IS.) y calificar su agresividad con relación a una estructura enterrada. Este método suele llamarse de los “10 puntos” o CIPRA.

La evaluación de la agresividad de un suelo se efectúa con base en los resultados de los siguientes ensayos y observaciones hechas en sitio:

- Determinación del tipo de suelo.
- Condición del suelo.
- Resistividad del suelo.
- Contenido del agua.
- Valoración del pH.
- Potencial Redox.
- Determinación de calcio y magnesio.
- Determinación de Sulfuros.
- Ion Cloruro.
- Humedad.

Los puntos enunciados están consignados en la Tabla 1 de valoración del índice de agresividad del suelo. "Metodo CIPRA (California Institute for Public Risk Analysis)".

Tabla 1. Valoración del grado de agresividad a estructuras metálicas atribuibles a las distintas características del suelo (MÉTODO DE CIPRA)

	Parámetro	Características	Valoración
1	Clase de suelo	Tiza	+2
		Arena	+2
		Greda	0
		Arena Gredosa	0
		Arena Arcillosa	0
		Arena	- 2
		Tierra Vegetal	-2
		Cieno	-2
		Fango	-4
	Suelo Pantanoso	-4	
2	Condición del suelo	Agua subterránea al nivel de la estructura	
		No Presente	0
		Presente	-1
		Variable	-1
		Suelo sin alteración (arado, apisonado)	0
		Suelo mecánicamente alterado	-2
		Suelo uniforme alrededor de la estructura	0
No uniforme alrededor de la estructura	-3		
3	Resistencia Específica del suelo (resistividad)	< 10000 ohm - cm.	0
		10000-5000 ohm - cm.	-1
		5000-2300 ohm - cm.	-2
		2300-1000 ohm - cm.	-3
		1000 ohm - cm.	-4
4	Contenido de agua	<20%	0
		>20%	-1

	Parámetro	Características	Valoración
5	Valor de pH	>6	0
		<6	-1
6	Acidez total a pH = 7	2.5 m val / Kg	0
		2.5-5mval/Kg	-1
		5mval/Kg	-2
7	Potencial Redox a pH = 7 relativamente al pH	miliVoltios	rH(potencial redox)
		400	27.8 Fuertemente aireado+2
		200-400	20.9-27.8 Aireado 0
		0-200	14.0-20.9 Débilmente aireado-2
		0	14.0 no aireado-4
8	Contenido de carbonato de calcio y magnesio o alcalinidad total a pH = 4.8	Carbonatos Ca y Mg	Alcalinidad d a pH = 4.8
		5%=50000 mg/Kg	1000 m val / kg+2
		1 -5%=10.000-50.000 mg/kg	200 -100 m Val / kg+1
		1%=10.000 mg/kg	200m Val/kgO
9	Ácido Sulfúrico o Sulfuros	No presente	0
		Trazas=0.5 mg/kg	-2
		Presente = 0.5 mg / Kg	-4
10	Contenido de carbón de piedra o coke	No presente	0
		Presente	-4
11	Ion Cloruro	< 100 mg/kg	0
		> 100 mg/kg	-1
12	Contenido de sulfato	200 mg/kg	0
		200 - 500 mg/kg	-1
		500-1000 mg/kg	-2
		1000 mg/kg	-3

El Índice del Suelo (IS.) se estima con base en las calificaciones de los parámetros antes indicados, mediante la siguiente expresión:

$$\text{Índice del suelo} = \sum_{I=1}^{I=12} K_I$$

Donde K_i son los valores asignados al grado de influencia de cada parámetro, valorado entre -4 y +2.

En la Tabla 2 se presenta la clasificación de la agresividad del suelo, según la valoración obtenida en los cuadros de CIPRA:

Tabla 2. Clasificación según el índice de agresividad

I.S	AGRESIVIDAD DEL SUELO	CLASE DE SUELO
0	Prácticamente no agresivo	IV
0 a -4	Debidamente agresivo	III
-5 a -10	Agresivo	II
<-10	Fuertemente agresivo	I

6.2.2.2 Clasificación de la corrosividad

El grado de corrosividad se clasifica según el tipo de ensayo (resistividad, pH, Redox), para definir la protección catódica se deben tener en cuenta dichos resultados. Estos se deben comparar con las Tablas 3, 4 y 5 para definir la necesidad de aplicar protección catódica.

Tabla 3. Según resistividad

Resistividad (Ohm-cm)	Corrosividad del suelo	Requiere protección
<100	Extremadamente Corrosivos	SI
100 a 1000	Muy Corrosivos	SI
1000 a 2500	Corrosivos	SI
5000 a 7500	Moderadamente Corrosivos	SI
7500 a 15000	Ligeramente Corrosivo	SI
> 15000	Progresivamente corrosivo	Depende del resultado topográfico y geológico

Tabla 4. Según el pH

pH	Medio	Corrosividad	Requiere protección
.0-4.5	Acido	Muy Agresivo	SI
5.0-6.0	Moderadamente ácido	Agresivo	SI
.0-6.5	Poco ácido	Agresivo	SI
.5-7.5	Neutro	Moderadamente Agresivo	Depende del resultado Topográfico y geológico
7.5-8.5	Poco Alcalino	Condicionado	Depende del resultado Topográfico y geológico
>8.5	Muy alcalino	Condicionado	Depende del resultado Topográfico y geológico

Tabla 5. Valores de potencial redox en función del posible riesgo de corrosión anaeróbica del suelo

Potencial REDOX	Corrosividad Suelo	Requiere protección
<100mV	Extremadamente agresivo	SI
100-200mV	Muy agresivo	SI
2'00+400 mV	Moderadamente agresivo	SI
>400 mV	Ligeramente agresivo	Depende del resultado topográfico y geológico

6.2.2.3 Requisitos de la estructura a proteger

Para la estructura a proteger se debe verificar los siguientes requisitos para que el sistema a diseñar sea funcional:

- Tipo de material.
- Características dimensionales y geométricas de la estructura (Diámetro).
- Tipo de recubrimiento y especificaciones.
- Si la instalación ya existe, consultar y analizar registro de averías y/o inspecciones.
- Condiciones atmosféricas del sitio.

- Localización de interferencias (corrientes erráticas, otros sistemas de protección).
- Estaciones de prueba (Localización y detalle de construcción de los rectificadores).
- Existencia de uniones soldadas.
- Localización de ramificaciones de la línea.
- Localización de bridas o uniones aislantes indicando si son para seccionar o para aislarla eléctricamente.
- Localización de otras estructuras enterradas.
- Localización de líneas de alto voltaje cercanas y paralelas.

6.2.3 Tipos de Protección

Debe preverse la adecuada protección de la tubería contra la corrosión, teniendo en cuenta su material, el grado de agresividad del suelo según el estudio geotécnico y otras condiciones particulares del diseño de la tubería, indicadas en las normas de EMCALI EICE ESP “NDC-SE-GE-001 Requisitos para la elaboración y presentación de estudios geotécnicos” y “NDI-SE-AA-018 Criterios para selección de materiales de tuberías para redes de acueducto y alcantarillado”. Para la protección de las tuberías metálicas se debe utilizar un único material.

Dicha protección puede depender del material de la tubería, hay diferentes tipos tales como:

- Protección catódica en caso de tuberías metálicas.
- Recubrimiento exterior de la tubería recomendado por el fabricante de la misma, que puede ser recubrimiento epóxico, bituminoso, en mortero y/o en zinc.
- Protección con polietileno o cualquier otro material recomendado por el fabricante de la tubería.
- Utilización de rellenos especiales que minimicen el efecto agresivo.

El tipo de la protección de la tubería debe definirse en el diseño para la vida útil de la tubería, dependiendo del material de ésta. EMCALI EICE ESP puede a su juicio exigir cambios del tipo de protección o utilizar simultáneamente varios sistemas de protección.

Para combatir la corrosión se deben utilizar los métodos de protección que se indican en los numerales siguientes

6.2.3.1 Protección mediante recubrimiento exterior de la tubería

El recubrimiento exterior de la tubería debe ser el recomendado por el proveedor dependiendo de los factores del numeral 6.2.1.de la presente norma. Para la utilización de este tipo de protección, se debe tener en cuenta que el recubrimiento pierde sus propiedades a través del tiempo y no se debe utilizar cuando existe difusión de agua y oxígeno en la zona donde está sumergida la tubería, a menos que se utilice la combinación de otro método.

Los recubrimientos exteriores para la protección de una tubería pueden ser de los siguientes tipos:

- Recubrimientos con pintura: epóxicos, bitúmenes, mortero y zinc.
- Protección con polietileno o cualquier otro material recomendado por el fabricante de la tubería.

Para el control del estado de la tubería debido a la corrosión debe establecerse un programa de monitoreo de la misma.

Un recubrimiento epóxico está compuesto por dos elementos, base y endurecedor (catalizador), que se mezclan en determinada proporción, generando una reacción exotérmica y cuyo resultado es un material “plástico” endurecido e inerte.

Su utilización como protección de tuberías contra la corrosión se basa esencialmente en su alta resistencia química, durabilidad, buena adhesión a los metales, baja porosidad (alta resistencia a la humedad) y buena resistencia mecánica y térmica.

Los recubrimientos epóxicos se pueden utilizar únicamente para las tuberías de materiales ferrosos (fundiciones, acero), que no tengan recubrimientos inoxidable u otras protecciones y que no hayan sido tratadas mediante la galvanización. Se aplican en la parte exterior según la recomendación del fabricante dependiendo del factor de suelo o del índice del suelo (IS.).

Se debe tener en cuenta que en los valores de protección que se encuentran por encima de los especificados para cada tipo de recubrimiento, ocurre el fenómeno de ampollamiento del mismo por el ataque en medio básico, y formación de hidrógeno que hace fallar prematuramente al recubrimiento. Por consiguiente se debe tener en cuenta los grados de potencial de la Tabla 6.

Tabla 6. Voltaje de protección para recubrimientos

Recubrimiento	Voltaje
Mayoría de pinturas el límite se sitúa	sobre -1.1V
Pinturas Epóxicas	-1 .2V
Polietileno	-2.0V

6.2.3.2 Pinturas y protección catódica combinados

El método de recubrimiento con pintura no es suficiente cuando existen agentes oxidantes; por consiguiente, requiere que se combine con sistemas de protección catódica que se describen en el numeral 6.2.3.3.

▪ **Monitoreo para control de la corrosión**

En las tuberías con revestimientos activos y de acción química, se debe dejar estaciones de prueba, para efectuar mediciones del potencial tubería-suelo, que permiten identificar ataques corrosivos y ayudan a definir la instalación de sistemas de protección catódica.

Para que esto se cumpla es necesario tener conductividad eléctrica en la red que se quiere monitorear. Estos sistemas de instalación se logran empleando grapas de conductividad en las uniones las espigo-campana con empaque de caucho de la tubería instalada, sin que éstas sean un sistema de protección sino de ayuda. Dichas grapas consisten en cables de cobre o varillas de acero soldadas sobre los espigos y campanas de la tubería según AWWA M9 en el caso que la tubería sea en hierro dúctil AWWA C-105-93.

6.2.3.3 Sistemas de protección catódica

Este sistema debe reducir la velocidad de corrosión generando una corriente eléctrica externa con intensidad suficiente para anular las corrientes de corrosión de las diversas pilas galvánicas que se forman en la superficie metálica debidas al electrolito en contacto con el metal y al cubrir toda la superficie del elemento a proteger.

La protección catódica debe constar de un Cátodo (tubería), Ánodo, conexión y electrolito.

El sistema debe funcionar por la descarga de corriente desde los ánodos hacia la tierra, teniendo en cuenta que los ánodos son los que usualmente se corroen, así se polariza el cátodo, llevándolo más allá del potencial de corrosión mediante el empleo de una corriente externa.

No se debe emplear en áreas de metal que no están en contacto con el electrolito (suelo).

Las recomendaciones para la protección catódica de tuberías en condiciones de corrosión se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Recomendaciones para la protección catódica de las tuberías

CONDICIÓN	CRITERIO	RECOMENDACIÓN
Electrólisis por corrientes aisladas	Descarga prolongada de corriente directa	Aplicar protección catódica.
Conexiones con tuberías de acero o de hierro dúctil	No hay mortero de recubrimiento	Aislar eléctricamente las tuberías conectadas.
Instalaciones subacuáticas	Inmersión continua en agua fresca o agua marina	Soldar las uniones y llenar los espacios entre uniones con mortero antes de sumergir la tubería.

6.2.3.3.1 Criterios de diseño de la protección catódica

La tubería debe estar libre de ralladuras, golpes, cambios de espesor en el encintado y grietas, ya que en estos sitios se concentra exponencialmente el proceso de corrosión actuando cada uno de ellos como ánodos. Se debe tener en cuenta el método CIPRA descrito anteriormente para obtener las propiedades del suelo (electrolito) y un factor de seguridad cuando las condiciones del suelo sean las más críticas.

Se debe tener en cuenta que los valores de protección que se encuentran por encima de los especificados para cada tipo de material aislante o recubrimiento (sobrepotección) ocurre el fenómeno de ampollamiento del mismo por el ataque en medio básico, y formación de hidrógeno que hace fallar prematuramente al recubrimiento. Por consiguiente se debe tener en cuenta los grados de potencial de la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de protección

Celdas de medición	Grado de potencial
Ag-AgCl (plata - cloruro de plata)	-0.80 V
Cu-Cu ₂ O (cobre sulfato de cobre)	-0.85 V
H/H ₂ (Calomelo o Hidrogeno)	-0.77 V
Zn puro (zinc)	+0.25V

NOTA: Se recomienda utilizar para los análisis de eficiencia o pruebas de la protección catódica las celdas de Cobre-Sulfato de Cobre.

Se debe tener en cuenta los criterios de diseño de un sistema de protección catódica descritos a continuación:

a. Criterios de la densidad de corriente: Se debe estabilizar los valores de corriente por unidad de área adecuada para proteger el medio corrosivo, por consiguiente la corriente requerida de la superficie desnuda debe ser entre 1 y 25 mA por 0.1 m².

b. Criterio de la Tensión Estructura —Electrolito: Las medidas se deben realizar por medio de un voltímetro y el electrodo de referencia y verificar la protección de la estructura, este grado de potencial debe ser de -850 mV, o potenciales más negativos con respecto a la celda de medición (cobre-sulfato de cobre).

6.2.3.3.2 Tipos de protección catódica

Los sistemas de protección catódica pueden ser por ánodos de sacrificio o por corrientes impresas como se indica a continuación:

▪ Protección catódica por ánodos de sacrificio

Este sistema debe utilizarse cuando existan resistividades relativamente bajas, problemas de interferencia con otras estructuras, lugares de difícil acceso a corriente (energía eléctrica) y estructuras aéreas.

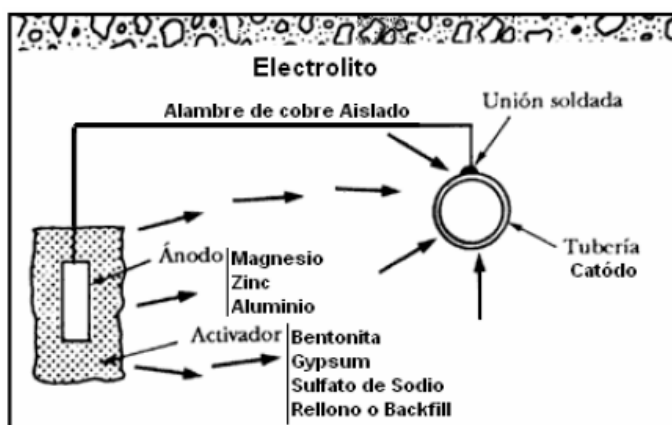
Los ánodos de sacrificio deben tener capacidad de disolución negativa para polarizar la estructura, comprendida entre -0.95 V y -1.7 V, corriente suficientemente elevada por unidad de peso del material consumido, buen comportamiento de polarización anódica a través del tiempo. Los ánodos de sacrificio pueden ser de Magnesio, Zinc o Aluminio.

Magnesio: Se debe utilizar en tuberías metálicas enterradas en suelo de resistividad hasta 3000 ohm-cm (ASTM B-843).

Zinc: Para tuberías metálicas inmersas en agua o en suelo con resistividad eléctrica de hasta 1000 ohm cm
Aluminio: Para tuberías inmersas en agua.

Para este sistema se requiere una conexión del ánodo al cable principal, tornillo Bundy (conexión cable principal ánodo), Alambre de Cu # 12 AWG y una soldadura Cadweld. En la Figura 1 se muestra el esquema de los componentes del sistema.

Figura 1. Sistema de protección catódica por ánodos de sacrificio.



La vida útil del ánodo depende del material y del peso y se determina mediante la siguiente ecuación

$$V = CxPxRx^{0.85}/I$$

Donde:

V = Vida útil del ánodo (años).

C = Capacidad de corriente en A-año/kg.

P = Peso de ánodo en kg.

R = Rendimiento en %.

I = Entrega de corriente del ánodo en (A).

En la Tabla 9 se encuentran las propiedades de los ánodos

Tabla 9. Propiedades de los ánodos

Metal del Ánodo	Capacidad corriente teórica (A-año/kg)	Rendimiento %
Zinc	0.094	95
Aluminio	0.340	90
Magnesio	0.251	50

$$A = f\pi DL$$

Donde:

f = Porcentaje de área desnuda (15 a 20% del área total recubierta según recomendación de las normas NACE).

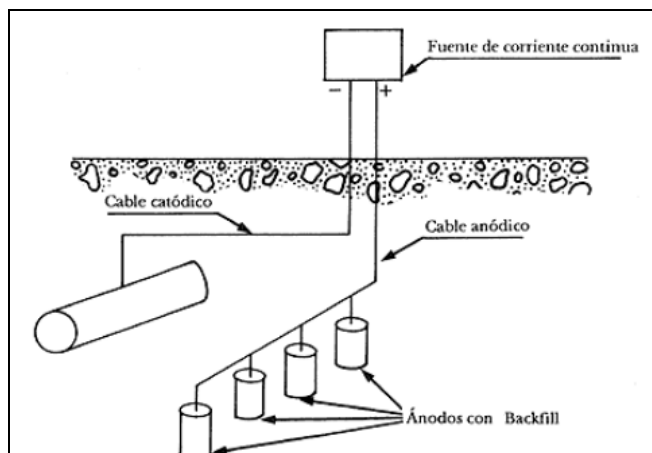
D = Diámetro exterior de la tubería en m.

L = Longitud de la tubería en m. El relleno (backfill) del ánodo debe estar compuesto por 75% de yeso, 20% de bentonita y 5% de sulfato de sodio.

▪ **Sistemas de Protección catódica por Corrientes Impresas**

Este sistema debe utilizarse cuando existan resistividades altas, áreas grandes a proteger y fuentes de energía cercana. En la Figura 2 se muestran los componentes del sistema de protección:

Figura 2. Sistemas de Protección catódica por Corrientes Impresas



6.2.3.3.3 Requisitos mínimos para equipos de medición del sistema de protección catódica

El sistema completo de Protección Catódica comprende unidades rectificadoras, ánodos y electrodos de referencia y gabinetes de medida y control.

▪ Unidades Rectificadoras

Las unidades rectificadoras deben cumplir los requerimientos de la norma NEMA MR-20, "Unidades Rectificadoras para Protección Catódica", rectificadores trifásicos de 6 pulsos.

La unidad rectificadora para conexión a la fuente de alimentación de Corriente Alterna debe tener un transformador trifásico, tipo seco, aislamiento clase H, autorefrigerado, con devanado primario y secundario independiente para aislar galvánicamente la alimentación del rectificador de la red de alimentación y cambiar el voltaje primario al nivel requerido para obtener el voltaje D.C, deseado para una tensión primaria de $208 + 10\% 60V + 3\% Hz$, con tapas para graduación fina y amplia en el devanado secundario.

La regulación de voltaje del transformador de la unidad rectificadora debe ser del 3% entre plena carga y 4 de la carga normal, cuando es medido de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma NEMA MR-20.

Los elementos rectificadores de la unidad deben ser diodos de silicio, los cuales deben tener el rango (RATED) adecuado para proveer margen suficiente para las ondas de sobretensión y sobrecorriente.

La unidad rectificadora debe estar equipada con un interruptor (Circuit Breaker) termo-magnético tripolar, el cual debe sostener el 100% y permitir una regulación 101% y 125% de la carga; El interruptor debe ser del tipo industrial y de reposición manual.

La unidad rectificadora debe tener pararrayos en el lado de A.C. y en el lado de D.C, y debe ser capaz de suministrar la potencia de salida continuamente, a plena carga y a una temperatura ambiente de 50°C.

La salida a plena carga D.C. debe obtenerse con un valor de voltaje de entrada 5% por debajo del valor nominal; un valor continuo de voltaje de entrada 10% por encima del valor nominal no deberá dañar el transformador de alimentación.

Los aparatos de medida de la unidad rectificadora, voltímetro y amperímetro, deben tener una precisión de 1% del total de la escala.

La unidad rectificadora debe tener un cerramiento tipo NEMA 4x en acero inoxidable. El gabinete debe ser del tipo para montaje en poste o pared. Para la instalación de las conexiones a la tubería enterrada se deben tener en cuenta las recomendaciones de la norma “NCO-SE-DA-005 Instalación de tuberías y accesorios en zanja abierta para redes de Acueducto” de EMCALI EICE ESP.

Toda la tornillería y accesorios de la unidad rectificadora que se utilicen para las conexiones eléctricas deben ser estañadas, plateada, o utilizar herrajes de instalación o grapas para una mejor conductividad eléctrica y para resistir la corrosión atmosférica.

- **Ánodos y Electroodos de referencia**

Los ánodos y electrodos permanentes de referencia deben ser aptos para usarlos enterrados, y tener un diseño que asegure como mínimo 20 años de vida útil. Los materiales, dimensiones y cantidad de ánodos y electrodos serán los establecidos en el diseño aprobado por EMCALI EICE ESP.

Se deben entregar los certificados de pruebas de calidad de todos los equipos y materiales antes de proceder a su instalación.

- **Gabinetes de Medida y Control**

Los gabinetes de medida y control deben tener un cerramiento tipo NEMA 4x en acero inoxidable. El gabinete debe ser del tipo para montaje en poste o pared. Se deben proveer gabinetes de medida y de control del potencial, de la intensidad o de la resistencia de la corriente, en sitios adecuados y suficientes, con el propósito de facilitar la medición y el control de los efectos relacionados con la Protección Catódica. Los Gabinetes deben colocarse por lo menos, pero no limitarse en:

- Encamisado de tuberías.
- Uniones aisladas.
- Cruce de ríos o canales.
- Cruce de puentes.
- Estaciones de válvulas.
- Cruce o aproximación de otras estructuras metálicas energizadas o no, que pudieran tener influencia sobre el sistema.
- Instalación de ánodos de sacrificio o corrientes impresas.
- Interferencia con redes de comunicación o transmisión de datos (fibra óptica).
- Interferencia con redes subterráneas de media o alta tensión.
- Otros sistemas de protección catódica.

- **Piezas para aislamiento eléctrico**

Estas piezas pueden ser de tres tipos:

- Bridas
- Uniones Dresser
- Accesorios monolíticos de aislamiento eléctrico.

Las cajas que contengan elementos de aislamiento eléctrico deben ser herméticas y deben ser inspeccionadas cada 6 meses de acuerdo con las recomendaciones NACE estándar RP-0169 o con lo que estipule EMCALI EICE ESP.

- **Instalación**

El arreglo de los ánodos y electrodos dependen de la disponibilidad del área que se tenga en el sitio elegido para su instalación, se debe ceñir a lo estipulado en los planos aprobados por EMCALI EICE ESP. Antes de conectar el sistema se debe medir el potencial de la tubería en los puntos indicados con estaciones de prueba.

Las unidades rectificadoras deben ser instaladas con provisiones tales que se eviten las posibilidades de deterioro por la acción del tiempo, por accidentes causados por vehículos, o por equipos distintos de la tubería o por actos de vandalismo.

Todos los equipos, accesorios y demás elementos se deben instalar en la forma indicada en los planos aprobados por EMCALI EICE ESP. Antes de proceder a la instalación del sistema de Protección Catódica, se someterán a consideraciones de EMCALI EICE ESP, para su aprobación, los métodos, procedimientos y equipos con su marca, tipo, modelo y serie que se utilizarán para el montaje del sistema.

Después de la instalación del sistema y durante por lo menos 30 días, se debe revisar la evolución de los potenciales para controlar así el efecto de la polarización. Todos los potenciales tomados deben registrarse y quedar incluidos en el informe final de instalación del sistema de Protección Catódica. En el informe de instalación se debe relacionar la marca, tipo, modelo y serie de los equipos de medición.

6.2.3.3.4 Requisitos para presentación de los diseños de protección catódica de tuberías de acero a EMCALI EICE ESP.

El Consultor debe entregar como mínimo los siguientes documentos que respalden el diseño del sistema de protección catódica de tuberías en acero:

Las memorias de cálculo con el siguiente contenido:

1. Resultados del estudio del trazado de la conducción.
2. Análisis de costos y financiero.
3. Perfil de resistividad del terreno a lo largo del trazado de la conducción.
4. Resultados del análisis químico del suelo o del relleno que se va utilizar en las zanjas.
5. Selección del sistema de protección catódica.

6. Cálculo y diseño de las camas anódicas y rectificadores.

7. Localización y diseño de los gabinetes de prueba y de rectificadores en caso de requerirse para medición de potencial y corriente, debidamente georeferenciados.

8. Lista de equipos requeridos para el sistema de protección catódica de tubería diseñado. 9. Manuales de operación y mantenimiento del sistema de Protección Catódica de la conducción.

Planos en medio físico y magnético debidamente georeferenciados, según los formatos establecidos por EMCALI EICE ESP, con el siguiente contenido:

a. Plano general de la conducción en donde se debe mostrar la localización de las camas anódicas, unidades rectificadoras, gabinetes de medida y control, sectores del terreno especialmente agresivos, y todos los accidentes como cruces, interferencias, pasos bajo avenidas, líneas de alta tensión, sistemas de corriente continua, para transporte o de cualquier otra índole, cajas de semáforos, teléfonos, de energía y cualquier otro accidente o sistema de energía existente que pueda afectar la eficiencia del sistema de Protección Catódica.

b. Planos de detalle para la fabricación de gabinetes de prueba para medición de potencial y corriente. El Consultor debe asumir la responsabilidad total del diseño del sistema de protección catódica realizado cuando sea realizado para EMCALI EICE ESP.

6.3 PROTECCIÓN DE TUBERÍAS DE LA ACCIÓN DE CARGAS VIVAS

6.3.1 Generalidades

Cuando la distancia entre la rasante final de la vía y la clave externa de la tubería es menor de la distancia mínima requerida, definida en la norma de EMCALI EICE ESP “NDI-SE-AA-016 Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado”, y dependiendo de las cargas actuantes y del tipo de suelo encontrado en el sitio., se debe construir un cárcamo de protección de la tubería contra la acción de cargas vivas según indicaciones del Anexo 1, Anexo 2 y Anexo 3.

6.3.2 Cárcamos

En la Tabla 10 se encuentran los tipos de cárcamo recomendados para la protección de las tuberías contra la acción de las cargas vivas que actúen sobre ellas.

Tabla 10. Tipos de Cárcamos

Tipo de Cárcamo	Material	Usos	Observaciones
1. Cárcamos típicos para tuberías de diferente diámetro.	Concreto reforzado	Aplicado para redes de acueducto o alcantarillado existentes, que requieran protección de cárcamo	Anexo 1: Cárcamo compuesto por dos muros laterales y una tapa superior. Debe ser utilizado para tuberías de acueducto con altura a clave $0.30 < h \leq 0.80$. Anexo 2: Cárcamo compuesto por dos muros laterales y una tapa superior. Los muros constan de vástago con zarpa para dar estabilidad al volcamiento y deslizamiento. Debe ser utilizado para tuberías de acueducto y alcantarillado con altura a clave $h \leq 0.30$.
2. Cárcamos típicos para tuberías de concreto	Concreto simple o Concreto reforzado	Aplicado para redes de alcantarillado que requieran protección de cárcamo.	Anexo 3: Cárcamo en concreto simple para tuberías de alcantarillado en concreto para $0.4 \leq h \leq 0.8$. Anexo 3: Cárcamo en concreto reforzado para tuberías de alcantarillado en concreto para $h < 0.4$.

6.3.3 Tapa del Cárcamo

La tapa del cárcamo debe ser de concreto reforzado según anexos 1 y 2. Con concreto de resistencia a la compresión como mínimo $f'c = 21 \text{ Mpa}$ (210 kg/cm^2), debe cumplir con los requisitos de la norma de EMCALI EICE ESP “NCO-PM-AA-004 Concretos y Morteros

El acero de refuerzo debe cumplir con los requisitos de la Normas Colombianas de Diseño Sismo - Resistente NSR-10, Título C “Concreto Estructural”.

6.3.4 Requisitos para la presentación a EMCALI EICE ESP de los diseños de protección de tuberías.

El Consultor debe entregar como mínimo los siguientes documentos que respaldan el diseño de protección de tubería:

Las memorias con el siguiente contenido:

- Análisis de resultados de los estudios geotécnicos, realizados según la norma de EMCALI EICE ESP “NDC-SE-GE-001 Requisitos para la elaboración y presentación de estudios geotécnicos”.
- Análisis químico y sustentación de las características de aguas subterráneas en el trazado de la tubería.
- Evaluación de cargas vivas.
- Los cálculos.
- Análisis de costos y financiero.
- Definición de los tramos del trazado de tubería donde se requiere la protección y el tipo de protección.

NOTA: Los puntos 1 y 2 deben contener las formulaciones y definiciones de cada uno de los parámetros utilizados, con conclusiones del grado de agresividad del suelo y de aguas subterráneas.

Planos en medios físico y magnético, según los formatos establecidos por la norma de EMCALI EICE - ESP "NCO-SE-AA-003 Requisitos para la elaboración y entrega de planos de obra construida de redes de acueducto y alcantarillado", con el siguiente contenido:

1. Localización general del proyecto con indicación de los tramos donde se requiere la protección de tubería, diámetros de tubería y el tipo de protección propuesto.
2. Si el esquema del cárcamo mencionado en esta norma se aplica totalmente, se debe hacer referencia a la presente norma.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Sistema de Normas Técnicas de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (SISTEC), 2006.

Normas de Diseño y Construcción de Acueducto y Alcantarillado de Empresas Municipales de Cali, 1999.

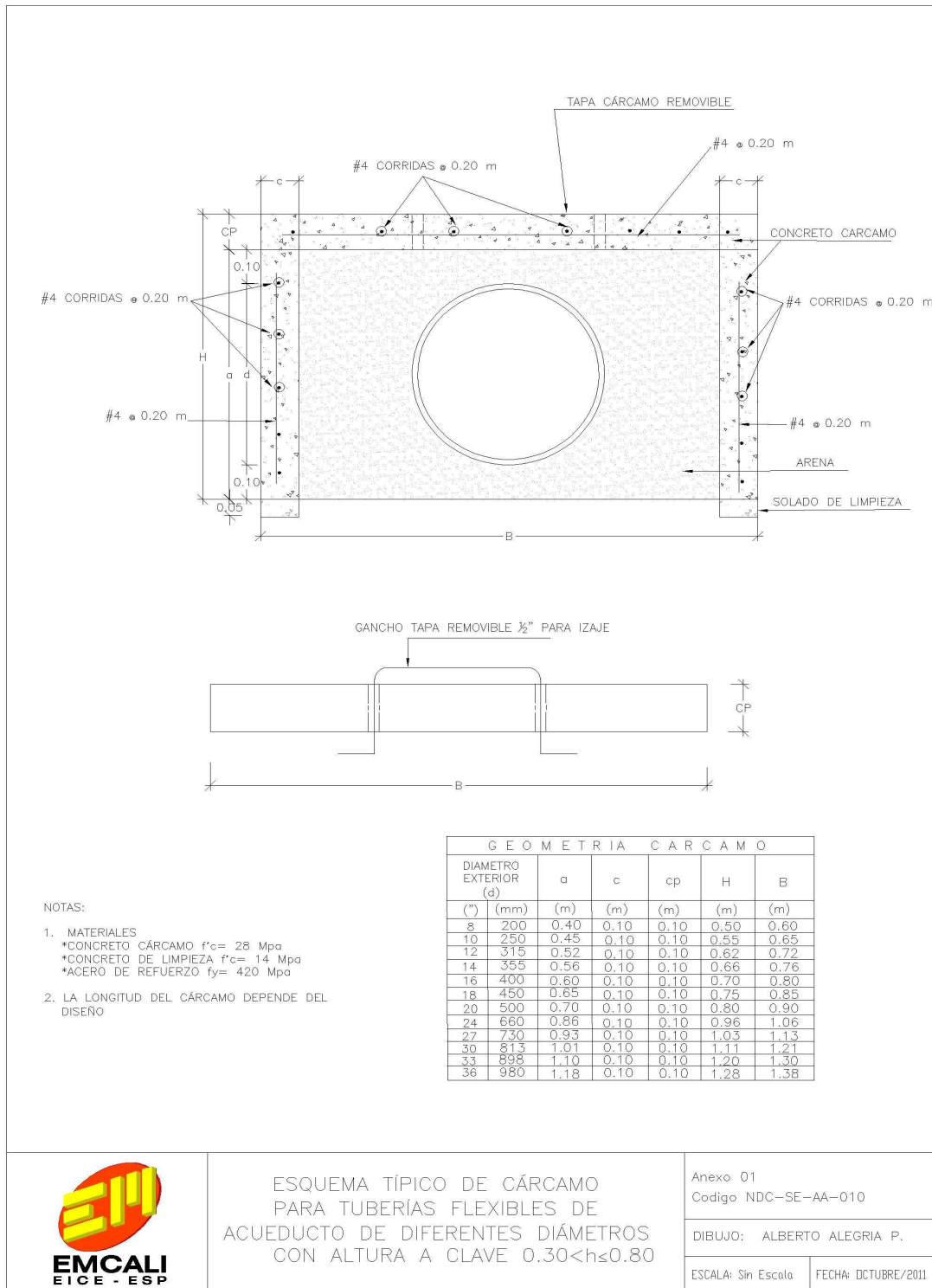
Normas de Acueducto y Alcantarillado de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2006.

Normas de Acueducto y Alcantarillado de Aguas de Cartagena S.A. ESP, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Cartagena, 2005.

Normas de Diseño de Acueducto y Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín (EPM) ,2006.

8. ANEXOS

Anexo 1. Esquema típico de cárcamo para tuberías flexibles de acueducto de diferentes diámetros con altura a clave $0.30 < h \leq 0.80$



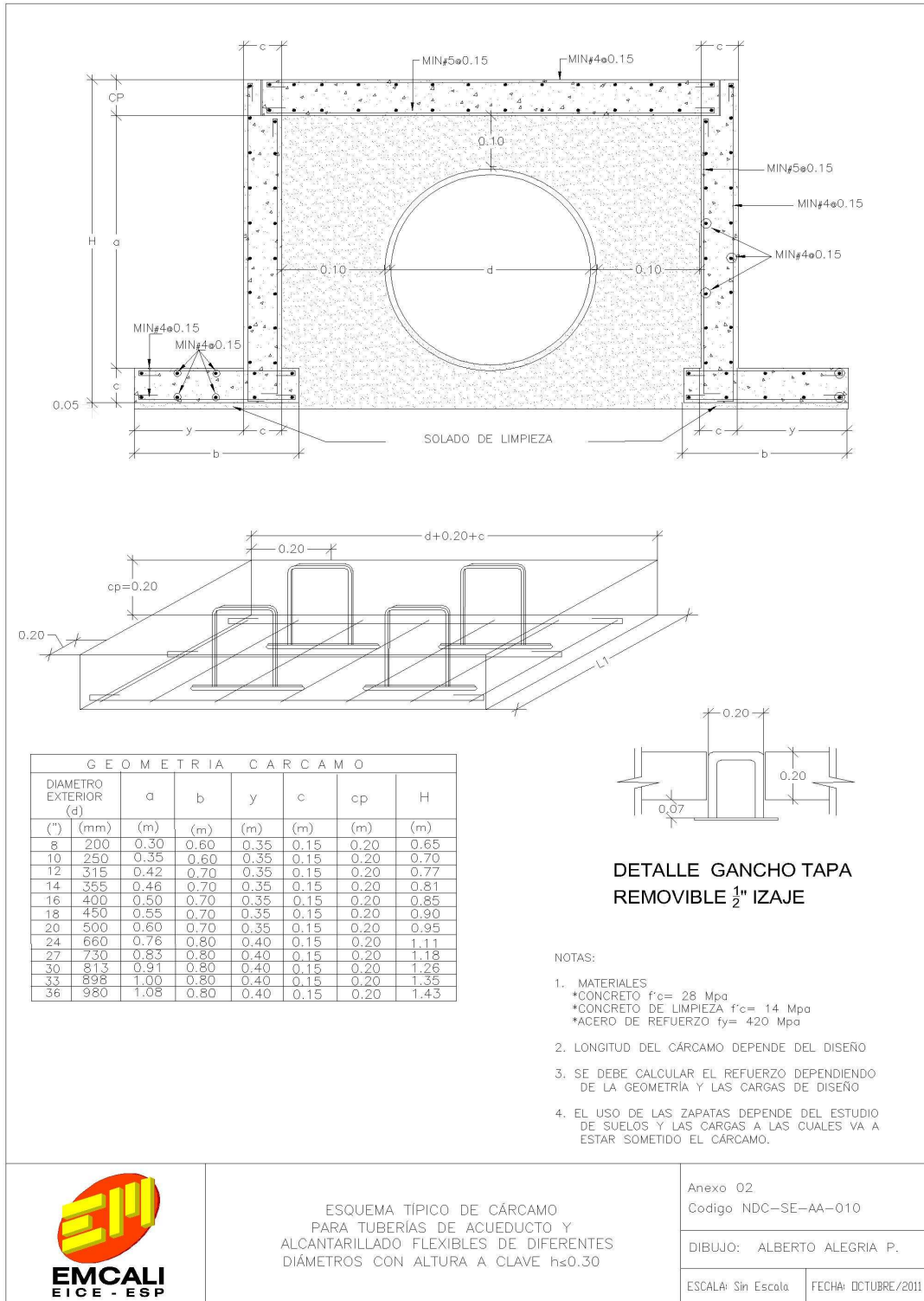
ESQUEMA TÍPICO DE CÁRCAMO PARA TUBERÍAS FLEXIBLES DE ACUEDUCTO DE DIFERENTES DIÁMETROS CON ALTURA A CLAVE $0.30 < h \leq 0.80$

Anexo 01
Codigo NDC-SE-AA-010

DIBUJO: ALBERTO ALEGRIA P.

ESCALA: Sin Escala FECHA: OCTUBRE/2011

Anexo 2. Esquema típico de cárcamo para tubería de acueducto y alcantarillado flexibles de diferentes diámetros con altura a clave $h \leq 0.30$



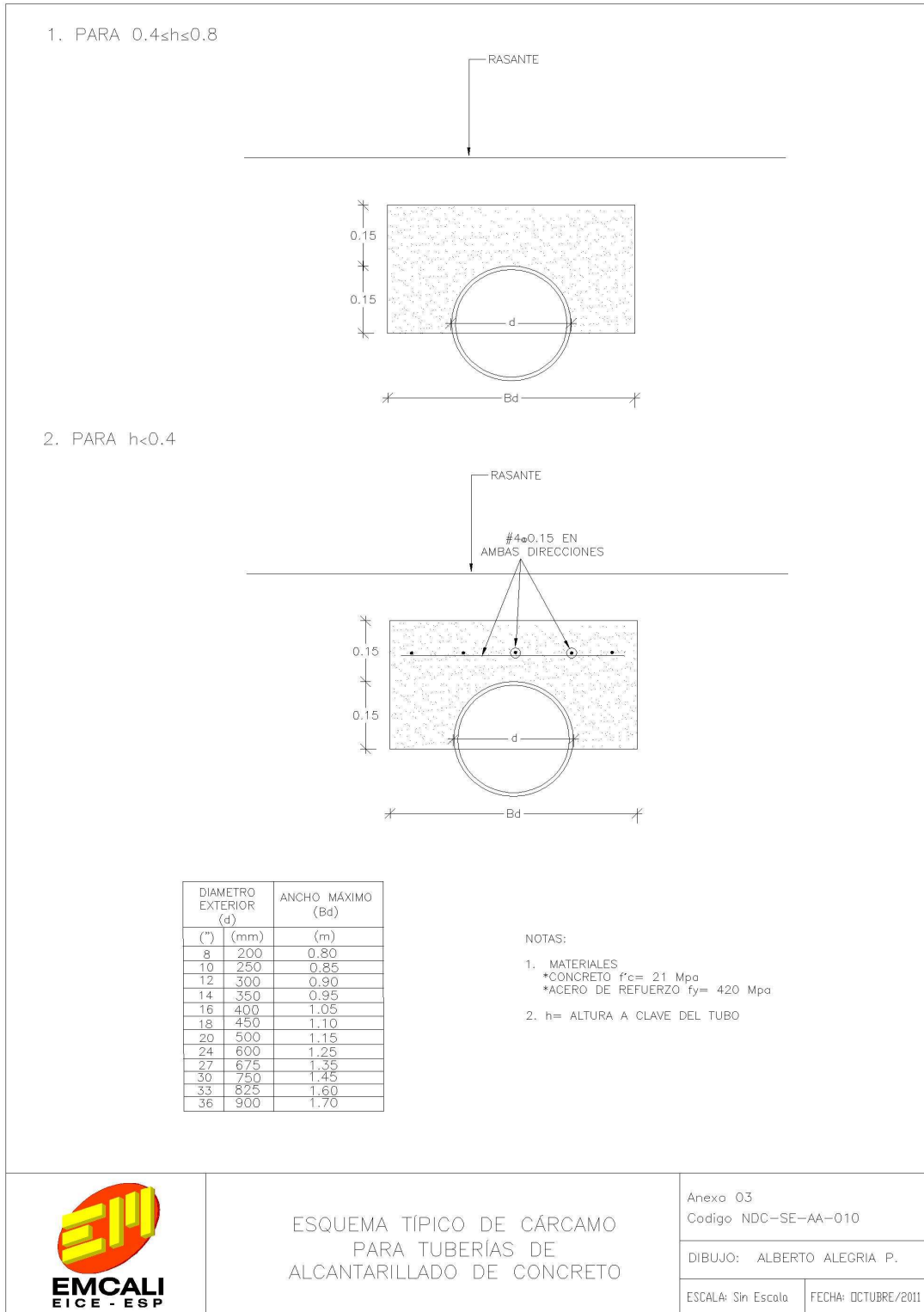
ESQUEMA TÍPICO DE CÁRCAMO PARA TUBERÍAS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO FLEXIBLES DE DIFERENTES DIÁMETROS CON ALTURA A CLAVE $h \leq 0.30$

Anexo 02
Codigo NDC-SE-AA-010

DIBUJO: ALBERTO ALEGRIA P.

ESCALA: Sin Escala FECHA: OCTUBRE/2011

Anexo 3. Esquema típico de cárcamo para tubería de alcantarillado de concreto



ESQUEMA TÍPICO DE CÁRCAMO PARA TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO DE CONCRETO

Anexo 03
Codigo NDC-SE-AA-010

DIBUJO: ALBERTO ALEGRIA P.

ESCALA: Sin Escala

FECHA: OCTUBRE/2011