





|   |   |   |               |            |                |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br>1-02-25400-514-2006  | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 1 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 1 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                |  |                   |  |
| PAGINA 1 de 66  |   |   |               |            |                |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                |  |                   |  |

## CONTENIDO



|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCION .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2. DESCRIPCIÓN DEL FENOMENO DE INTERFERENCIAS .....</b>                     | <b>4</b>  |
| 2.1 Marco teórico – Fundamentos técnicos .....                                 | 4         |
| 2.2 Interferencias en corriente continua DC .....                              | 5         |
| 2.3 Interferencias en corriente alterna AC .....                               | 9         |
| <b>3 ESTUDIOS E INTERERENCIAS.....</b>   | <b>18</b> |
| 3.1 Descripción del fenómeno de Interferencias .....                           | 18        |
| 3.2 Memorias de cálculo .....  | 18        |
| 3.3.Cálculo de voltajes de Paso y de Toque .....                               | 32        |
| 3.4.Control de voltajes Inducidos AC y voltajes de Paso y Toque .....          | 34        |
| <b>4. ESTUDIOS E INVESTIGACIONES DE CAMPO .....</b>                            | <b>39</b> |
| 4.1 Medidas de resistividad del suelo en sectores de Líneas Alto Voltaje ..... | 39        |
| 4.2 Medidas de Potencial en DC (P/S) y Voltajes Inducidos AC .....             | 40        |
| 4.3 Interferencias con la Red de Gas Natural.....                              | 43        |
| 4.4 Interferencias con las tuberías de la Red Matriz de la EAAB .....          | 44        |
| 4.5 Interferencias con las tuberías del Poliducto y Jetducto de Ecopetrol..... | 44        |
| 4.6 Interferencias en sectores de paralelismo con líneas de alto Voltaje ..... | 44        |
| <b>5 ANTECEDENTES Y CONSECUCIÓN DE INFORMACIÓN .....</b>                       | <b>46</b> |
| 5.1.Estudios previos .....   | 46        |
| 5.2.Características de la línea .....  | 46        |
| 5.3.Consecución de Información .....   | 49        |
| <b>6. PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE INTERFERENCIAS .....</b>                | <b>50</b> |
| <b>7 NORMAS DE REFERENCIA Y BIBLIOGRAFÍA .....</b>                             | <b>52</b> |
| <b>8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES.....</b>                         | <b>53</b> |
| 8.1.Generalidades .....  | 53        |
| 8.2.Ánodos de Zinc.....  | 53        |
| 8.3.Cinta de Zinc (Zinc Ribbon Anode).....                                     | 53        |
| 8.4.Backfill (relleno) para los ánodos de Zinc.....                            | 54        |
| 8.5.Cables Eléctricos .....  | 54        |
| 8.6.Estaciones de prueba .....   | 54        |
| 8.7.Soldadura exotérmica.....  | 55        |
| 8.8.Electrodos de referencia de cobre- sulfato de cobre .....                  | 55        |
| 8.9.Conexiones aisladas.....   | 55        |
| 8.10.Reparación del revestimiento .....  | 55        |
| 8.11.Piedra triturada .....  | 56        |
| 8.12.Certificados de calidad .....   | 56        |
| <b>9.ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTALACIÓN .....</b>                        | <b>57</b> |
| 9.1.Instalación de ánodos de Zinc.....   | 57        |

|   |   |   |               |            |                |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> |   |               |            |                |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b><br><table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 2 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 2 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                |  |                   |  |
| PAGINA 2 de 66  |   |   |               |            |                |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                |  |                   |  |

|  |           |
|--|-----------|
| 9.2.Instalación de la cinta de Zinc (Zinc Ribbon).....   | 58        |
| 9.3.Instalación de cable de cobre AWG No. 12 THWN ó HMWPE .....  | 59        |
| 9.4.Aplicación de la soldadura de cables a la tubería .....  | 60        |
| 9.5.Instalación de Estaciones de prueba.....   | 61        |
| 9.6.Instalación conexión aislada (91-B1) cable – cable.....  | 62        |
| 9.7.Electrodos de referencia de cobre-Sulfato de cobre .....   | 63        |
| 9.8.Piedra triturada .....   | 64        |
| 9.9.Entrega de las Instalaciones.....  | 64        |
| 9.10.Recomendaciones para monitoreo de los tramos 1, 2 y 3 de la tubería y seguimiento de las interferencias. .... | 64        |
| <b>10. CONCLUSIONES.....</b>   | <b>65</b> |
| <b>11. PRESUPUESTO PARA INSTALACIÓN DE CONTROL Y MITIGACION DE INTERFERENCIAS.....</b>                             | <b>66</b> |

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo No. 1. Cantidades de obra, presupuesto y análisis de precios unitarios
- Anexo No. 2. Gráficas para cálculo y diseño  
(Figuras 2.8, 3.16, 3.17, A 50, A 54, A 114 y A 118) de EPRI “Electric Power Research Institute”
- Anexo No. 3. Planos



|   |   |  |               |            |                |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 3 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 3 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                |  |                   |  |
| PAGINA 3 de 66  |   |  |               |            |                |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                |  |                   |  |

## 1. INTRODUCCION

Este estudio tiene por objeto determinar (evaluar) la afectación en la tubería de Tibitoc, que comparte un corredor común con las líneas de transmisión de Alto Voltaje de 57.5 y 115 kilovatios (HVAC) de la empresa Codensa, así como el desarrollo del diseño para controlar y mitigar los daños que pueden ocurrir en la tubería por causa de dichas interferencias que se presentan en los tramos 1, 2 y 3 de la tubería.

El alcance del estudio de corrosión comprende las siguientes actividades:

- Descripción del fenómeno de Interferencias
- Investigaciones de campo tendientes a establecer la resistividad eléctrica del suelo. Toma de potenciales eléctricos de la tubería al suelo (P/S) medidos en los accesorios de la tubería.
- Medida de resistividad del suelo complementarias.
- Medidas de potencial (P/S) de la tubería.
- Investigación de Interferencias que se presentan con sistemas de Protección Catódica (corriente continua DC) y en corriente alterna AC.
- Antecedentes y consecución de información con y Gas Natural, Ecopetrol y Codensa
- Cálculos de los Voltajes inducidos AC sobre la tubería.
- Cálculos de Voltajes de Toque y de Paso.
- Cálculos para el control y mitigación de las Interferencias en AC y DC
- Procedimientos para el control y mitigación de las Interferencias
- Localización de los cruces y paralelismos con otras tuberías
- Localización y longitudes de paralelismos con líneas de alto voltaje AC
- Localización de estaciones de monitoreo.
- Dibujos de detalles de estaciones de monitoreo y control de interferencia
- Especificaciones técnicas de materiales
- Especificaciones de Instalación materiales
- Cantidad de obra y presupuesto

|   |   |  |               |            |                |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 4 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 4 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                |  |                   |  |
| PAGINA 4 de 66  |   |  |               |            |                |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                |  |                   |  |

## 2. DESCRIPCIÓN DEL FENOMENO DE INTERFERENCIAS

### 2.1 Marco teórico – Fundamentos técnicos

La corrosión, desde una consideración termodinámica es el deterioro de un material, que resulta de una reacción con su medio ambiente. Para un metal en contacto con una solución acuosa, la reacción es electroquímica y envuelve la transferencia de cargas eléctricas (electrones) a través de la interfase metal/solución.

Una Interferencia se define como cualquier perturbación eléctrica detectable en una estructura, causada por una corriente errante. Una corriente errante se define como una corriente en una trayectoria sin destino.

Muchos sistemas eléctricos dependen de la tierra como un medio de conducción, para las líneas de transmisión de energía eléctrica lo mismo que para sistemas de protección catódica. Aún así, otros como pueden ser los sistemas de tránsito electrificados que no son adecuadamente aislados de tierra. Cualquier sistema eléctrico en contacto con la tierra es una fuente posible de corrientes extraviadas.




Una interferencia eléctrica es cualquier alteración eléctrica en una estructura metálica en contacto con un electrolito, causada por corrientes extrañas (errantes) “stray currents”; se considera como una corriente errante, cualquier corriente que circula en una trayectoria indeterminada y generada por un sistema de protección catódica u otros sistemas de corriente continua.

Las estructuras metálicas enterradas están sujetas a las corrientes extrañas, típicamente estas corrientes entran a la estructura, circulan a lo largo de esta y descargan a la tierra; la corrosión se produce en los sitios donde la corriente sale de la estructura y descarga a la tierra (electrolito).

La corriente extraña es recogida por la estructura metálica cuando esta es impactada por el gradiente de voltaje de una cama anódica. Si no hay un camino electrónico directo entre la estructura foránea y la tubería, la corriente será descargada de la estructura metálica.

La cantidad de corriente extraviada en la estructura metálica es una función de la resistencia de los caminos de la corriente extraviada y de la salida del drenaje de voltaje en la localización donde el gradiente de voltaje anódico intercepta la estructura metálica foránea.

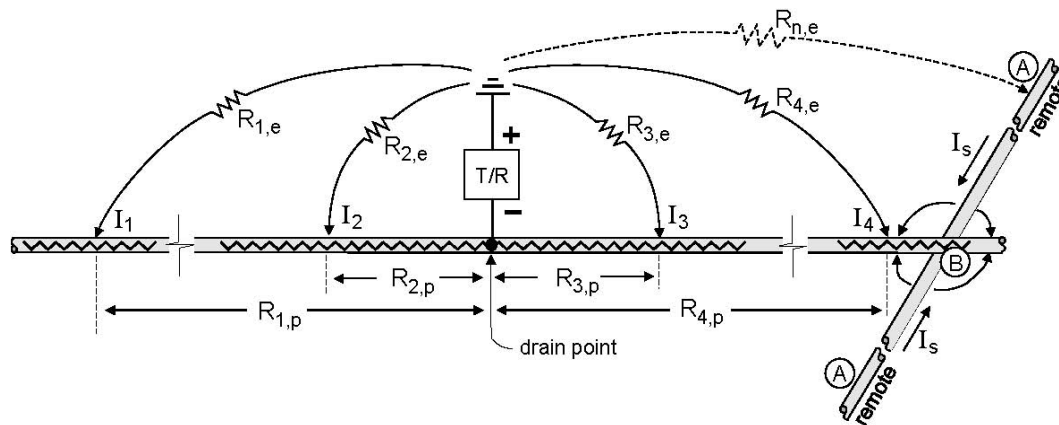
**Efectos.-** Los efectos de las corrientes errantes en las estructuras metálicas pueden ser daños o no afectaciones, dependiendo de la magnitud de la densidad de corriente y de la localización de los picos de corriente y las áreas de descarga.

|   |   |  |               |            |                |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 5 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 5 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                |  |                   |  |
| PAGINA 5 de 66  |   |  |               |            |                |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                |  |                   |  |

El peso del metal que se pierde por la corrosión es proporcional a la cantidad de corriente eléctrica que se intercambia entre el metal y el electrolito (tierra), la que involucra la oxidación del metal de acuerdo a la ley de Faraday; la pérdida de material en el caso del acero es de 16 libras por amperio por año aproximadamente.

## 2.2 Interferencias en corriente continua DC

Una estructura metálica foránea puede estar sujeta a las corrientes errantes aún si esta solamente intercepta el gradiente de voltaje de protección catódica como se muestra en la figura 1.





**Figure 3-12: Stray Current in a Foreign Metallic Structure that Intercepts the Cathodic Protection Gradient**

Figura 1. La corriente errante en una estructura metálica foránea que intercepta el gradiente de protección catódica

### 2.2.1 Mitigación de los efectos de las Interferencias de Sistemas de protección Catódica de corriente impresa

Varios métodos pueden ser utilizados para disminuir los efectos perjudiciales de las corrientes extraviadas de los sistemas de Protección Catódica, los que se describen a continuación:

- Retirar la fuente o reducir su salida de corriente
- Instalar aislamientos eléctricos en la estructura interferida
- Instalar una pantalla metálica paralela enterrada a la estructura interferida, en la zona del pico de corriente de la corriente extraviada.
- Instalar protección catódica adicional en los sitios de descargas de corriente en la estructura interferida.

|   |   |  |               |            |                |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 6 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 6 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                |  |                   |  |
| PAGINA 6 de 66  |   |  |               |            |                |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                |  |                   |  |

- Instalar uniones puentes (bond) eléctricos entre la estructura interferida y la estructura que está interfiriendo.

Antes de iniciar cualquier actividad de mitigación, es necesario efectuar pruebas del comportamiento en el sitio de la interferencia, haciendo la interrupción cíclica de la fuente (sistema de protección) que se sospecha y tomar medidas eléctricas, tanto en la tubería que está interfiriendo como en la interferida, en presencia de los representantes de las Empresas involucradas

Si se determina la necesidad de mitigación, las Empresas propietarias de las estructuras interferida y la que está interfiriendo, aceptan mutuamente las técnicas de mitigación a utilizar, dependiendo de la localización y severidad de la interferencia, en la prioridad operacional de la protección catódica de cada una de las partes y en lo relativo a los costos y mantenimiento de las opciones de mitigación.

#### **a)Trasladar la fuente o reducción de la corriente de la salida.**

El traslado de la fuente es una proposición difícil de hacer, si el sistema que está interfiriendo estaba instalado antes de ser instalada la estructura interferida. Sin embargo, la situación contraria, en la cual la fuente que está interfiriendo ha sido recientemente instalada, este método tiene un mayor atractivo.

Si la interferencia es causada en primer lugar por la proximidad de la estructura interferida a la cama anódica que está interfiriendo, esto no puede ser necesario para trasladar el rectificador; sino simplemente relocalizar la cama anódica o reducir la corriente de salida.



Reduciendo la corriente de salida de la fuente, es también una opción viable, puesto que están protegidas las dos tuberías y se evita el aumento de la potencia.

#### **b)Instalación de aislamientos**

La instalación de aislamientos eléctricos se utiliza como una medida de mitigación para aumentar la resistencia eléctrica de la estructura interferida y de esta forma disminuye la corriente extraviada. Pocas veces es adecuado como un método a ser utilizado.

#### **c) Instalación de ánodos galvánicos en el sitio de la descarga de la corriente ex - traviada.**

Se utiliza cuando el área de la descarga de la corriente extraviada es muy localizada, como en un cruce con la estructura que está interfiriendo y donde el total de la corriente extraña (Is) es típicamente menor de un amperio; la instalación de ánodos galvánicos de Magnesio y Zinc es de mucha utilidad para controlar estas corrientes. Ver figura 2.

|   |   |   |               |            |                |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> |   |               |            |                |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b><br><table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 7 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 7 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                |  |                   |  |
| PAGINA 7 de 66  |   |   |               |            |                |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                |  |                   |  |

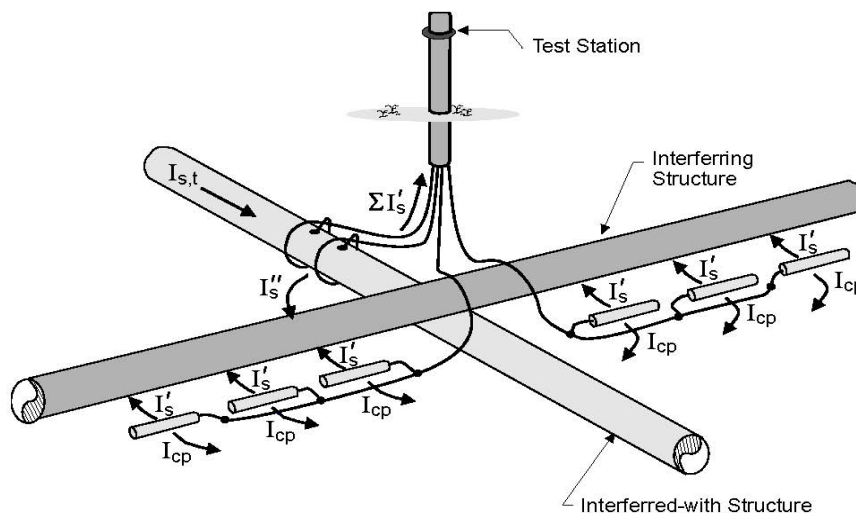
Los ánodos galvánicos se distribuyen al lado de la estructura que está interfiriendo para minimizar la resistencia de la trayectoria de la corriente extraviada ( $I'_s$ ), que es el mayor porcentaje del total de la corriente extraviada ( $I_{s,t}$ ). En el diseño de la vida útil de los ánodos galvánicos se debe tener en cuenta el consumo adicional de la componente del total de la corriente extraviada ( $I'_s$ ), el Contratista de la instalación debe efectuar esta cálculo de de acuerdo a la magnitud de la corriente medida.

Son varias las ventajas de este método:

- La estructura interferida puede sostener (conservar) la independencia de la protección catódica.
- La producción de corriente de protección del ánodo galvánico hace subir el nivel de protección en el cruce, ya que el aumento de corriente podría subir la corriente de interferencia ( $I_{s,t}$ ).
- Las necesidades de mantenimiento son económicas comparadas con la unión puente (bond) eléctrico.




Son varias las desventajas:

- Es relativamente costoso comparada con la unión puente (bond) eléctrico.
- La capacidad de mitigar la corriente de interferencia es limitada.
- Para mitigar corrientes de interferencia grandes, se puede utilizar un sistema de corrientes impresa con el punto de drenaje en el cruce, pero con la cama anódica instalada remota de ambos sistemas de las estructuras.



**Interference Mitigation using Galvanic Anodes at Stray Current Discharge Location**

Figura 2. Mitigación de la interferencia utilizando ánodos galvánicos en la localización de la descarga de corriente

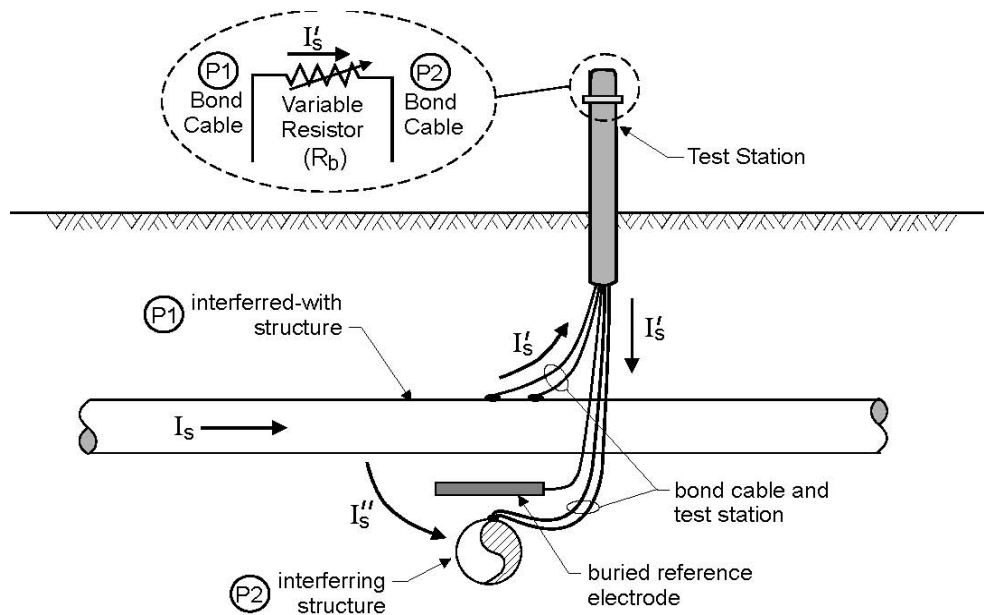
|   |   |   |               |            |                |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br><b>1-02-25400-514-2006</b>                                     | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 8 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 8 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                |  |                   |  |
| PAGINA 8 de 66  |   |   |               |            |                |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                |  |                   |  |

**d) Instalación de unión (bond) entre la estructura interferida y la que está interfiriendo**

El método de mitigación más común de corrientes extraviadas es la instalación de una unión puente (bond) eléctrico normalmente se instala una resistencia entre las dos estructuras y usualmente en el punto de la máxima descarga de corriente como en un cruce de estructuras. Ver figura 3.

El circuito eléctrico es similar al de los ánodos galvánicos, excepto que se reemplaza la unión con resistencia ( $R_b$ ) por la resistencia del ánodo galvánico en el circuito. La unión con resistencia se determina por el monitoreo de potencial de la estructura interferida, mientras se ajusta la resistencia hasta que la estructura interferida retorna a su criterio de protección catódica o al potencial natural en una estructura que no tiene protección catódica.



Una unión de resistencia (bond) no elimina toda la corriente de descarga en el cruce, como ahí hay una corriente residual de descarga ( $I_s''$ ) la cual debe ser contrarrestada por el sistema de protección catódica de la estructura interferida.



**Figure 3-29: Interference Mitigation Using a Resistance Bond**

**Figura 3. Mitigación de interferencia utilizando una unión de resistencia**



|   |   |  |               |            |                |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 9 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 9 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                |  |                   |  |
| PAGINA 9 de 66  |   |  |               |            |                |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                |  |                   |  |

## 2.3 Interferencias en corriente alterna AC

### 2.3.1 Introducción

La energía eléctrica de una línea de potencia aérea puede ser transferida a una tubería por tres posibles mecanismos: por acoplamiento conductivo (durante condiciones de falla), por acoplamiento electromagnético o inductivo y por acoplamiento electrostático o capacitivo. Cómo cada uno de estos afecta a la tubería y cómo estos efectos se pueden pronosticar y mitigar se detallan a continuación.

Es importante tener en cuenta que para pronosticar los efectos de las interferencias en corriente alterna AC, es necesario utilizar las técnicas analíticas de EPRI. Los métodos empleados para estimar los efectos de algunos casos, pero la mayoría pueden ser resueltos utilizando bien sea técnicas analíticas como las de EPRI “Electric Power Research Institute” de (Power Line-Induced AC Potential on Pipelines for Rights-of-Way) o el software especializado como el de “Pipeline Research PRCI”

Una tubería puede experimentar una interferencia AC como resultado de estar cerca de una línea de potencia AC. No obstante, la gran mayoría de los problemas de interferencias son generados por los sistemas trifásicos de transmisión de potencia, ya que estos involucran altas corrientes (en estado estable y en condiciones de falla) y altos voltajes, y son más probables en tuberías paralelas para largas distancias.




### 2.3.2 Acoplamiento Conductivo debido a fallas

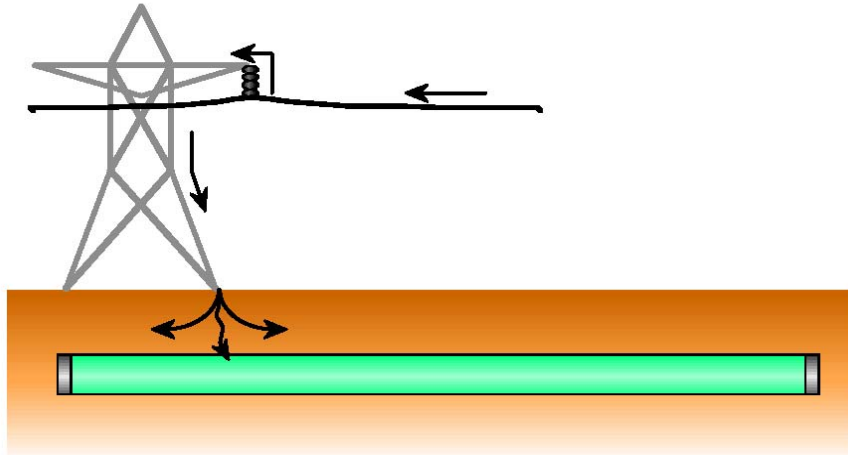
#### a. Descripción

El acoplamiento conductivo puede ocurrir cuando se presenta un corto circuito de una línea a tierra o una falla en la línea de potencia. En las líneas de alto voltaje las fallas son más probables a ocurrir como resultado de las descargas eléctricas, las que pueden ionizar el aire alrededor de los aisladores. También pueden ocurrir fallas como resultado de fallas en las estructuras o en las cadenas de aisladores. Ver figura 4

Bajo condiciones de falla, la corriente sale de la línea de potencia y retornará a su fuente, utilizando todos los caminos asequibles, incluyendo los cables de guarda, la tierra y las estructuras metálicas en el suelo, como las tuberías metálicas. La cantidad de corriente transferida a la tubería depende de la impedancia relativa de todos los caminos paralelos disponibles para la corriente de falla.

La corriente de falla es conducida a través del revestimiento de la tubería. A mayor calidad del revestimiento y a mayor resistencia dieléctrica del revestimiento, se transfiere menor cantidad de corriente a la tubería.

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 10 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 10 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 10 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |






**Figure 3-42: Conductive Coupling During Line-to-Ground Fault Conditions**

**Figura 4. Acoplamiento conductivo durante condiciones de falla de una línea a tierra**

#### **b. Efectos nocivos**

En las líneas de potencia las corrientes de falla son de mayor magnitud que en estado estable de operación, así el acoplamiento conductivo puede dar como resultado un voltaje muy alto en la tubería; sin embargo la cantidad de tiempo que estos voltajes permanecen en la tubería, está limitado a fracciones de segundo (típicamente 0.1 segundo), debido a los aparatos de protección del sistema de potencia. Aún así en estos cortos períodos de tiempo, grandes cantidades de energía pueden ser transferidas a la tubería, resultando en daños del revestimiento o aún en fallas en la tubería debido a fracturación de la pared del tubo.

Los altos voltajes en una tubería son el resultado del “*acoplamiento conductivo*” y representan un riesgo en la seguridad de las personas que operan los accesorios metálicos de la tubería. El choque eléctrico puede ser doloroso y puede resultar en la pérdida del control muscular, mientras la corriente en el cuerpo sea menor de 50 miliamperios (mA). La primera preocupación para los choques eléctricos de corta duración que resultan de las corrientes de falla, es la “fibrilación ventricular”, la cual puede ocurrir en el cuerpo con corrientes mayores de 50 mA y que se presentan en el cuerpo con corrientes mayores de 100 mA. Con estas corrientes se presenta la pérdida total de coordinación del “corazón” debido a la interrupción de sus señales eléctricas y puede dar por resultado “hasta en la muerte”. Ver Tablas 1 (3) y 2 (4), efectos de la corriente en el cuerpo humano y la resistencia. Tomadas de la Norma Nace Standard RP0177-2000.

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 11 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 11 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 11 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

**TABLE 1 (3): Human Resistance to Electrical Current(A)**

|                            |                         |                        |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| Dry skin                   | 100,000 to 600,000 ohms | - Con el cuerpo seco   |
| Wet skin                   | 1,000 ohms              | - Con el cuerpo húmedo |
| Internal body—hand to foot | 400 to 600 ohms         | - De la mano al pie    |
| Ear to ear                 | (about) 100 ohms        | - alrededor            |




(A) Reprinted with permission from the National Safety Council. Accident Prevention Manual for Business & Industry: Engineering & Technology, 10th ed. Itasca, IL: National Safety Council, 1992.

**TABLE 2 (4): 60-Hz Alternating Current Values Affecting Human Beings**

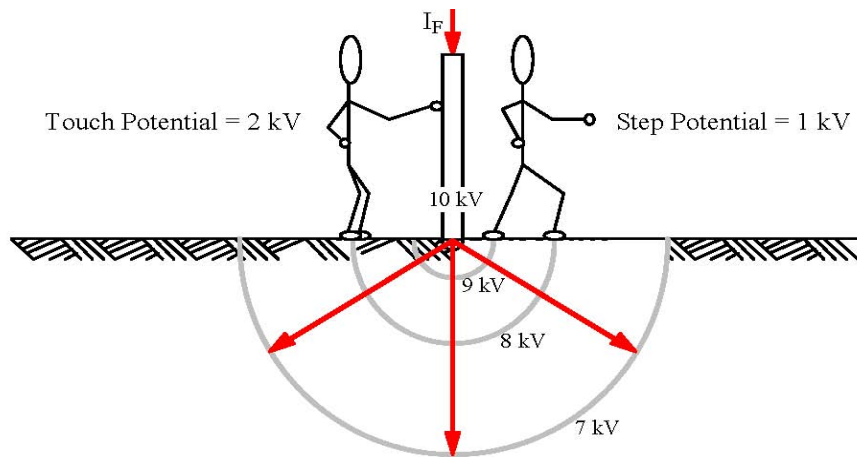
| Current      | Effects  |
|--------------|--|
| 1 mA or less | No sensation—Not felt. – Ninguna sensación --- No se siente  |
| 1 to 8 mA    | Sensation of shock— Not painful; individual can let go at will; muscular control not lost. – Sensación de descarga eléctrica, no se pierde el control muscular.  |
| 8 to 15 mA   | Shock doloroso—Individual can let go at will; muscular control not lost.   |
| 15 to 20 mA  | Shock doloroso—Pérdida de control muscular; no puede continuar.  |
| 20 to 50 mA  | Shock doloroso—Contracciones musculares severas; dificultad para respirar.   |
| 50 to 100mA  | Fibrilación ventricular—Resulta en muerte si no se administra masaje cardiaco.   |
| 100 to 200mA | Se debe aplicar shock de fibrilador para recuperar las palpitaciones normales, posible paro (casi certero) de la respiración.  |
| 200mA y mas  | Quemaduras severas — Contracciones musculares severas; opresión de los músculos del pecho al corazón que lo pueden parar durante el shock (fibrilación ventricular si se previene). Paro de la respiración — el corazón puede funcionar nuevamente después del shock, de lo contrario se requiere masaje cardiaco. |

Un choque eléctrico puede presentarse cuando una persona toca una estructura energizada o aún cuando una persona se encuentra cerca de una estructura energizada en contacto con la tierra. Como un ejemplo, la estructura en la figura 5 está energizada a un voltaje de 10 KV. La corriente de falla IF pasa de la estructura a la tierra, creando un gradiente de voltaje. Una persona que toca la estructura estará expuesta a 2 KV, esta es la diferencia de potencial entre la estructura y el punto en la tierra donde la persona se encuentra. Una segunda persona la cual no está tocando la estructura, está expuesta a 1 KV, esta es la diferencia de potencial entre los dos puntos en la tierra donde la persona se encuentra.

En general, “el voltaje de toque” se define como la diferencia de potencial entre una estructura metálica en contacto con la tierra y un punto en la superficie de la tierra, separado por una distancia igual a la máxima normal de alcance horizontal (aproximadamente de 1 metro). “El voltaje de paso” es la diferencia de potencial entre dos puntos en la superficie de la tierra, separada por una distancia de un paso

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br><b>1-02-25400-514-2006</b>                                     | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 12 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 12 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 12 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

(aproximadamente 1 metro) en la dirección del gradiente de potencial máximo. Ver figura 5.



**Figure 3-43: Example of Touch and Step Voltages at an Energized Grounded Structure**



Figura 5. Ejemplo de voltaje de Toque y de Paso en una estructura

### c. Predicción y Mitigación

La mayor preocupación respecto de la transferencia de la corriente de falla entre la estructura de la línea de potencia que ha fallado y la tubería es si hay o no suficiente energía disponible para crear un arco eléctrico a través del suelo. Si esto ocurriera, el camino de la corriente por medio del suelo, favorece el ionizado de la tubería, resultando en corrientes y densidades de corriente mucho más altas, que podría ser el caso durante condiciones normales de conducción dominante del suelo, a un mayor riesgo de daño de la tubería.

El medio más efectivo para prevenir los arcos eléctricos durante las condiciones de falla, es mantener una “*distancia de separación segura*” entre las estructuras de la línea de potencia y la tubería.

Las distancias mínimas de separación son usualmente especificadas por la Empresa dueña de la tubería y la Empresa dueña de las líneas de alto voltaje; sin embargo, las distancias de separación segura para prevenir el arco eléctrico deben ser calculadas o definidas de los informes de investigación. Uno de los cálculos es suministrado por SUNDE (Earth Conduction Effects), el cual proporciona la siguiente ecuación para calcular la distancia de separación  $r$  (m) en la cual el arco puede ocurrir, basado en la resistividad del suelo  $\rho$  (Ohm – cm) y la magnitud de la corriente de falla  $I_f$  (en kiloamperios KA).

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 13 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 13 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 13 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

Distancia mínima de separación  $r$  :

$$r = 0.08 \sqrt{I_f \times \rho} \quad [2-1]$$

Donde:

$r$  : Distancia de separación en metros

$I_f$  : Magnitud corriente de falla 24.91 KA (dato suministrado por Codensa)

$\rho$  : Resistividad del suelo 118  $\Omega$ -m

Si las distancias de separación segura no se pueden lograr, entonces se pueden utilizar electrodos de protección para interceptar las corrientes de falla. Estos pueden consistir de una longitud de ánodos de cinta de Zinc (Zinc ribbon) o bancos de ánodos de sacrificio conectados directamente a la tubería, instalados entre la tubería y la estructura de la línea de potencia. Al mismo tiempo que los electrodos protegen también y pueden prevenir daños a la tubería en la localización del pico de la corriente de falla, estos bajan la resistencia entre la tubería y la línea de potencia, estimulando a que la corriente de falla a utilice la tubería como un camino de la corriente. Puesto que esto podría posiblemente aumentar el riesgo de daño de la tubería en la localización de la descarga de la corriente de falla, los electrodos de protección podrían ser utilizados con precaución y evaluar los riesgos de daños a la tubería.

Como no es posible saber cuándo, dónde o como (ocurrirá) se presentará una falla, por tanto es difícil pronosticar los efectos de una falla y la mitigación requerida para proteger la tubería y las personas.

Cuando la probabilidad de falla es mayor de lo normal como son las descargas eléctricas, es de sentido común evitar las actividades que implican estar en contacto con la tubería, como el mantenimiento, para minimizar el riesgo de un choque eléctrico.



Si ocurriera un choque eléctrico, el objetivo del sistema de mitigación es el de limitar la corriente a través del cuerpo de las personas, a un valor que pueda ser tolerable (un valor que no cause la fibrilación ventricular). Esto puede hacerse minimizando el voltaje al cual una persona podría ser expuesta o por el aumento de la resistencia del cuerpo de la persona.

La corriente máxima  $I_B$  que un cuerpo humano puede tolerar depende de la duración del choque eléctrico  $t_s$  (en segundos), el peso del cuerpo, y se calcula como sigue:

$$I_B = 0.157 / \sqrt{t_s} \quad (\text{para un peso del cuerpo de 70 Kg}) \quad [2-2]$$

$$I_B = 0.116 / \sqrt{t_s} \quad (\text{para un peso del cuerpo de 50 Kg}) \quad [2-3]$$

Considerando la resistencia de un cuerpo humano y la resistencia eléctrica de contacto entre el pie y la tierra (esta resistencia depende la resistividad del suelo  $\rho$  en Ohmios – metro). Las ecuaciones fueron desarrolladas por la industria de Potencia Eléctrica para predecir el voltaje máximo que puede tolerar “de la mano a pie” (*Voltaje*

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 14 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 14 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 14 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

de Toque) o de “pie a pie” (*Voltaje de Paso*) para varios pesos del cuerpo, se calcula con la siguiente ecuación de “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding ANSI/IEEE Std. 80-1996”:

$$V_{\text{paso}} = (1.000 + 6 \rho) \times 0.157 / \sqrt{t_s} \quad (\text{ para peso del cuerpo de 70 Kg}) \quad [2-4]$$

$$V_{\text{toque}} = (1.000 + 1.5 \rho) \times 0.157 / \sqrt{t_s} \quad (\text{ para peso del cuerpo de 70 Kg}) \quad [2-5]$$

Donde:

$\rho$  : Resistividad del suelo 118 Ohm-m



$t_s$  : Duración de la falla 0.30 (300 ms) segundos (valor suministrado por Codensa)

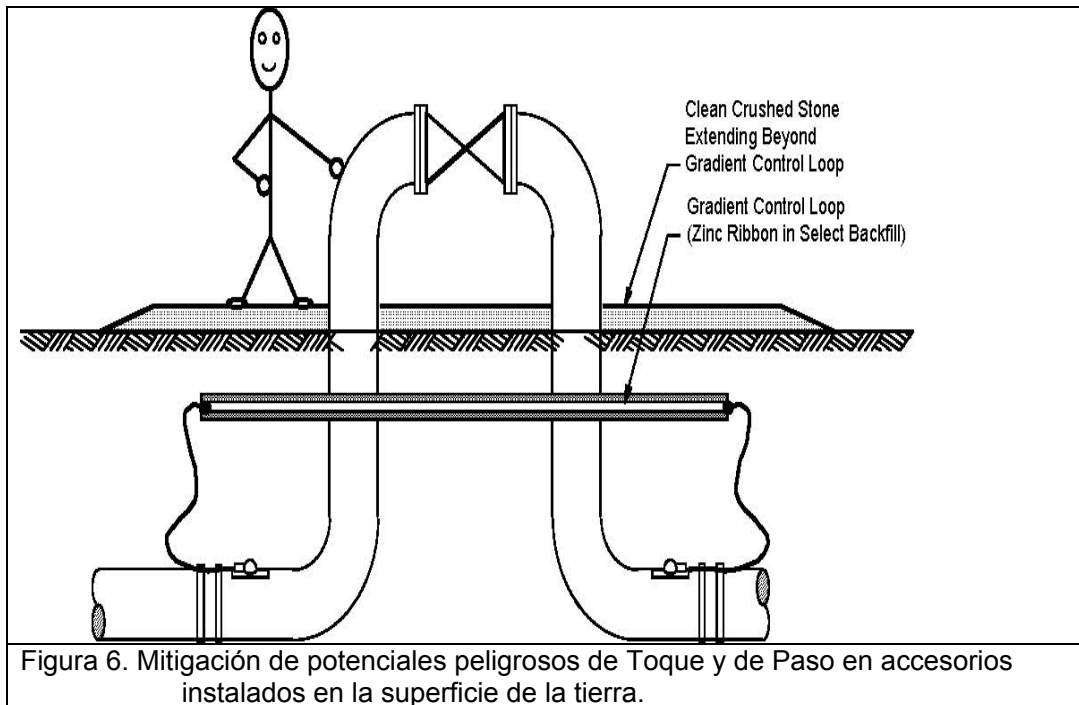
$V_{\text{paso}}$  : Voltaje de paso en voltios

$V_{\text{toque}}$  : Voltaje de toque en voltios

El valor utilizado para la resistividad ( $\rho$ ) en esta ecuación, es la resistividad del material donde están soportados los pies. Por lo tanto adicionando una capa de material de alta resistividad como de piedra triturada con una resistividad de 3.000 Ohmios-metro, se aumenta significativamente el voltaje que puede ser tolerado en el caso de una falla.

El voltaje de toque al cual está expuesta una persona durante una falla, puede ser también minimizado, instalando un espiral para controlar el gradiente del voltaje de toque, en el perímetro alrededor del accesorio del tubo y conectado a la tubería. El espiral generalmente es una “Cinta de zinc” (Zinc Ribbon) conectado a la tubería, y se instala con una longitud de 5 a 6 metros a una profundidad de 0.40 a 0.50 metros. El espiral aumenta el voltaje de la tierra durante una falla y minimiza la diferencia de voltaje entre la mano que está tocando la tubería y los pies.

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 15 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 15 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 15 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |



El voltaje que puede ser tolerado en el suceso de una falla se puede aumentar considerablemente, adicionando en la superficie del suelo en el sitio de los accesorios conectados a la tubería o de las estaciones de prueba, una capa de piedra triturada (gravilla) de 0.15 a 0.20 cm de espesor. Ver figura 6



### 2.3.3. Acoplamiento Electromagnético (Inductivo)

Los voltajes y corrientes son inducidos a una tubería en la misma forma que el primario de un transformador, induce corriente para fluir a través del devanado secundario. (ver teoría electromagnética aplicada al diseño de transformadores).

El flujo de la corriente eléctrica crea un campo electromagnético alrededor de un conductor; la intensidad del campo magnético es directamente proporcional a la magnitud de la corriente e inversamente proporcional a la distancia del conductor.

La inducción magnética se presenta cuando hay un movimiento relativo entre un conductor eléctrico y un campo magnético. Este movimiento puede resultar del movimiento físico de un conductor a través de un campo magnético estacionario o del movimiento de un campo magnético a través de un conductor estacionario.

El caso del transformador con núcleo de aire, es representativo de un acoplamiento electromagnético que se presenta cuando una tubería está instalada paralela a una

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 16 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 16 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 16 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

línea de potencia como se muestra en las figuras 7 y 8. Mientras los voltajes generados electrostáticamente son proporcionales al voltaje de la línea de potencia, los voltajes y corrientes que son inducidos electromagnéticamente, son proporcionales a la corriente de la línea de potencia. Cuando la longitud de paralelismo entre la tubería y la línea de potencia aumenta, el acoplamiento electromagnético entre ellos mejora, exactamente como aumenta el número de vueltas en los devanados primario y secundario de un transformador, mejora la eficiencia de este. Como es el caso con el acoplamiento conductivo, el acoplamiento electromagnético produce voltajes y corrientes que afectan la integridad de la tubería y la seguridad de las personas.

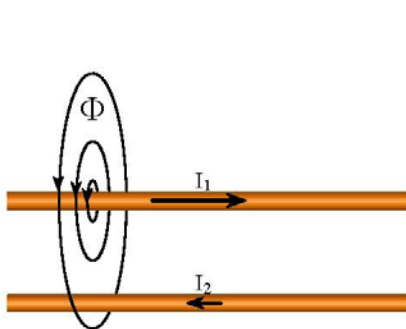


Figure 3-53: Electromagnetic Induction in a Single-Turn, Air-Core Transformer

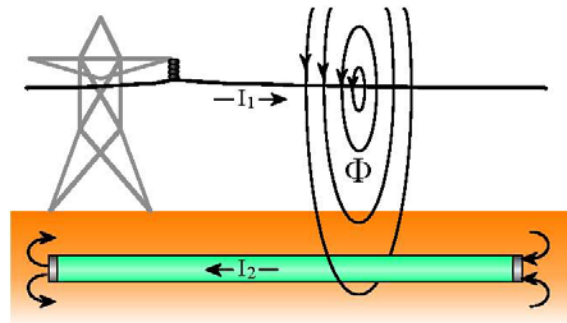


Figure 3-54: Electromagnetic Induction in a Pipeline due to an AC Power Line

**Figura 7. Inducción electromagnética**      **Figura 8. Inducción electromagnética en una tubería debido a líneas A. voltaje**



### 2.3.4. Corrosión en corriente alterna AC

Mientras el mecanismo de la corrosión por corriente alterna AC aún no está completamente desarrollado, allí se presenta una relación entre la densidad de corriente AC y la velocidad de corrosión, y ahí puede estar la entrada de la densidad de corriente AC en la que la corrosión AC comienza a presentarse.

Rangos densidad de corriente Vs. Grado de Corrosión  
( Fuente: Cathodic Protection CP 3 )

|   |   |   |                        |
|---|---|---|------------------------|
| $i_{ac} < 20 \text{ A/m}^2$                     | . | . | No corrosivo           |
| $20 \text{ A/m}^2 < i_{ac} < 100 \text{ A/m}^2$ | . | . | Corrosión impredecible |
| $i_{ac} > 100 \text{ A/m}^2$                    | . | . | Posible Corrosión      |



|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br>1-02-25400-514-2006  | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 17 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 17 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 17 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

### 2.3.5. Riesgos de Choque Eléctrico

El acoplamiento electromagnético da por resultado voltajes inducidos en la tubería en estado estable de la línea de potencia, así la duración del choque eléctrico no sea necesariamente corto, como es el caso del acoplamiento conductivo. Los límites de voltaje tolerable para exposición a voltajes en estado estable, son por lo tanto mucho más bajos que para voltajes de falla.

Varios documentos y estándares han decidido que el máximo voltaje inducido AC admisible, al cual una persona puede estar expuesta es de 15 voltios, (Norma NACE Standard RP0177-2000). Esto se basa en el supuesto que la resistencia promedio del cuerpo humano es de 1000 Ohmios y que una persona promedio puede resistir una corriente máxima de 15 miliamperios (mA) por un período prolongado de tiempo. Esta corriente puede ser dolorosa y puede en realidad causar contracciones musculares que podrían impedir a una persona a soltarse de una estructura energizada, pero no se esperar a tener por resultado respirar con dificultad.

### 2.3.6. Predicción

Una tubería puede ser modelada para propósitos de protección catódica como una red de resistencias en serie (resistencia longitudinal  $R_L$ ) y representando resistencias paralelas por una resistencia Shunt a tierra ( $R_S$ ). Cuando se determina la respuesta de la tubería a la interferencia AC otros dos factores deben ser considerados, la inductancia longitudinal de la tubería ( $L_L$ ) y su Shunt de capacitancia ( $C_S$ ) como se muestra en la figura 9.

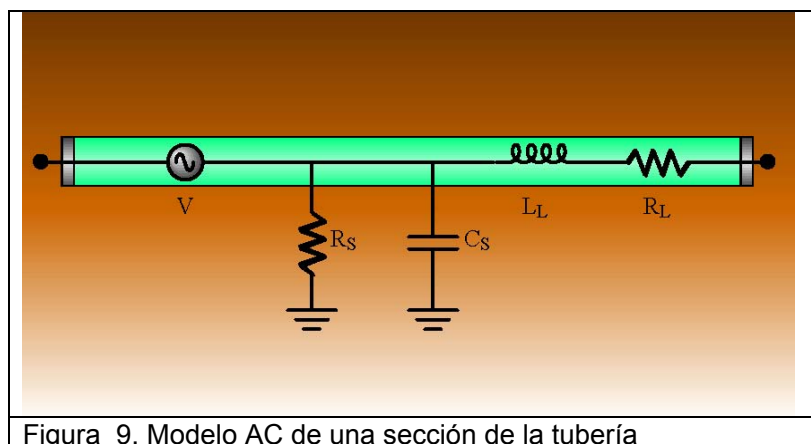




Figura 9. Modelo AC de una sección de la tubería

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br>1-02-25400-514-2006  | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 18 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 18 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 18 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

### 3 ESTUDIOS E INTERERENCIAS

#### 3.1 Descripción del fenómeno de Interferencias

Una tubería enterrada de acero que comparte un corredor común con una línea de alto voltaje AC, se afecta por la energía eléctrica que se transfiere a la tubería, por los campos eléctrico y magnético que circundan en el sistema de potencia en el aire y la tierra. Esta interferencia AC puede dar por resultado un riesgo de choque eléctrico para las personas que estén en contacto con la tubería o con elementos metálicos conectados a esta; además daños al revestimiento de la tubería, a los aislamientos eléctricos o aún a las paredes de la tubería en sí mismas.

En la actualidad la tubería de Tibitoc en algunos sectores comparte un corredor con las líneas de transmisión de Codensa. El objetivo es determinar la cantidad de voltaje y corriente AC que se puede generar en la tubería por las líneas de Alto Voltaje en condiciones de operación normal y de falla (corto circuito), porque las fallas en el conductor de una fase y debido a las descargas eléctricas atmosféricas (rayos) en alguna de las torres o estructuras en el corredor compartido.

Las técnicas de mitigación han sido desarrolladas y diseñadas para minimizar la probabilidad de corrosión, reduciendo las densidades de corriente AC por debajo del criterio reconocido de 20 mA/pulg<sup>2</sup>. Por debajo de estas densidades de corriente AC no hay posibilidad de “pitting”, debido a las corrientes inducidas AC en condiciones de operación normal. También reduciendo los voltajes inducidos AC por debajo de 15 voltios reconocidos como seguros; esto es evitando el riesgo de choque de corriente a lo largo de la tubería. El método utilizado para mitigar la interferencia AC debe ser compatible con el sistema de Protección Catódica, al mismo tiempo reducir la interferencia AC y el problema de corrosión.

#### 3.2 Memorias de cálculo



##### 3.2.1. Cálculo distancia mínima de separación segura de Postes y Torres a la tubería para prevenir el arco eléctrico.

Las distancias mínimas de separación segura para prevenir el arco eléctrico deben ser calculadas de acuerdo a la ecuación de SUNDE (Earth Conduction Effects), el cual desarrolló la siguiente ecuación para calcular la distancia de separación  $r$  (m) en la cual el arco puede ocurrir, basado en la resistividad del suelo  $\rho$  (en Ohm – cm) y la magnitud de la corriente de falla  $I_f$  (en kiloamperios KA).

Cálculo de la distancia de separación

Distancia mínima de separación  $r$ :

$$r = 0.08 \sqrt{I_f \times \rho} \quad [3- 1]$$

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td data-bbox="1131 289 1344 317" style="text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td data-bbox="1349 289 1484 317" style="text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1131 323 1484 350" style="text-align: center;">PAGINA 19 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1131 350 1484 361" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 19 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 19 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

Donde:

- $r$  : Distancia de separación en metros  
 $I_f$  : Magnitud corriente de falla 24.91 KA (dato suministrado por Codensa)  
 $\rho$  : Resistividad del suelo 118  $\Omega$ -m

$$r = 0.08 \sqrt{24.91 \times 118}$$

$$r = 0.08 \times 54.21 = 4.34 \approx 5 \text{ metros}$$



$r = 5 \text{ metros} \approx 6 \text{ m.}$  - Distancia de separación mínima para evitar el arco eléctrico entre la tubería y la estructura de la línea de Alto Voltaje

Como la localización de la tubería con respecto a la línea de alto voltaje tiene un grado de exactitud de  $\pm 5\%$ , se considera segura la distancia de 6 metros, lo que determina que cuando las estructuras de la línea de Alto Voltaje se encuentren a una distancia de 6 metros o menos de la tubería de Tibitoc y se presente una corriente de falla, se producirá un arco eléctrico entre ellas y como consecuencia el riesgo de los daños considerables a la tubería. Ver apartes del “*Acoplamiento conductivo*”.

El medio más efectivo para prevenir los arcos eléctricos durante las condiciones de falla, es mantener una “*distancia de separación segura*” de 6 metros entre las estructuras de la línea de potencia y la tubería.

Cuando esta condición no se puede cumplir, se requiere diseñar un sistema de “apantallamiento” por medio de un banco de ánodos de sacrificio para interceptar la corriente de falla, conectados directamente a la tubería y se instalarán entre la tubería y la estructura de la línea de potencia, estos ánodos bajan la resistencia entre la tubería y la estructura de la línea de potencia. Este banco de ánodos proporciona una muy baja resistencia eléctrica y la corriente de falla utilizará la tubería como un camino de la corriente. Pero esto podría posiblemente aumentar el riesgo de daño a la tubería en el sitio de la descarga de corriente.

Por este motivo no se recomienda utilizar el banco de ánodos de sacrificio, además hay sitios en donde las estructuras de las líneas están a distancias muy pequeñas de 1, 2, 3 y 4 metros. Por lo tanto, es necesario respetar la distancia de separación calculada de 6 metros para evitar los riesgos de daño a la tubería de Tibitoc, hay que tener en cuenta que las corrientes de falla son del orden de 25 Kiloamperios (25.000 Amperios) ó más. Es importante que la Empresa de Acueducto de común acuerdo con Codensa determinen la solución más conveniente para las partes, pero tener en cuenta de los altos riesgos a que está expuesta la tubería y a un posible daño. A continuación se detallan los sitios en la Tabla 3.

|   |   |  |                   |
|---|---|--|-------------------|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> |  |                   |
|   |   | <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |                   |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <b>RTC-IF-EL-004</b>   | <b>VERSIÓN: 0</b> |
|   |   | <b>PAGINA 20 de 66</b>   |                   |
|   |   | <b>FECHA: 2008-07-09</b>   |                   |

**Tabla No 3. Estructuras de CODENSA a 6 metros o menos de la Tubería**



| ID | ABSCISA | DISTANCIA (m) | Voltaje Línea (Kv) | LOCALIZACIÓN              | OBSERVACIONES |
|----|---------|---------------|--------------------|---------------------------|---------------|
| 1  | K25+170 | 3.30          | 115                | Centro C. Panamá          |               |
| 2  | K25+350 | 4.0           | 115                | Cl. 175                   |               |
| 3  | K25+530 | 3.50          | 115                | ----                      |               |
| 4  | K25+660 | 3.0           | 115                | ----                      |               |
| 5  | K25+870 | 4.0           | 115                | Puente Cl. 170            |               |
| 6  | K26+085 | 4.50          | 115                | Cl. 168                   |               |
| 7  | K27+375 | 4.50          | 115                | Cl. 154                   |               |
| 8  | K27+590 | 6.0           | 115                | ----                      |               |
| 9  | K29+500 | 2.50          | 115                | Cl. 134                   |               |
| 10 | K43+540 | 5.50          | 115                | Cl. 11 B                  |               |
| 11 | K43+730 | 1.30          | 115                | Cl. 11 A                  |               |
| 12 | K43+920 | 3.0           | 115                | -----                     |               |
| 13 | K44+120 | 5.0           | 115                | Diagonal 9                |               |
| 14 | K44+260 | 1.60          | 115                | Subestación Bavaria       |               |
| 15 | K44+430 | 3.0           | 115                | Diagonal 8                |               |
| 16 | K44+580 | 5.0           | 115                | Cl. 7 B                   |               |
| 17 | K44+770 | 3.0           | 115                | Cl. 7 A                   |               |
| 18 | K44+920 | 2.30          | 115                | Av. Américas (antes)      |               |
| 19 | K47+980 | 0.60          | 115                | Av. Boyacá – Transv 72 F. |               |
| 20 | K50+270 | 4.0           | 115                | Glorieta Autop. Sur.      |               |

### 3.2.2 Cálculos de voltajes inducidos AC en la tubería

#### a. Cálculo de voltaje inducido AC - general

Los Cálculos y el control de voltajes inducidos, voltajes de toque y de paso, están basados en los modelos matemáticos y tecnología desarrolladas por EPRI “Electric Power Research Institute” por NACE International “Cothidic Protección CP 3”, por National Estándar of Canada “CAN/CSA-C22.3 - M19”, NACE Estándar RP0177-2000 y ANSI/IEEE Std.80-1996” IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.

El paralelismo de las líneas de Alto Voltaje de 115 Kv de Codensa con la tubería Tibitoc, en la Autopista Norte se inicia en el K22+800 y termina en el K29+900. Este paralelismo se interrumpe entre el K25+170 y el K26+100 por dos cruces, el primero desde el K25+170 al K25+220 y el segundo desde el K25+900 hasta el k26+100. En

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td data-bbox="1131 289 1344 315" style="text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td data-bbox="1349 289 1482 315" style="text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1131 321 1482 346" style="text-align: center;">PAGINA 21 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1131 352 1482 361" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 21 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 21 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

el K25+600 se presenta un cruce puntual donde el voltaje inducido se anula, por lo que no se requiere calcular estos sectores de 380 m y 200 m por su corta longitud.

Los valores de corrientes de falla, de descargas eléctricas y tiempos de duración de las fallas, distancia entre conductores y distancias de los conductores al suelo para las líneas de Alto voltaje en el sector de la Autopista Norte, fueron suministrados parcialmente por la empresa Codensa.

En el paralelismo con líneas de 115 KV del sector Avenida Boyacá entre la Calle 127 y la Calle 116, no se requiere hacer el cálculo por ser una longitud muy pequeña de 800 metros.

En el paralelismo con líneas de 115 KV del sector de la Av. Boyacá, entre la calle 13 y la Avenida de las Américas, no se tiene información de Codensa.

En el paralelismo con líneas de 115 KV del sector de la Avenida del Ferrocarril (CL. 72 D Bis sur) entre la Avenida Boyacá y la Cr. 72 G, con longitud 640 metros. la tubería cruza al sur de las líneas de A.V, no se requiere hacer el cálculo por ser una longitud muy pequeña de 640 metros.

En los sectores donde no se realizaron los cálculos de voltajes inducidos AC, se diseñó el control para los voltajes de Paso y de Toque con el valor de la máxima corriente de falla de 24.9 Kiloamperios, para la protección del personal de mantenimiento.

En el sector entre el río Tunjuelo y la Autopista Sur, se hace el cálculo aproximado porque se presenta una inconsistencia en la información; la mitigación de los voltajes inducidos, de Paso y Toque se hace en la misma forma que para el sector de la Autopista Norte.

### **Información y datos de las líneas de Alto Voltaje utilizados para cálculos**

La información utilizada para los cálculos de voltajes inducidos AC y voltajes de Paso y Toque (suministrada por Codensa) fue la siguiente:

- Información de la tubería:

Diámetro de la tubería: 78"

Tipo de recubrimiento: Mortero de cemento

Espesor del recubrimiento: 2.5 cm



Resistividad eléctrica del recubrimiento: 148 Kohm-pie<sup>2</sup>

Profundidad de enterramiento: -2.5 metros

- Información de la línea de transmisión de 115 KV (Torca II y Suba-Torca):

Cable de guarda:

Tipo de cable de guarda: Referencia AW7NI (Alumoweld 7N8)

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 22 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 22 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 22 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

Diámetro exterior: 9.6 mm  
 Resistencia eléctrica máxima a cc 20°C : 1.4627 Ohm/Km  
 Altura del cable de guarda : 27 metros

▪ Conductor de fase: Anexo No. 3. Planos

Tipo de conductor de fase : Referencia ACSR 605 (Peacock)  
 Capacidad amperimétrica máxima : 800 Amperios  
 Carga de corriente en condición normal : 800 Amperios  
 Carga de corriente en condición de contingencia : 800 Amperios

Puesta a tierra de la torre : con varilla de Cu de 3/4" x 2.40 m  
 Distancia promedio entre torres : ± 160 metros

Para las líneas de 115 Kilovoltios Torca 1 y Torca 2



- Corriente de falla de una fase - tierra en Kiloamperios KA : 24.90
- Duración de la falla en milisegundos (ms) : 300
- Carga máxima en Amperios : 800
  
- Corriente de las descargas eléctricas atmosféricas en KA : 25
- Duración de la falla en segundos : 0.1 a 0.3

**Parámetros para el cálculo**

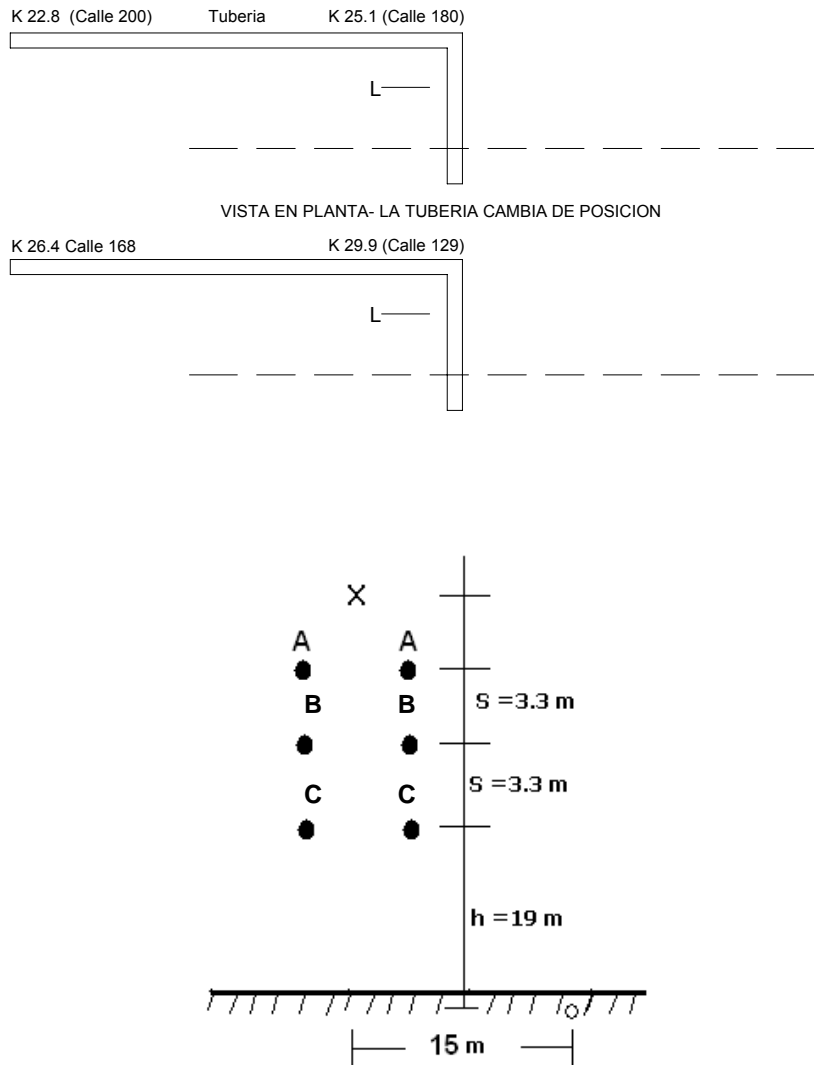
Resistividad del suelo ( $\rho$ ) : 118 ohm – metro ( $\Omega$ -m) promedio  
 Resistividad del mortero recubrimiento RC : 148 K $\Omega$  pie<sup>2</sup>  
 Diámetro de la tubería (D) : 72 pulgadas  
 S: espaciamiento vertical entre líneas (S) : 3.30 metros  
 $\rho/S^2$  : 10.80  
 Distancia de la línea al suelo (d) : 18.60 metros  
 S/h : 0.18  
 Distancia horizontal de tubería a la línea (d) : 15 m promedio en primer sector  
 Distancia horizontal de tubería a la línea (d) : 7.6 m promedio en segundo sector  
 Distancia normalizada de tubería (d/s) : 4.5 en primer sector - Figura 3.21  
 Distancia normalizada de tubería (d/s) : 2.3 en segundo sector - Figura 3.21

**Esquema Líneas de Alto Voltaje**

El esquema de las líneas de A.V se detalla en la Figura No 10. El paralelismo de las líneas de Alto Voltaje de 115 Kv de Codensa con la tubería Tibitoc, se presenta entre el K22+800 (CL. 200) en la Autopista Norte y termina en el K29+900 (CL. 129).




|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 23 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 23 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 23 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

**ESQUEMA DE LINEAS DE ALTO VOLTAJE**



La tubería cruza la ruta a la izquierda de la continuidad

**Figura 10. Esquema de Líneas de Alto Voltaje**

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 24 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 24 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 24 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

**b. Cálculo de voltaje inducido AC en el sector de la Autopista norte**

El Voltaje Inducido se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación de EPRI :

$$V = 1/2\Gamma ( E_L - E_R ) \quad [3-2]$$

$$V = P_o \times ( E_L - E_R ) \quad [3-3]$$

donde:

- V = Voltaje inducido AC en voltios
- $\Gamma$  = Constante de propagación
- P<sub>o</sub> = Coeficiente de Voltaje
- E<sub>L</sub> = Campo eléctrico longitudinal a la izquierda
- E<sub>R</sub> = Campo eléctrico longitudinal a la derecha
- R<sub>c</sub>: Resistividad del mortero: 148 KΩ. pie<sup>2</sup>
- $\rho$  : Resistividad del suelo: 118 ohm – metro (Ω-m)

E<sub>R</sub> no se tiene en cuenta porque hay una discontinuidad al lado derecho, la ecuación final es V = P<sub>o</sub> x E<sub>L</sub>

Cálculo de P<sub>o</sub> Coeficiente de Voltaje

Las líneas de Alto Voltaje se clasifican como de corta longitud para obtener P<sub>o</sub>

Se utiliza la gráfica (figura) 3.16 (anexa) con una resistividad del mortero de 1.48 KΩ x pie<sup>2</sup>, para  $\rho$  del suelo de 118 Ω-m, el coeficiente de voltaje P<sub>o</sub> es de 380 (para 70 pulgadas de diámetro)

Luego se determinan los campos eléctricos longitudinales a la derecha de la discontinuidad. La línea de alto voltaje es de doble circuito vertical (línea Torca 2 y Suba-Torca (desenergizada sin carga) al occidente de la Autopista norte.



La geometría del medio doble circuito para determinar el campo eléctrico se presenta en la figura 2.8b (anexa).

En la figura 10 se representa el arreglo de la secuencia de las fases de la línea de potencia de doble circuito vertical que permite determinar la tabla apropiada para la selección de la figura del anexo 2.

De la tabla 4 (parámetros para cálculo) y del arreglo de fases en la figura 10 se encuentra que la magnitud del campo eléctrico se puede determinar por una de las figuras A del anexo 2.

El espaciamiento vertical de la línea de potencia (S) es: S=3.30 m



|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 25 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 25 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 25 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

Las curvas apropiadas del anexo 2 se seleccionan en base a la relación  $p/S^2$  de 10.80 para cálculo y la geometría de la línea de medio doble circuito.

El que corresponde a la gráfica (figura) A 114 para la magnitud del campo eléctrico, y la gráfica (figura) A 118 para la fase.

Necesariamente los parámetros para determinar el campo eléctrico normalizado en las figuras del anexo 2 son, la altura normalizada de los conductores de la línea de Alto Voltaje (s/h), y la distancia normalizada a la tubería (d/s).

La distancia que separa la tubería del centro de la línea de potencia, difiere en cada lado de la discontinuidad. A la izquierda la tubería esta a 15 m del centro de la línea, resultando en un  $d/s=4.5$  y a la derecha de la discontinuidad es de 7.6 m, resultando en un  $d/s = 2.3$ .

Los parámetros para determinar los campos eléctricos longitudinales a la izquierda y derecho  $E_L$  y  $E_R$  son los que se detallan y de estos se determina la cantidad ( $E_L - E_R$ ).



**Tabla No 4. Parámetros para Cálculo del Campo Eléctrico del primer sector por las líneas de A.V al occidente, entre el K22+800 (CL. 200) y K25+170 (CL 180)**

|  | A la izquierda de la discontinuidad    |
|--|--|
| $\frac{p}{S^2}$                                    | 10.80                                  |
| s/h  | 0.18                                   |
| d/s  | 4.50                                   |
| Magnitud de campo eléctrico normalizado v/m/A      | <b><math>1.4 \times 10^{-3}</math></b> |
| Fase de campo eléctrico                            | 258°                                   |
| Figura para magnitud                               | A 114                                  |
| Figura para la fase                                | A 118                                  |
| Corriente de la línea<br>450 Amperios (1)<br>$P_o$ | 3.8 x10 <sup>2</sup>                   |

La corriente máxima de la líneas (al occidente de la Autopista) Torca 2 es de 450 amperios a las 6:30 a 7:30 p.m. datos del mes de Abril de 2008 – Información de Codensa.

La corriente de la línea de potencia considerada es de 450 Amperios por fase. Entonces el campo eléctrico longitudinal a la izquierda y a la derecha de la discontinuidad es la siguiente:

$$E_L = 450 \times 1.4 \times 10^{-3} = 6.3 \times 10^{-3} e^{j258} \quad [3-4]$$

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 26 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 26 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 26 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

Se sustituyen el valor de  $P_o$  y los obtenidos de  $E_L$ , en la Ecuación  $V = P_o \times E_L$

$$V = 3.8 \times 10^2 (6.3 \times 10^{-3} e^{j258})$$

Se considera que donde la tubería existe a la izquierda de la discontinuidad de línea de potencia y la tubería se aparta de la ruta de la línea, el campo eléctrico a la derecha de la discontinuidad es cero o sea  $E_R$  es 0. Para este caso la ecuación del voltaje se vuelve:

$$V = 3.8 \times 10^2 (6.3 \times 10^{-3}) = 2.40 \text{ voltios}$$

$$V = 2.40 \text{ voltios}$$

Este valor de 2.40 voltios, es el voltaje inducido AC que se presenta en el K25+170, sitio de la primera discontinuidad, donde la línea de alto voltaje sale de la ruta.


El valor de 2.40 voltios inducidos no sobrepasa el valor establecido en la Norma NACE RP0177-2000, en la cual recomienda que sea menor de 15 voltios (es conveniente estar alrededor de 9 voltios para evitar el riesgo de choque eléctrico de las personas que tengan contacto con la tubería y sus accesorios).



La hora en que se presenta este voltaje inducido es entre las 6 p.m. y las 8 p.m, algunos días del mes con una corriente de 450 Amperios (esta información fue suministrada por Codensa).

Se calcula ahora el segundo sector de paralelismo en la Autopista norte entre el K26+070 (en el K25+900 se presenta un segundo cruce y se reinicia el paralelismo con la línea de Alto Voltaje 115 KV en el K26+070).

La configuración de las dos líneas de alto voltaje es de medio doble circuito de 115 KV, en una misma estructura (la línea Torca 2 energizada y la línea Suba - Torca desenergizada, sin carga) al occidente de la Autopista y con la misma geometría.

**Tabla No 5. Parámetros para Cálculo Campo Eléctrico del segundo sector por las líneas de A.V al occidente, entre el K26+100 (CL. 168) y K29+900 (CL. 129)**

|   | A la izquierda de la discontinuidad    |
|---|--|
|  | 10.80                                  |
| s/h   | 0.18                                   |
| d/s   | 2.30                                   |
| Magnitud de campo eléctrico normalizado v/m/A                                       | <b><math>2.2 \times 10^{-8}</math></b> |
| Fase de campo eléctrico   | 240°                                   |

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 27 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 27 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 27 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

|                                       | A la izquierda de la discontinuidad |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Figura para magnitud                  | A 114                               |
| Figura para la fase                   | A 118                               |
| Corriente de la línea<br>450 Amperios | ---                                 |
| $P_o$                                 | $3.8 \times 10^2$                   |

El voltaje inducido AC en el sector 2 es:

$$V = P_o \times E_L \quad [3-5]$$

Donde:

$$P_o = 3.8 \times 10^2$$

$$E_L = 450 \times 2.2 \times 10^{-5} = 9.9 \times 10^{-3}$$

$$V = 3.8 \times 10^2 (9.9 \times 10^{-3}) = 3.80 \text{ voltios}$$




$$V = 3.80 \text{ Voltios}$$

Este voltaje de 3.80 Voltios es el voltaje inducido AC que se presenta en el K29+900, sitio de la segunda discontinuidad, donde la línea de alto voltaje se aparta de la ruta de la tubería. En la tabla 6 se resumen los datos de los dos sectores.

El valor de 3.80 Voltios inducidos no es mayor al valor recomendado por la Norma NACE RP0177-2000, Sección 5 la cual recomienda que sea menor de 15 voltios, es conveniente que sea menor de 9 voltios para evitar el riesgo de choque eléctrico de las personas que tengan contacto con la tubería y sus accesorios.

La hora en que se presenta este voltaje inducido es entre las 6 p.m. y las 8 p.m., algunos días del mes con una corriente de 450 Amperios (esta información fue suministrada por Codensa). En los demás días de mes la carga de la línea Torca II es de 250 Amperios en promedio.

El valor de voltaje inducido de 3.80 voltios y de los voltajes de paso y de toque de 486 y 335 voltios, es necesario recalcular por parte del Contratista de la instalación estos en el caso que la carga de la línea Torca 2 aumente su carga actual de 450 Amperios (su capacidad de carga es de 800 Amperios y la línea Suba-Torca entre en servicio actualmente sin carga (su capacidad de carga nominal es de 800 Amperios); esta información es necesario actualizar por el Contratista antes de iniciar las obras y se obtiene en Codensa para las corrientes de falla y para el valor de las descargas eléctricas atmosféricas.

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 28 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 28 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 28 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

**Tabla No 6. Parámetros para Cálculo del Campo Eléctrico del sector por las líneas de A.V al oriente, entre el K22+800 (CL. 200) y K29+900 (CL. 129)**

|   | A la derecha de la discontinuidad |
|---|-----------------------------------|
| $\frac{P}{S}$                                 | 10.80                             |
| s/h   | 0.18                              |
| d/s   | 14.20                             |
| Magnitud de campo eléctrico normalizado v/m/A | $6 \times 10^{-6}$                |
| Fase de campo eléctrico                       | $276^\circ$                       |
| Figura para magnitud                          | A 114                             |
| Figura para la fase                           | A 118                             |
| Corriente de la línea<br>450 Amperios         | ---                               |
| $P_o$   | $3.8 \times 10^2$                 |

$$V = P_o \times E_R \quad [3-5]$$

Se utiliza la gráfica (figura) 3.16 (anexa) con una resistividad del mortero de 1.48 K $\Omega$  x pie<sup>2</sup>, para  $\rho$  del suelo de 118  $\Omega$ -m, el coeficiente de voltaje  $P_o$  es de 380 (para 70 pulgadas de diámetro)

Luego se determinan los campos eléctricos longitudinales a la derecha de la discontinuidad. La línea de alto voltaje es de doble circuito vertical (línea Torca 1 y otra línea que no se tiene información (desenergizada sin carga) al oriente de la Autopista norte.

El voltaje inducido AC en el sector por las líneas de A. Voltaje al oriente de la Autopista Norte es:

$$V = P_o \times E_R \quad [3-5]$$

$$E_R = 450 \times 6 \times 10^{-6} = 2.7 \times 10^{-3}$$



Donde:

$$P_o = 3.8 \times 10^2$$

$$E_R = 2.7 \times 10^{-3}$$

$$V = 3.8 \times 10^2 \times (2.7 \times 10^{-3}) = 1 \text{ Voltio}$$

$$V = 1 \text{ Voltio}$$

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 29 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 29 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 29 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

Este voltaje de 1 Voltio es el voltaje inducido AC que se presenta en el K29+900, sitio de la discontinuidad, donde la línea de Alto Voltaje (al oriente de la Autopista) se aparta al oriente de la ruta de la tubería. En la tabla 7 se resumen los datos de los sectores en donde inciden las líneas de A.V que van por el occidente y el oriente de la tubería.

La hora en que se presenta este voltaje inducido es entre las 6 p.m. y las 8 p.m., algunos días del mes con una corriente de 450 Amperios (esta información fue suministrada por Codensa). En los demás días de mes la carga de la línea Torca I es de 250 Amperios en promedio, de la otra línea no se tiene información, pero es posible que tenga carga que pueda generar un voltaje inducido.

El total del voltaje inducido AC en la tubería, es la suma del voltaje inducido por las líneas del occidente más el voltaje de las líneas al oriente. Ver Tabla 7




**Tabla No. 7. Máximos voltajes inducidos en condiciones de operación normal del sector occidental de la Autopista Norte, entre el K22+800 (CL. 200) y K29+900 (CL. 129).**

| L.T. 115 KV Paralelismo (torre inicial y final) | Abcisado del paralelismo (tubería) (Kilómetros) | Máximo voltaje Inducido en la sección (V. AC) |
|---|---|---|
| NN - 1662                                       | 22+800 – 25+170                                 | 2.40  |
| NN - 1068                                       | 26+100 – 29+600                                 | 3.80  |
|   | Total   | 6.20  |

**Tabla No. 8. Máximos voltajes inducidos en condiciones de operación normal del sector occidental más el oriental de la Autopista Norte, entre el K22+800 (CL. 200) y K29+900 (CL. 129).**

| L.T. 115 KV Paralelismo (torre inicial y final) | Abcisado del paralelismo (tubería) (Kilómetros) | Máximo voltaje Inducido en la sección (V. AC) |
|---|---|---|
| Sector Occidental                               | 22+800 – 29+900                                 | 6.20  |
| Sector Oriental                                 | 22+800 – 29+900                                 | 1.0   |
|   | Total   | 7.20  |

Se recomienda dejar prevista e instalada la mitigación de los posibles voltajes Inducidos que podrían llegar a ser de 9 voltios o más relativamente pronto, y en esta forma se proporciona protección y seguridad al personal de mantenimiento.

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 30 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 30 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 30 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

**c. Cálculo del voltaje inducido en el sector del río Tunjuelo a Autopista Sur**

Cálculo del voltaje inducido en el sector del río Tunjuelo entre el K49+300 (Cr. 63-S. Makro) y el K50+289 en la Autopista Sur, por el paralelismo de dos líneas de Alto voltaje, la línea de Alto Voltaje # 1 CU-IN de un circuito vertical y la línea # 2 GG-CH (Gorgonzola-Charquito) de doble circuito vertical al norte de la Tubería.




**Tabla No 9. Parámetros para Cálculo del Campo Eléctrico del sector, por las líneas de A.V al norte de la tubería entre el K49+300 (Cr. 63 - S. Makro) y el K50+289 en la Autopista Sur.**

**Para la línea # 1 CU-IN**

|   | A la derecha de la discontinuidad por la línea A.V # 1, CU-IN |
|---|---|
| $\frac{P}{S^2}$                               | 2.30  |
| s/h   | 0.18  |
| d/s   | 2.40  |
| Magnitud de campo eléctrico normalizado v/m/A | $3 \times 10^{-4}$  |
| Fase de campo eléctrico                       | 18°   |
| Figura para magnitud de campo                 | A 50  |
| Figura para la fase                           | A 54  |
| Corriente de la línea                         | ---   |
| 100 Amperios                                  |   |
| $P_0$   | $3.3 \times 10^2$   |

**Para la línea # 2 GG-CH (Gorgonzola-Charquito)**

|   | A la derecha de la discontinuidad por la línea A.V # 2, GG-CH |
|---|---|
| $\frac{P}{S^2}$                               | 2.30  |
| s/h   | 0.18  |
| d/s   | 4.80  |
| Magnitud de campo eléctrico normalizado v/m/A | $2.7 \times 10^{-4}$  |
| Fase de campo eléctrico                       | 20°   |
| Figura para magnitud de campo                 | A 50  |

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 31 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 31 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 31 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

|   |   |
|---|---|
|   | A la derecha de la<br>discontinuidad por la<br>línea A.V # 2, GG-CH |
| Figura para la fase<br>Corriente de la línea<br>100 Amperios<br>$P_o$ | A 54<br>---<br>$3.3 \times 10^2$                                    |

$$V = P_o \times E_R \quad [3-5]$$

Se utiliza la gráfica (figura) 3.17 (anexa) con una resistividad del mortero de 1.48 K $\Omega$  x pie<sup>2</sup>, para  $\rho$  del suelo de 25.4  $\Omega$ .m, el coeficiente de voltaje  $P_o$  es de 330 (para 70 pulgadas de diámetro)

Luego se determinan los campos eléctricos longitudinales a la derecha de la discontinuidad. La línea de alto voltaje CU-IN de un circuito vertical y la línea GG-CH de doble circuito vertical al norte de la Tubería.

El voltaje inducido AC en el sector por las líneas de A. Voltaje al norte de la tubería es:

Para la línea # 1 de A.V (CU-IN) es:

$$V = P_o \times E_R \quad [3-5]$$

$$E_R = 100 \times 3 \times 10^{-4} = 3.0 \times 10^{-2}$$

Donde:

$$P_o = 3.3 \times 10^2$$

$$E_R = 3.0 \times 10^{-2}$$

$$V = 3.3 \times 10^2 \times (3.0 \times 10^{-2}) = 9.90 \text{ Voltios}$$

$$V = 9.90 \text{ Voltios}$$



Para la línea # 2 de A.V (GG-CH) es:

$$V = P_o \times E_R \quad [3-5]$$

$$E_R = 100 \times 2.7 \times 10^{-4} = 2.7 \times 10^{-2}$$

Donde:

$$P_o = 3.3 \times 10^2$$

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 32 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 32 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 32 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

$$E_R = 2.7 \times 10^{-2}$$

$$V = 3.3 \times 10^2 \times (2.7 \times 10^{-2}) = 8.90 \text{ Voltios}$$

$$V = 8.90 \text{ Voltios}$$

Este voltaje de 18.80 Voltios (9.90+8.90) es el voltaje inducido AC que se presenta en el K50+289, sitio de la discontinuidad, donde la tubería se aparta al sur de la línea de Alto Voltaje. En la tabla 9 se resumen los datos de las líneas, sector en donde inciden las líneas de A.V que van por el norte de la tubería.

La hora en que se presenta este voltaje inducido es entre las 6 p.m. y las 8 p.m., algunos días del mes con una corriente de 100 Amperios (esta información fue suministrada por Codensa).

El total del voltaje inducido AC en la tubería, es la suma del voltaje inducido por las líneas 1 y 2 en este sector. Ver Tabla No 10.

**Tabla No. 10. Máximos voltajes inducidos en condiciones de operación normal del sector al norte de la tubería entre el K49+300 (Cr. 63 - S. Makro) y el K50+289 en la Autopista Sur.**

| L.T. 115 KV Paralelismo<br>(torre inicial y final) | Abciscado del<br>paralelismo (tubería)<br>(Kilómetros) | Máximo voltaje<br>Inducido<br>en la sección (V. AC) |
|--|--|---|
| Línea # 1  | 49+300 – 50+289  | 9.90  |
| Línea # 2  | 49+300 – 50+289  | 8.90  |
|  | Total  | 18.80   |

Para controlar este voltaje Inducido de 18.80 voltios, mayor del máximo aceptado de 15 voltios, es necesario instalar un ánodo de Zinc de 18 libras en el K50+289.



### 3.3.Cálculo de voltajes de Paso y de Toque

La corriente máxima  $I_B$  que un cuerpo humano puede tolerar depende de la duración del choque eléctrico  $t_s$  (en segundos), el peso del cuerpo, y se calcula como sigue:

$$I_B = 0.157 / \sqrt{t_s} \quad (\text{para un peso del cuerpo de 70 Kg})$$

Considerando la resistencia de un cuerpo humano y la resistencia eléctrica de contacto entre el pie y la tierra (esta resistencia depende la resistividad del suelo  $\rho$  en Ohmios – metro). Las ecuaciones fueron desarrolladas por la industria de Potencia Eléctrica para predecir el voltaje máximo que puede tolerar “de la mano a pie” (*Voltaje*



|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 33 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 33 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 33 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

de Toque) o de “pie a pie” (*Voltaje de Paso*) para varios pesos del cuerpo, estos se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$V_{\text{paso}} = (1.000 + 6 \rho) \times 0.157 / \sqrt{t_s} \quad (\text{ para peso del cuerpo de 70 Kg})$$

$$V_{\text{toque}} = (1.000 + 1.5 \rho) \times 0.157 / \sqrt{t_s} \quad (\text{ para peso del cuerpo de 70 Kg})$$

$$V_{\text{toque}} = (1.000 + 1.5 \rho) \times 0.116 / \sqrt{t_s} \quad (\text{ para peso del cuerpo de 50 Kg})$$

Donde:

$\rho$  : Resistividad del suelo 118 Ohm-m, donde está la persona

$t_s$  : Duración de la falla 0.30 (300 ms) segundos (valor suministrado por Codensa)

$V_{\text{paso}}$  : Voltaje de paso en voltios

$V_{\text{toque}}$  : Voltaje de toque en voltios

El valor utilizado para la resistividad ( $\rho$ ) en esta ecuación, es la resistividad del material donde están soportados los pies.

### Cálculo voltaje de paso

$$V_{\text{paso}} = (1.000 + 6 \times 118) \times 0.157 / \sqrt{0.30} = 486 \text{ Voltios}$$

$$V_{\text{paso}} = 486 \text{ Voltios}$$

### Cálculo voltaje de toque

$$V_{\text{toque}} = (1.000 + 1.5 \times 118) \times 0.157 / \sqrt{0.30}$$



$$V_{\text{toque}} = 335 \text{ Voltios}$$

El máximo voltaje de toque que una persona podría resistir es de 335 voltios y el voltaje de paso es de 486 voltios.

### Sistema de mitigación

Se detallan a continuación las dos formas en que se pueden controlar los voltajes de toque y de paso.

1. Para controlar el voltaje de toque al cual está expuesta una persona durante una falla, se instala un espiral de “cinta de Zinc” en el perímetro alrededor del accesorio y se complementa con una capa de 0.15 m de “piedra triturada”. El espiral es una “Cinta de zinc” (Zinc Ribbon) conectado a la tubería con soldadura cadweld, y se instala con una longitud de 6.50 metros a una profundidad de 0.50 metros. El espiral aumenta el voltaje de la tierra durante una falla y minimiza la diferencia de

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 34 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 34 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 34 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

voltaje entre la mano que está tocando la tubería y los pies. Ver dibujo estaciones de prueba.

2. Para aumentar el voltaje de toque tolerable, también se coloca alrededor del sitio una capa de 0.15 m de piedra triturada de tamaño entre 3 y 5 centímetros en una franja de 1 metro alrededor del accesorio, la resistividad de la piedra debe ser entre 2.000 y 3.000 Ohmios-metro, en la vecindad del accesorio o de la estación de prueba; en esta forma se aumenta significativamente el voltaje que puede ser tolerado por una persona en caso de una falla. Con esta capa de piedra el potencial de toque tolerable llega a superar el voltaje de la tubería a tierra y por lo tanto la tubería es segura. De igual manera se obtiene instalando la cinta de Zinc (Zinc Ribbon).

Se calcula el voltaje que puede tolerar una persona con peso de 50 Kg adicionando la cinta de Zinc y la capa de piedra triturada, esta persona está en un suelo con resistividad de 2.000 Ohm-metro en el sitio del accesorio de la tubería. El potencial de toque tolerable se convierte en:

$$V_{\text{toque}} = (1.000 + 1.5 \rho) \times 0.116 / \sqrt{t_s} \quad (\text{para peso del cuerpo de 50 Kg})$$

$$V_{\text{toque}} = (1.000 + 1.5 \times 2.000) \times 0.116 / \sqrt{0.3}$$



$$V_{\text{toque}} = 840 \text{ Voltios}$$

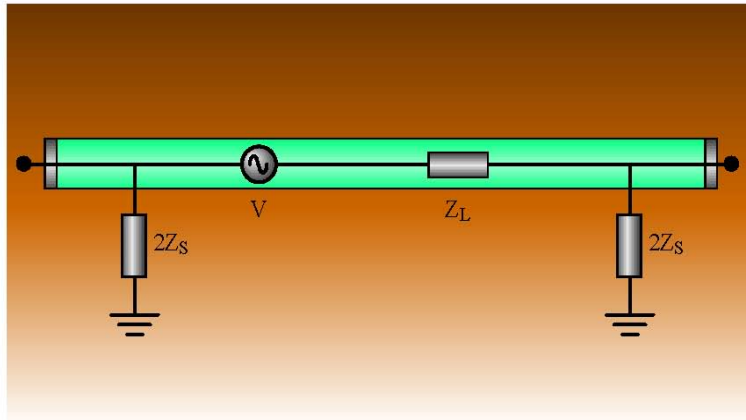
El potencial de toque tolerable se convierte en 840 Voltios el cual excede los 355 voltios calculados con la resistividad de terreno. Los sitios en donde se deben hacer estas instalaciones se relacionan más adelante.

### 3.4. Control de voltajes Inducidos AC y voltajes de Paso y Toque

#### 3.4.1. Voltajes Inducidos AC

Para controlar y mitigar los voltajes inducidos AC en la tubería y tener niveles de seguridad en esta, es necesario tenerla conectada a tierra. Aterrizar la tubería tiene el mismo efecto que remplazar un revestimiento bueno por uno de baja calidad (baja eficiencia), esto es, bajando la impedancia  $Z_s$ . Con la tubería a tierra se reducen los voltajes producidos por el flujo de la corriente AC. Ver figura 11

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 35 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 35 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 35 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |



**Figura 11. Modelo simplificado AC de una sección de tubería**



Para efectuar el control de los Voltajes Inducidos AC, es necesario instalar un ánodo de Zinc de 18 libras (preempacados en un backfill de yeso y bentonita), conectado a la tubería con soldadura Cadweld) a 2 metros de distancia perpendicular, en los sitios de las discontinuidades eléctricas en el K24+965 (boca de acceso en la primera discontinuidad), en el K25+283 (purga), en el K29+737 (boca de acceso ) y en el K29+918 (Válvula V-23 en la segunda discontinuidad). Ver Tabla 11.

**Tabla No. 11. Localización de Instalación de ánodos de Zinc de 18 libras**

| No. | Localización | Número Ánodos de Zinc | Accesorio de Tubería                  |
|-----|--------------|-----------------------|---------------------------------------|
| 1   | PK 24+965    | 1                     | Boca de acceso (Cl. 182)              |
| 2   | PK 25+283    | 1                     | Purga (Cl. 180)                       |
| 3   | PK 29+737    | 1                     | Boca de acceso (Cl. 131)              |
| 4   | PK 29+918    | 1                     | Válvula V-23 (Cl. 129)                |
| 5   | PK50+289     | 1                     | Válvula V-43 (Glorieta Autopista Sur) |

### 3.4.2. Voltajes de Paso y de Toque




Para efectuar el control y mitigación de los Voltajes de Paso y de Toque, es necesario instalar cinta de Zinc de 1" x 9/16" (Zinc Ribbon) con aleación Plattine II de 6 metros de longitud en los sectores donde las líneas de Alto Voltaje van paralelas a la tubería, en forma de espiral de 1 metro de diámetro en los accesorios de la tubería como Válvulas, bocas de acceso y purgas, así como en las estaciones de prueba a una

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 36 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 36 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 36 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

profundidad de 0.50 metros por debajo del nivel del piso de cada accesorio o estación en el terreno natural. Para aumentar el voltaje de toque tolerable, también se coloca adicionalmente alrededor del sitio una capa de 0.15 m de piedra triturada de tamaño entre 3 y 5 centímetros en una franja de 1 x 1 metro alrededor del accesorio o estación de prueba; la resistividad de la piedra debe ser entre 2.000 y 3.000 Ohmios-metro, en esta forma se aumenta significativamente el voltaje que puede ser tolerado por una persona en caso de una falla. Con esta capa de piedra el potencial de toque tolerable llega a superar el voltaje de la tubería a tierra y por lo tanto la tubería es segura. Los sitios establecidos para la instalación se detallan en la tabla No. 12.

**Tabla 12. Localización sitios para el Control de Voltajes Inducidos, de Paso y de Toque**

| ID | ABSCISA | CONTROL DE VOLTAJE     | Tipo de Control                | ACCESORIO TUBERIA          | LOCALIZACIÓN         |
|----|---------|------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------|
| 1  | K22+720 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Purga                      | Cl. 200              |
| 2  | K23+151 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | Cl. 198              |
| 3  | K23+769 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | ----                 |
| 4  | K24+324 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | Urbanización Marantá |
| 5  | K24+530 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Válvula V-15 A             | ----                 |
| 6  | K24+965 | Paso, toque e Inducido | Cinta de Zinc<br>Ánodo de Zinc | Boca Acceso                | Cl. 182              |
| 7  | K25+283 | Pas, toque e Inducido  | Cinta de zinc<br>Ánodo de Zinc | Purga                      | Cl. 180              |
| 8  | K23+589 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | ----                 |
| 9  | K26+246 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | Cl. 167 A            |
| 10 | K26+906 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | Cl. 161              |
| 11 | K27+354 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Válvula V-15 B             | Cl. 154              |
| 12 | K27+624 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | -----                |
| 13 | K27+862 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Válvula $\Phi$ 60"         | -----                |
| 14 | K28+162 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | Cl. 145              |
| 15 | K28+790 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | Cl. 140              |
| 16 | K29+737 | Paso, toque e Inducido | Cinta de Zinc<br>Ánodo de Zinc | Boca Acceso                | Cl. 131              |
| 17 | K29+918 | Paso, toque e Inducido | Cinta de Zinc<br>Ánodo de Zinc | Válvula V-23               | Cl. 129              |
| 18 | K42+534 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | Cl. 13               |
| 19 | K43+288 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | Av. Cl. 12           |
| 20 | K44+078 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Válvula V-42               | Diagonal 9           |
| 21 | K44+191 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | Cl. 8B               |
| 22 | K47+965 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Purga                      | Transv. 72F          |
| 23 | K48+025 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Válvula $\Phi$ 60" y Purga | Transv. 72F          |
| 24 | K48+621 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso                | -----                |

|   |   |  |  |  |
|---|---|--|--|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> |  | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b> |  |
|   | <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b> |  | <b>RTC-IF-EL-004</b> <b>VERSIÓN: 0</b><br><b>PAGINA 37 de 66</b><br><b>FECHA: 2008-07-09</b> |




| ID | ABSCISA | CONTROL DE VOLTAJE     | Tipo de Control                | ACCESORIO TUBERIA   | LOCALIZACIÓN              |
|----|---------|------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|
| 25 | K49+581 | Paso y toque           | Cinta de Zinc                  | Boca Acceso y Purga | Cr. 63 – Diagonal a Makro |
| 26 | K50+398 | Paso, toque e Inducido | Cinta de Zinc<br>Anodo de Zinc | Válvula V - 43      | Glorieta Autopista Sur    |

### Estaciones de prueba

Para poder mitigar las interferencias y establecer y evaluar su estado, se utilizan e instalan las estaciones de prueba. En esta tabla están incluidas las estaciones diseñadas para las interferencias en corriente continua DC (con el Gasoducto, Ecopetrol y con otras tuberías de EAAB), en corriente alterna AC (con las líneas de Alto Voltaje de Codensa) para voltajes Inducidos AC y para medidas de potencial de la tubería en los tramos 1, 2 y 3 complementarias a las instaladas para las interferencias, las que se relacionan en la Tabla 13.



**Tabla No 13. Localización Estaciones de Prueba para Medidas de Potencial e Interferencias**

| ID | ABSCISA | ESTACIÓN TIPO | Tipo Interferencia   | Diámetro Pulgadas | IDENTIFICACIÓN              | LOCALIZACIÓN Y OBSERVACIONES  |
|----|---------|---------------|----------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 1  | K0+540  | I             | Medida potencial     | ---               | ---                         | Boca Acceso                   |
| 2  | K2+030  | II            | Cruce No. 1          | 14                | Gasoducto                   | Vía Acceso Aposentos          |
| 3  | K2+056  | I             | Medida potencial     | ---               | Tubería                     | Boca Acceso                   |
| 4  | K4+600  | I             | Medida potencial     | ---               | Tubería                     | Boca Acceso                   |
| 5  | K5+500  | I             | Medida potencial     | ---               | Tubería                     | Boca Acceso                   |
| 6  | K7+301  | I             | Medida potencial     | ---               | Tubería                     | Boca Acceso                   |
| 7  | K9+721  | I             | Medida potencial     | ---               | Tubería                     | Boca Acceso                   |
| 8  | K11+838 | I             | Medida potencial     | ---               | Tubería                     | Boca Acceso                   |
| 9  | K13+640 | I             | Medida potencial     | ---               | Tubería                     | Boca Acceso                   |
| 10 | K15+286 | I             | Medida potencial     | ---               | Tubería                     | Boca Acceso                   |
| 11 | K17+403 | I             | Medida potencial     | ---               | Tubería                     | Boca Acceso                   |
| 12 | K19+391 | III           | Paralelismo – Inicio | 14                | Gasoducto 6.9 Km            | Boca Acceso                   |
| 13 | K21+079 | III           | Paralelismo          | 14                | Gasoducto                   | Boca Acceso                   |
| 14 | K23+510 | II            | Cruce No. 2          | 6                 | Gasoducto Final Paralelismo | Conexión a Gasoducto          |
| 15 | K24+918 | II            | Cruce No. 3          | 4                 | Gasoducto                   | Conexión a Gasoducto          |
| 16 | K24+965 | I             | Anodo de Zinc        | ---               | ---                         | Boca Acceso                   |
| 17 | K25+283 | I             | Anodo de Zinc        | ---               | ---                         | Purga                         |
| 18 | K26+246 | III           | Paralelismo Final    | ---               | Gasoducto                   | Boca Acceso                   |
| 19 | K27+460 | II            | Cruce No. 4          | 8                 | Gasoducto                   | Conexión a Gasoducto en anden |

|   |   |  |  |  |
|---|---|--|--|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> |  | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b> |  |
|   | <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b> |  | <b>RTC-IF-EL-004</b> <b>VERSIÓN: 0</b> |
|   |   |  |  | <b>PAGINA 38 de 66</b>                 |
|   |   |  |  | <b>FECHA: 2008-07-09</b>               |

| ID | ABSCISA | ESTACIÓN TIPO | Tipo Interferencia | Diámetro Pulgadas | IDENTIFICACIÓN         | LOCALIZACIÓN Y OBSERVACIONES          |
|----|---------|---------------|--------------------|-------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 20 | K29+737 | I             | Anodo de Zinc      | ---               | ---                    | Boca Acceso                           |
| 21 | K29+918 | I             | Anodo de Zinc      | ---               | ---                    | Válvula V-23                          |
| 22 | K30+287 | II            | Cruce No. 5        | 14                | Gasoducto              | Conexión a Gasoducto en anden         |
| 23 | K30+770 | III           | Paralelismo 65 m   | 4                 | Gasoducto              | Purga                                 |
| 24 | K31+682 | II            | Cruce No. 6        | 4                 | Gasoducto              | Conexión a Gasoducto en andén         |
| 25 | K33+610 | II            | Cruce              | 78                | L. Wiesner-Suba        | Av. Boyacá (EAAB)                     |
| 26 | K33+997 | I             | Medida potencial   | ---               | Tubería                | Boca Acceso                           |
| 27 | K35+716 | III           | Paralelismo        | 6                 | Gasoducto              | Boca Acceso                           |
| 28 | K37+528 | II            | Cruce No. 7        | 4                 | Gasoducto              | Boca Acceso                           |
| 29 | K38+758 | II            | Cruce No. 8        | 10                | Gasoducto              | Conexión a Gasoducto en andén         |
| 30 | K39+051 | II            | Cruce No. 9        | 4                 | Gasoducto              | Purga                                 |
| 31 | K40+764 | II            | Cruce No. 10       | 4                 | Gasoducto              | Purga                                 |
| 32 | K41+573 | II            | Cruce              | 10                | Poliducto-Jetducto ECP | Av. Boyacá – Línea Férrea, salida 30” |
| 33 | K41+830 | II            | Cruce No. 11       | 4                 | Gasoducto              | En Zona verde                         |
| 34 | K42+534 | II            | Cruce No. 12       | 8                 | Gasoducto              | Boca Acceso                           |
| 35 | K43+150 | II            | Cruce No. 13       | 4                 | Gasoducto              | En Zona verde                         |
| 36 | K45+120 | II            | Cruce No. 14       | 14                | Gasoducto              | Conexión a Gasoducto en andén         |
| 37 | K46+580 | II            | Cruce No. 15       | 4                 | Gasoducto              | En Zona verde                         |
| 38 | K47+800 | II            | Cruce              | 42                | L. Silencio-C/blanca   | Av. Boyacá (EAAB)                     |
| 39 | K48+520 | II            | Cruce              | 42                | L. Silencio-C/blanca   | Transv. 61 (EAAB)                     |
| 40 | K49+460 | II            | Cruce No. 16       | 4                 | Gasoducto              | Conexión a Gasoducto en andén         |
| 41 | K49+581 | II            | Cruce              | 42                | L. Silencio-C/blanca   | Boca ACC.– Diag. S. Makro (EAAB)      |
| 42 | K50+289 | I             | Ánodo de Zinc      | ---               | ---                    | Válvula V-43 (Glorieta A. Sur)        |
| 43 | K50+380 | II            | Cruce              | 42                | L. Silencio-C/blanca   | Glorieta Autopista Sur                |
| 44 | K50+422 | II            | Cruce No. 17       | 4                 | Gasoducto              | Glorieta Autopista Sur                |
| 45 | K51+060 | II            | cruce              | 42                | Línea a Cazucá         | Av. Ciudad Villavicencio (EAAB)       |
| 46 | K51+068 | II            | Cruce No 18        | 8                 | Gasoducto              | Av. Ciudad Villavicencio (EAAB)       |
| 47 | K51+750 | II            | Cruce              | 42                | L. Silencio-C/blanca   | Vía de acceso (EAAB)                  |
| 48 | K52+028 | I             | Medida potencial   | ---               | Tubería                | Purga                                 |

El criterio para el distanciamiento y la ubicación de las estaciones de prueba y monitoreo para medir los potenciales eléctricos (P/S) en los tramos 1, 2, y 3 de la tubería es de cada 1.5 Km en promedio, y para los voltajes Inducidos AC en los sitios de paralelismo con las líneas de A. Voltaje en los sitios de instalación de los ánodos de Zinc, utilizando los accesorios que están conectados a la tubería, en donde se instalarán las estaciones de prueba.

|   |   |  |                   |
|---|---|--|-------------------|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> |  |                   |
|   |   | <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |                   |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <b>RTC-IF-EL-004</b>   | <b>VERSIÓN: 0</b> |
|   |   | <b>PAGINA 39 de 66</b>   |                   |
|   |   | <b>FECHA: 2008-07-09</b>   |                   |

#### 4. ESTUDIOS E INVESTIGACIONES DE CAMPO

Durante el desarrollo de los trabajos de estudio, se realizaron las siguientes investigaciones y mediciones en campo:

- Inspección visual de los sitios en donde se presentan las Interferencias con la tubería.
- Medidas de la resistividad del suelo en los sectores de paralelismos de las líneas de Alto Voltaje con la tubería.
- Medidas de potencial eléctrico DC y voltajes Inducidos AC en algunos sectores de la tubería

Metodología:




Se llevó a cabo la medición de resistividades del suelo en los sectores donde se presenta paralelismo con las líneas de Alto Voltaje de Codensa y de potenciales de la tubería al suelo.

##### 4.1 Medidas de resistividad del suelo en sectores de Líneas Alto Voltaje

Estas mediciones se hicieron utilizando el método de Wenner de los 4 electrodos con un equipo modelo Nilsson 400, se relacionan en la Tabla No 14.

**Tabla No. 14 Medidas de resistividad del suelo en sectores de Líneas de Alto Voltaje**

| Medida No. | ABSCISA | RESISTIVIDAD EN Ohm-cm - Profundidad |          |         | OBSERVACIONES         |
|------------|---------|--------------------------------------|----------|---------|-----------------------|
|            |         | A 1.0 m                              | A 1.50 m | A 2 m   |                       |
| 1          | K22+720 | 8.792                                | 7.442    | ---     | Autopista N – Cl. 200 |
| 2          | K23+153 | 7.536                                | 8.478    | ---     | Autopista Norte       |
| 3          | K23+769 | 12.560                               | 12.246   | ---     | Autopista Norte       |
| 4          | K23+719 | 29.516                               | 26.376   | 22.608  | Poste # 1016 A. Norte |
| 5          | K24+324 | 12.560                               | 15.072   | ---     | Autopista Norte       |
| 6          | K24+965 | 10.048                               | 13.188   | 124.344 | Autopista Norte       |
| 7          | K26+246 | 10.048                               | 7.253    | 4.145   | Autopista Norte       |
| 8          | K26+906 | 13.816                               | 10.362   | 7.787   | Autopista Norte       |

|   |   |   |                   |
|---|---|---|-------------------|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br> |                   |
|   |   | <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |                   |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <b>RTC-IF-EL-004</b>  | <b>VERSIÓN: 0</b> |
|   |   | <b>PAGINA 40 de 66</b>  |                   |
|   |   | <b>FECHA: 2008-07-09</b>  |                   |

| Medida No. | ABSCISA             | RESISTIVIDAD EN Ohm-cm - Profundidad |          |        | OBSERVACIONES           |
|------------|---------------------|--------------------------------------|----------|--------|-------------------------|
|            |                     | A 1.0 m                              | A 1.50 m | A 2 m  |                         |
| 9          | K28+162             | 10.048                               | 8.572    | 7.285  | Autopista Norte         |
| 10         | K29+737             | 10.676                               | 9.043    | 7.160  | Autopista N. – Cl. 131  |
| 11         | K34+993             | 2.951                                | 4.522    | 2.135  | Av. Boyaca – Cl. 98B    |
| 12         | K41+552             | 5.903                                | 4.898    | 3.391  | Rio. S. Francisco       |
| 13         | K43+192             | 2.261                                | 2.167    | 502    | Lafayeet diagonal       |
| 14         | K44+200             | 3.642                                | 3.014    | 2.638  | Subestación Bavaria     |
| 15         | K45+045             | 9.420                                | 10.174   | 13.565 | Av. Boyacá              |
| 16         | K47+925             | 3.266                                | 518      | ---    | Av. Boyaca – 2 torres   |
| 17         | K48+625             | 2.010                                | 405      | 125    | Transv. 72 D Bis        |
| 18         | K49+585             | 3.831                                | 3.485    | 2.386  | S. Makro – 150 m al sur |
| 19         | K50+150             | 1.821                                | 1.601    | 1.758  | 150 m antes Autop. Sur  |
|            | Estado del tiempo : | Lluvias, suelo húmedo                |          |        |                         |



El valor promedio de resistividad a 1.50 metros de profundidad es de 11.802 Ohm-cm. Este valor se ha utilizado en los cálculos para los voltajes inducidos.

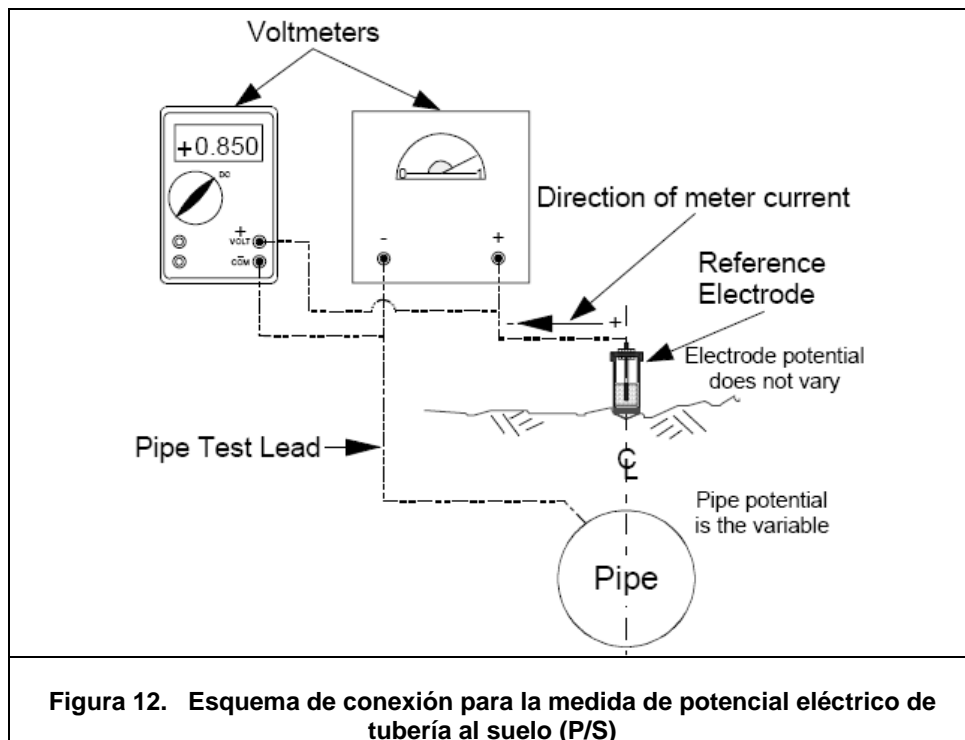
#### 4.2 Medidas de Potencial en DC (P/S) y Voltajes Inducidos AC

Se llevó a cabo la medición de potenciales eléctricos DC de la tubería al suelo (P/S) con el electrodo de cobre-sulfato de cobre contactando el suelo, efectuando las mediciones en las cajas de accesorios de acuerdo al esquema de la figura 12, los valores medidos se relacionan en la tabla 15.

Igualmente se realizaron lecturas de voltajes inducidos AC en la tubería, debidos a la influencia del paralelismo con las líneas de Alto voltaje, dichas mediciones se realizaron igualmente en las cajas de accesorios, los valores registrados se presentan en la misma tabla.





|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br>1-02-25400-514-2006  | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 41 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 41 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 41 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |



**Tabla No. 15. Medidas de Potenciales en DC (P/S) y de Voltajes Inducidos AC**

| CONS. | ABSCISA | V. DC.<br>(Voltios) | V AC.<br>(Milivoltios) | DESCRIPCIÓN<br>LOCALIZACION | FECHA<br>Lectura |
|-------|---------|---------------------|------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1     | K24+965 | -0.415              | 80.3 mV                | Boca Acceso - Cllé 183      | 11 de Junio      |
| 2     | K27+354 | -0.436              | 25.9 mV                | Válvula 15B – Cllé 153      | 11 de Junio      |
| 3     | K29+447 | -0.491              | 22.5 mV                | Purga – Cll 133             | 11 de Junio      |
| 4     | K29+737 | -0.434              | 13.1 mV                | Boca Acceso – Cll 131       | 11 de Junio      |
| 5     | K35+794 | -0.345              | ---                    | Válvula V-39 – Cll 80       | 13 de Mayo       |
| 6     | K36+947 | -0.608              | ---                    | Ventosa – Pte Cll 68        | 13 de Mayo       |
| 7     | K38+277 | -0.620              | ---                    | Ventosa                     | 13 de Mayo       |
| 8     | K49+585 | -0.501              | 39 mV                  | Boca Acceso – S. Makro      | 22 de Mayo       |
| 9     | K50+293 | -0.340              | 18 mV                  | Glorieta Autopista Sur      | 22 de Mayo       |

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 42 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 42 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 42 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

Las mediciones de potenciales tomadas en el tramo 2 (medidas 1, 2, 3, 4 y 5) reflejan el estado del tubo de acero de 72” (Camisa) con valores de potencial entre -0.345 y -0.491 voltios. Al analizar estos valores se establece que el acero de la tubería no está pasivado, quiere decir que no está protegido contra ataques por corrosión electroquímica u otros tipos; de acuerdo a al concepto de autores como P. Pedferri y L. Lazzari en su libro “PROTEZIONE CATODICA”. Los valores medidos indican que se puede estar presentado corrosión localizada en los sectores donde se tomaron las mediciones. Ver concepto de los mismos autores más abajo.

El objeto de realizar las lecturas de potencial es determinar y delimitar posibles zonas anódicas en las cuales el fenómeno de corrosión se presenta. Se presenta a continuación la tabla No 16 de valoración de las lecturas de potencial (P/S) extraída de la AWWA<sup>1</sup>:

**Tabla No. 16. Valoración de las lecturas de potencial de la tubería al suelo (P/S)**

| Potencial Con respecto al CSE (mV) | Posibles efectos   |
|------------------------------------|--|
| mayor ó igual a 50                 | Indicativos de descargas de corriente de la tubería al suelo                                 |
| 0 a -300                           | Pasivación normal del cemento Portland   |
| Más negativos a -300               | Corrosión en accesorios. Puede ser causada además por picos de corrientes de interferencias. |

-En el curso de NACE International Cathodic Protection CP-3, se determina que el potencial del acero en concreto, en suelo neutro es de -200 mV con relación al CSE.



-Se incluye el concepto de autores como P. Pedferri y L. Lazzari en su libro “PROTEZIONE CATODICA” en el capítulo 21 “Potenziale delle armature in strutture esposte alla atmosfera o enterrate” presenta:

Potencial (Milivoltios Vs Cu/CuSO<sub>4</sub>)

-“En el caso de la armadura expuesta a la atmósfera, el potencial está entre: 100 y -200 mV Vs Cu/CuSO<sub>4</sub> - (pasivo).

-Valores más bajos de -250 mV indican la presencia del fenómeno de corrosión localizada – (puede ser pitting)”.  
 -Valores aun más bajos de potencial, un ejemplo alrededor de -500 mV solo indica el fenómeno de corrosión generalizada”.

<sup>1</sup> AWWA. American Water Works Association. *Manual M-9. Concrete Pressure Pipe.*

|   |   |  |                   |
|---|---|--|-------------------|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> |  |                   |
|   |   | <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |                   |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <b>RTC-IF-EL-004</b>   | <b>VERSIÓN: 0</b> |
|   |   | <b>PAGINA 43 de 66</b>   |                   |
|   |   | <b>FECHA: 2008-07-09</b>   |                   |



Los potenciales medidos en campo se tomaron en los accesorios (Válvulas, bocas de acceso y purgas) instalados en la tubería, accesorios que están en contacto con la tubería.

#### 4.3 Interferencias con la Red de Gas Natural

Se ha efectuado el inventario de los cruces y paralelismos que se presentan con las tuberías de acero de Gas Natural, que tienen instalados sistemas de protección catódica para la protección de sus tuberías, estos se detallan a continuación en la tabla No 17.

**Tabla No 17. Interferencias con la Red de Gas Natural y Transcogas**

| ID | TIPO        | ABSCISA           | DIAMETRO (plg) | Distancia paralelismo (m) | IDENTIFICACIÓN GASODUCTO | LOCALIZACIÓN   |
|----|-------------|-------------------|----------------|---------------------------|--------------------------|--|
| 1  | CRUCE       | K2+030            | 14             |                           | GUACARÍ - BRICEÑO        | Transcogas - Vía de acceso vereda Aposentos, antes del embalse |
| 2  | PARALELISMO | K19+380 A K25+140 | 14             | 36                        |                          | 300m antes del parque BIMA a cll 179                           |
| 3  | CRUCE       | K23+500           | 6              |                           |                          |  |
| 4  | CRUCE       | K24+912           | 4              |                           |                          |  |
| 5  | PARALELISMO | K25+140 A K25+650 | 14             | 21 y 15                   |                          | Calle 179 - Portal Transmilenio                                |
| 6  | PARALELISMO | K26+000 A K26+300 | 4              | 56                        | TEXACO - ORION           |  |
| 7  | CRUCE       | K27+460           | 8              |                           | AC153 RAMAL CEDRITOS     |  |
| 8  | PARALELISMO | K29+772 A K29+820 | 4              | 63                        |                          |  |
| 9  | CRUCE       | K30+282           | 14             |                           | CALLE 131                |  |
| 10 | PARALELISMO | K30+780 A K30+840 | 4              | 6                         |                          |  |
| 11 | CRUCE       | K31+682           | 4              |                           |                          |  |
| 12 | PARALELISMO | K35+400 A K35+800 | 4              | 18 y 32                   |                          |  |
| 13 | PARALELISMO | K36+263 A K36+293 | 4              | 48                        |                          |  |
| 14 | CRUCE       | K37+509           | 4              |                           |                          |  |
| 15 | CRUCE       | K38+757           | 10             |                           |                          |  |
| 16 | CRUCE       | K39+048           | 4              |                           |                          |  |
| 17 | CRUCE       | K40+239           | 4              |                           |                          |  |
| 18 | CRUCE       | K41+348           | 4              |                           |                          |  |
| 19 | CRUCE       | K42+530           | 8              |                           |                          |  |
| 20 | PARALELISMO | K42+530 a k43+150 | 4              | 15                        |                          |  |
| 21 | CRUCE       | K43+150           | 4              |                           |                          |  |
| 22 | CRUCE       | K45+115           | 14             |                           |                          |  |
| 23 | CRUCE       | K46+580           | 4              |                           |                          |  |
| 24 | CRUCE       | K49+454           | 4              |                           |                          |  |

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 44 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 44 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 44 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

| ID | TIPO        | ABSCISA           | DIAMETRO (pulg) | Distancia paralelismo (m) | IDENTIFICACIÓN GASODUCTO | LOCALIZACIÓN                           |
|----|-------------|-------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|--|
| 25 | CRUCE       | K50+412           | 4               |                           |                          |  |
| 26 | CRUCE       | K51+066           | 4               |                           |                          | Av. Ciudad de Villavicencio-CII 53 Sur |
| 27 | PARALELISMO | K50+412 A K51+348 | 10              | 15 y 18                   |                          |  |

Estas interferencias se presentan en sectores de la tubería Tibitoc en donde hay camas anódicas instaladas para la protección de la tubería de Gas, localizadas en la calle 144 con Cra. 38 (Sta. Helena) y Cra. 69 con calle 12 (barrio el Ferrol).

#### 4.4 Interferencias con las tuberías de la Red Matriz de la EAAB

Con estas líneas también se presentan Interferencias por cruces y paralelismos, aunque en la actualidad no tienen instalados sistemas de protección catódica, posteriormente van a ser reconstruidos y se debe dejar previsto el control a ser implementado, a continuación se detallan los sitios de ubicación de cruces y paralelismos:

##### Cruces con la prolongación (línea Suba) de Av. 127 al tanque de Suba

En K33+610 Cruce

##### Cruces y paralelismo con la línea Silencio a Casablanca

En K 47+800 Cruce y paralelismo  
 En K 48+520 Cruce  
 En K 49+581 Cruce y paralelismo  
 En K 50+380 Cruce  
 En K 51+750 Cruce

##### Cruce con la línea a Cazucá en el K51+080 Cruce



#### 4.5 Interferencias con las tuberías del Poliducto y Jetducto de Ecopetrol

En K 41+573 Cruce y paralelismo

#### 4.6 Interferencias en sectores de paralelismo con líneas de alto Voltaje

##### Sector Autopista Norte

1. Sector Cementerios, paralelismo desde la K22+800 (Cl. 200) a K25+170 (Cl. 180), líneas de 115 KV en postes metálicos, longitud 2.300 metros.

|   |   |  |                               |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|-------------------------------|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> |    |                               |  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1127 283 1484 304"><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b></td> </tr> <tr> <td data-bbox="1127 304 1344 325">RTC-IF-EL-004</td> <td data-bbox="1344 304 1484 325">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1127 325 1484 346">PAGINA 45 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1127 346 1484 365">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b> |  | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 45 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |   |  |                               |  |               |            |                 |  |                   |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |                               |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 45 de 66   |   |  |                               |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |                               |  |               |            |                 |  |                   |  |

2. Centro Comercial Santafé, paralelismo desde K26+100 (Cl. 183) a K29+900 (Cl. 129), líneas de 115 KV en postes metálicos, longitud 3.850 metros.

### **Sector Avenida Boyacá**



1. Sector Avenida Boyacá con Calle 127 desde la Avenida Lara Bonilla hasta la Calle 116, paralelismo líneas de 115 KV en postes metálicos, longitud 800 metros.

2. Sector Avenida Boyacá entre la Avenida Centenario (calle13) y Av. Las Américas, paralelismo líneas de 115 KV en postes metálicos, longitud 2.400 metros.

### **Sector Avenida Ferrocarril**

1. Sector de la Avenida del Ferrocarril (CL. 72 D Bis sur) entre la Avenida Boyacá y la Cr. 72 G, paralelismo líneas de 115 KV en postes metálicos y la tubería gira al sur, con longitud 640 metros.

2. Sector Avenida del Ferrocarril entre el río Tunjuelo (S. Makro) y la Autopista del Sur con Avenida Ciudad de Villavicencio, paralelismo líneas de 115 KV y 57 KV en postes metálicos, longitud 1.100 metros.

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 46 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 46 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 46 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

## 5 ANTECEDENTES Y CONSECUCIÓN DE INFORMACIÓN

### 5.1. Estudios previos

Se desarrollaron los Estudios de agresividad del suelo y valoración de los factores de corrosión de la tubería Tibitoc a Casablanca en el año 2007 por el Consorcio Tibitoc 2006.

### 5.2. Características de la línea

La tubería de acueducto Tibitoc – Casablanca fue construida y dada al servicio hace 35 años (año 1972), para transportar el agua potable que se produce en la planta de Tibitoc, localizada en el cerro del mismo nombre en jurisdicción del municipio de Tocancipá, hasta el tanque Casablanca ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar en sector sur de la ciudad de Bogotá.

La Línea de 78" Tibitoc – Casablanca fue construida en tubería del tipo PCCP (Prestressed Concrete Cylinder Pipe) fabricada e instalada por American Pipe and Construction Int. En este tipo de tubería existen dos subtipos LCP (Lined-Cylinder Pipe) en el cual los cables de refuerzo van enrollados directamente sobre la lámina y el ECP (Embedded-Cylinder Pipe) en el cual el cilindro de acero está embebido en el núcleo y el acero de refuerzo se envuelve sobre el núcleo de concreto. Ver figuras 13 y 14.

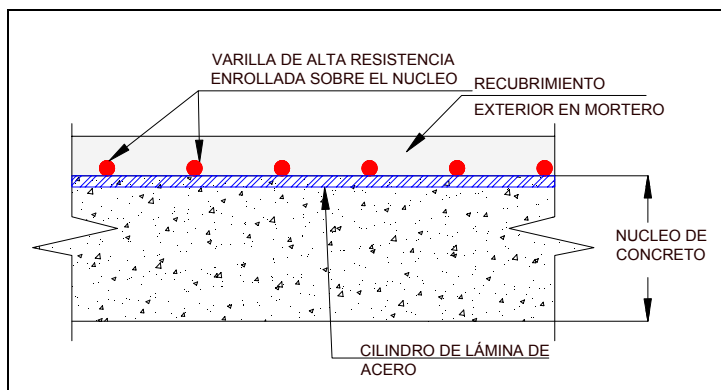


Figura 13. Sección tubería PCCP tipo LCP

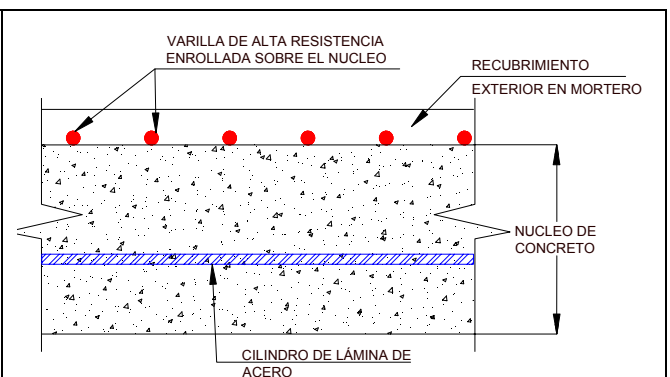




Figura 14. Sección tubería PCCP tipo ECP (TUBERÍA TIBITOC – CASABLANCA)

Los tubos ó piezas estándar se construyeron de 4 y 7 metros de longitud y fueron fabricados de acuerdo con la norma AWWA C-301/ 64, se aprecia la sección con los elementos que componen el tubo, se describen a continuación algunos de los elementos:

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 47 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 47 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 47 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

-Núcleo de concreto de 5 3/4" de espesor.

-Cilindro de lámina de acero calibre 16(1.52mm), probado hidrostáticamente antes de ser embebido en el concreto, para garantizar la impermeabilidad del tubo.

-Varilla de alta resistencia, enrollada sobre el núcleo a una tensión controlada para hacer del tubo una estructura capaz de soportar la presión interna y las cargas externas a que está sometido, se utilizaron tres tipos de cables 0.162" (4.11mm), 0.192" (4.88mm) y 0.25" (6.35mm)



-Unión metálica (espigo-campana) con empalme de caucho que garantiza una junta estanca.

-Recubrimiento exterior de mortero aplicado a chorro, que proporciona a la varilla de tensionamiento un recubrimiento total y la protege de la corrosión y los agentes externos.

La ficha técnica de la tubería (para los tramos 1 y 3) se presenta a continuación:

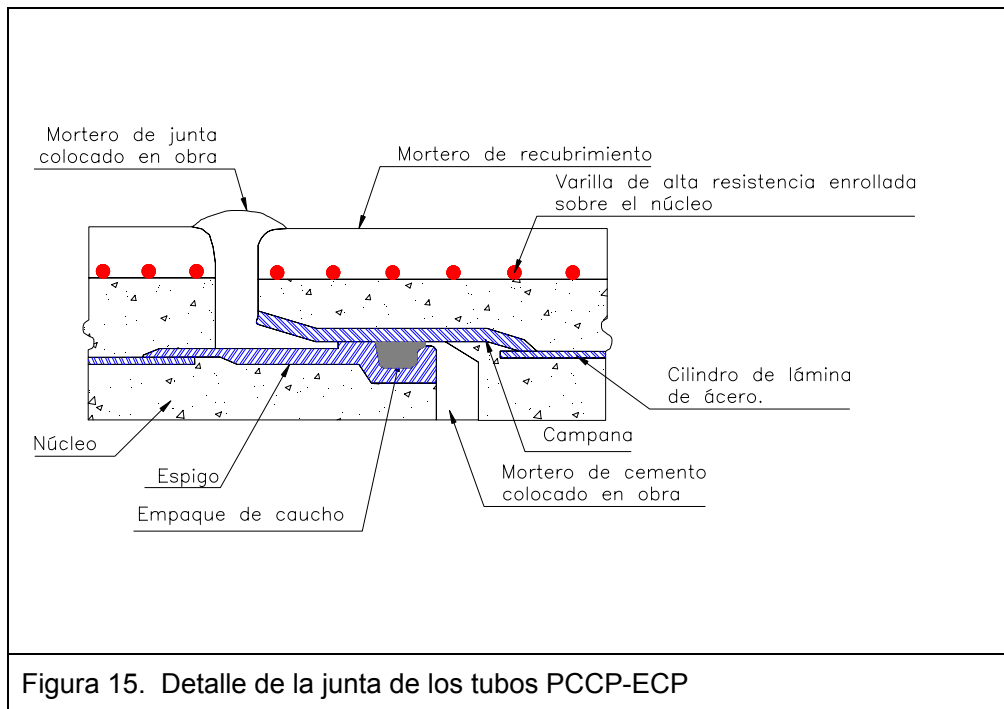
|  |                                 |               |
|--|---------------------------------|---------------|
| Norma  | PCCP-ECP AWWA C-301/64          |               |
| Fabricante                                   | American, Pipe and Construction |               |
| Di= Diámetro interno del tubo                | mm                              | 2,000         |
| hc= espesor del nucleo                       | plg                             | 5.75          |
| hm= espesor del mortero de recubrimiento     | plg                             | 1             |
| Dy= Diámetro exterior del cilindro de acero  | plg                             | 82.7          |
| ty= Espesor del cilindro de acero            | mm                              | 1.52          |
| f'c=Resistencia a la compresión del concreto | psi                             | 4,000 - 6,000 |
| fsg=Esfuerzo de tensionamiento del cable     | psi                             | 189,000       |
| fsu=Resistencia del cable de preesfuerzo     | psi                             | 252,000       |
| Clase cables de acero                        | ASTM C227-Clase II              |               |
| fyy=Resistencia a la cedencia del cilindro   | psi                             | 33,000        |

En el tramo 2 (Rehabilitado) la conducción es la camisa interna en acero y la tubería PCCP proporciona el soporte pasivo requerido. La ficha técnica de la tubería en el tramo 2 se presenta a continuación:

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 48 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 48 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 48 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |




|  |                                    |        |
|--|------------------------------------|--------|
| Norma  | AWWA C-200<br>ASTM A 36            |        |
| Fabricante                                       | American, Pipe and<br>Construction |        |
| Di= Diámetro interno del tubo                    | mm                                 | 1,800  |
| hm= espesor del mortero de recubrimiento interno | mm                                 | 12     |
| Dy= Diámetro exterior del cilindro de acero      | mm                                 | 1,824  |
| ty= Espesor del cilindro de acero                | mm                                 | 11.5   |
| fy=Resistencia a la cedencia del cilindro        | psi                                | 36,000 |

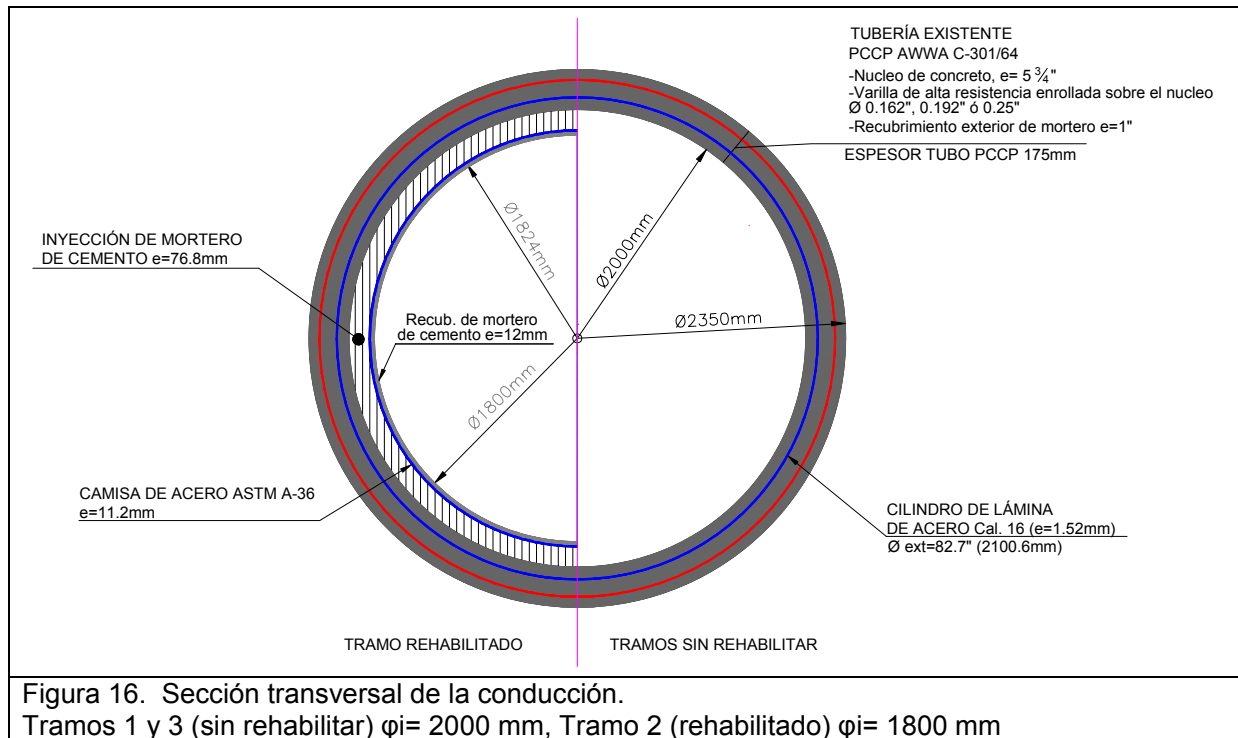
El detalle de las juntas espigo campana entre los tubos estándar se presenta a continuación en la figura No 15.



La sección típica tanto para el tramo rehabilitado (tramo 2) cómo para los tramos 1 y 3 se presenta a continuación en al figura No. 16.



|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 49 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 49 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 49 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |



Se instalaron válvulas de 60" y se utilizaron ampliaciones y reducciones a la entrada y a la salida de las mismas.

### 5.3. Consecución de Información



Se procedió a obtener la información necesaria para los estudios de Interferencias con las siguientes empresas:

Gas Natural, que suministró los documentos y planos de las redes de gas y de los sistemas de protección catódica instalados para el control de la corrosión en sus tuberías de acero.

Codensa, nos suministró parcialmente la información solicitada, sin embargo de algunos sectores de las líneas de Alto Voltaje no se recibió información, por lo tanto, solo fue posible realizar los estudios correspondientes de las afectaciones que se presentan en el sector de la Autopista Norte.

Transcogas, con esta empresa se presenta solamente un cruce en el K2+030 con el gasoducto que va a Zipaquirá.

Ecopetrol, con esta empresa se presentan dos cruces en el K41+170 con el Poliducto de Pto. Salgar- Pte. Aranda y con el Jetducto al aeropuerto El Dorado.



|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 50 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 50 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 50 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

## 6. PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DE INTERFERENCIAS



Para poder determinar la incidencia de las Interferencias en corriente continua DC, se requiere establecer (la afectación que se presenta en la tubería Tibitoc, procediendo a determinar el verdadero potencial de corrosión de la tubería, determinar y calcular (si es del caso) el tipo de mitigación más adecuado que se requiere, es necesario acordar con las empresas propietarias de los sistemas de protección catódica con las cuales se presentan Interferencias, los procedimientos a utilizar y coordinar el desarrollo necesario para el control de estas Interferencias; ejemplo, integrar un “comité interinstitucional” de las entidades involucradas.

El procedimiento para determinar la incidencia de las Interferencias y establecer la afectación es el siguiente:

- Medición de los potenciales de corrosión en las estaciones de prueba de la tubería en los cruces y paralelismos, haciendo la interrupción sincronizada por medio del ciclado ON – OFF (por medio del sistema GPS) simultáneamente los sistemas de protección catódica del Gasoducto de Gas Natural, del Poliducto y Jetducto de Ecopetrol, y del Gasoducto de Transcogas.
- Antes de proceder al ciclado, es necesario acordar y solicitar a las empresas propietarias de los sistemas de protección catódica, que realicen la calibración de sus sistemas para que el potencial polarizado de protección de sus tuberías, opere dentro del rango establecido por la Norma Nace Standard RP0169-2002 ó última revisión.
- El tiempo recomendado para el ciclado es:  
Para conectado ON : 1.50 segundos  
Para desconectado OFF : 500 milisegundos
- Una vez se establece la incidencia de las Interferencias (por medio de medidas de potencial y de corriente) en la tubería de Tibitoc, se determina el tipo de control y mitigación a ser implementado, de acuerdo a las soluciones expuestas en estos estudios “control y Mitigación de Interferencias” que son los establecidos actualmente por los estudios de especialización de Nace International o los que sean desarrollados y actualizados posteriormente por Nace International en fecha posterior a estos estudios.
- Estas actividades deben ser realizadas por un profesional de Ingeniería con experiencia certificada en “control y mitigación de Interferencias” y pleno conocimiento y estudios de la tecnología actual de Nace International en Corrosión Protección Catódica como “CP Design I, Theory and Data Interpretation, Cathodic Protection nivel 3 y otros”. De igual manera suministrar los equipos de medición adecuados con certificados de calibración menor a un año, el listado de los equipos, los procedimientos a ser desarrollados y los certificados de calibración deben ser sometidos a la aprobación de la Interventoría.

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 51 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 51 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 51 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |



- Los equipos requeridos para realizar estas actividades deberán ser de marcas reconocidas por su calidad como Fluke, Tinker & Razor, Mac Miller Co. entre otras, a continuación se detalla los equipos a ser utilizados:
- Interruptores de corriente de 40 y 60 amperios temporizados para operar con GPS
- Osciloscopios para registrar y graficar la onda rectificada de voltaje y los potenciales polarizados en tiempo real con capacidad adecuada de almacenamiento
- Voltímetros digitales de alta impedancia de entrada para medir potenciales DC en tiempo real
- Amperímetros de tenaza para AC Y DC
- Voltímetros registradores de tensión en AC y DC
- Electrodo de referencia de Cobre-Sulfato de cobre
- Resistencias variables calibradas para pruebas
- Se entregará un informe final con los registros de todas las mediciones, pruebas, cálculos, equipos y elementos utilizados en el control, mitigación y calibración de las interferencias.

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td data-bbox="1133 289 1344 315" style="text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td data-bbox="1352 289 1466 315" style="text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1133 321 1466 346" style="text-align: center;">PAGINA 52 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1133 352 1466 361" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 52 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 52 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

## 7 NORMAS DE REFERENCIA Y BIBLIOGRAFÍA

Para el desarrollo de los Estudios y diseño se tuvieron en cuenta los requerimientos y recomendaciones de las siguientes Normas técnicas:

- EAAB – Norma técnica NS-090 protección contra la corrosión y cargas vivas de tuberías en redes de Acueducto y Alcantarillado.
- AWWA Specification C301 Prestressed Concrete Pressure Pipe, steel-cylinder type (PCCP)
- Norma NACE RP0100-2000 Cathodic Protection of Prestressed Concrete Cylinder Pipelines.
- Norma NACE Standard RP-0169-2002 "Recommended Practice for Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems" última revisión.
- Norma NACE Standard RP 0286-97, "Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipelines" última revisión.
- Norma NACE Standard RP 0177-2000, "Mitigation of Alternating Current and lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control System" última revisión.
- Norma NACE RP0398 "Maintenance and rehabilitation Considerations for Corrosion Control of Existing Steel-Reinforced Concrete Structures"
- Norma ANSI/NFPA 70 NEC ."National Electric Code" última revisión.
- IEEE Standard 80
- Norma ASTM Standard G 57-95a "Standard Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using Wenner Four Electrode Method" última revisión.
- NACE Course manual CP2, CP3, CP4 y Theory and Data Interpretation de Nace Internacional.
- Manual M9 AWWA Capitulo 10. Principles of corrosion and corrosion control.
- Corrosion Control of Iron and C.P of Prestressed Concrete Cylinder Pipe año 2002, por R.A. Gummow, Corrosion Service Co.
- Canadian Standard Association CSA 22.3 No. 6-M, 1987. Principles and Practices of Electrical Coordination Between Pipelines and Electric Supply Lines.
- Electric Power Research Institute - EPRI
- ANSI/IEEE Std.80-1996" IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br>1-02-25400-514-2006  | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 53 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 53 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 53 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

## 8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES

### 8.1. Generalidades

A continuación se describen los requisitos generales que deben cumplir los equipos, materiales y elementos, que serán suministrados por el Contratista para el control de Interferencias.

### 8.2. Ánodos de Zinc

Los ánodos de Zinc de 18 libras serán de material de Zinc de “alta pureza-Hight purity”, tendrá un cable de cobre para conexión en No. 12 con aislamiento HMWPE ó THWN con 12 metros de longitud y deben cumplir con las dimensiones siguientes:

Largo : 36”  
Ancho : 1.4”  
Espesor : 1.4”

La aleación del ánodo debe cumplir con la composición química de la Norma ASTM B-418-01 que se detalla a continuación:

% Cd .... 0.003 max.  
% Fe .... 0.0014 max.  
% Pb .... 0.003  
% Zn .... El complemento



Las propiedades electroquímicas son las siguientes.

Potencial (Volts V.S Cu – CuSO4 Ref.) : -1.10 Voltios .  
Consumo (Rate) : 11.9 Lb Amp-Año  
Capacidad : 738 A-h/Kg  
Eficiencia : 90 %  
Capacidad : 738 A-h/Kg  
Velocidad de consumo : 11.9 Kg/A-y

### 8.3. Cinta de Zinc (Zinc Ribbon Anode)

La cinta de Zinc será de material de Zinc de “alta pureza-Hight purity” tipo estándar con aleación Plattine II de 6 metros de longitud, debe cumplir con las siguientes dimensiones de ½” x 9/16” con sección en forma rombo, la longitud estándar de fabricación es de 500 pies (152 metros), fabricado por Plattline de U.S.A.

La aleación del ánodo debe cumplir con la composición química de la Norma ASTM B-418-01 que se detalla a continuación:

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 54 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 54 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 54 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

% Cd .... 0.003 max.  
 % Fe .... 0.0014 max.  
 % Pb .... 0.003  
 % Zn .... El complemento

Las propiedades electroquímicas son las siguientes.

|                                       |                   |
|---------------------------------------|-------------------|
| Potencial (Volts V.S Cu – CuSO4 Ref.) | : -1.10 Voltios . |
| Consumo (Rate)                        | : 11.9 Lb Amp-Año |
| Capacidad                             | : 738 A-h/Kg      |
| Eficiencia                            | : 90 %            |
| Capacidad                             | : 738 A-h/Kg      |
| Velocidad de consumo                  | : 11.9 Kg/A-y     |

#### 8.4.Backfill (relleno) para los ánodos de Zinc

Los ánodos de Zinc de 12 libras estarán preempacados en un backfill (relleno) compuesto por una mezcla de 50% de yeso y 50% de Bentonita, dentro de una bolsa de algodón, el peso del backfill será de 10 libras.

#### 8.5.Cables Eléctricos



Los cables y alambres que se utilicen en corriente alterna y continua deben cumplir con las siguientes especificaciones:

Los conductores de cobre serán Clase B cableado, comprimido, no aleado, en concordancia con la norma ASTM especificación B-8 última edición.

El aislamiento serán de PVC y Nylon para operar a 90°C (THHN / THWN) ó con aislamiento HMWPE Polietileno de alto peso molecular) y deben cumplir con los requisitos físicos y eléctricos de la norma ASTM especificación D-1248 Tipo 1, Clase C, grado 5. El promedio del espesor del aislamiento debe ser 0.38 mm. Para calibre # 12 AWG a #10 AWG y cumplir con las Normas NTC-ICONTEC 1332, NTC 2050 y ANSI/NFPA 70 NEC.

#### 8.6.Estaciones de prueba

Las estaciones de prueba deben ser del tipo indicado en los planos, en tubo galvanizado de 4" de diámetro por 1.60 m de longitud y caja de conexiones con 6 terminales aislados, con tornillos, tuercas y arandelas fijados sobre una regleta de baquelita de 0.12 x 0.08 m, la estación estará instalada en una base de concreto de 0.60 x 0.60 x 0.60 m. La pintura será de Zinc inorgánico más esmalte de poliuretano resistente a los rayos UV del sol, tendrá un espesor de película de 12 mils de color

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br><br><b>1-02-25400-514-2006</b>                                 | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 55 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 55 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 55 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

amarillo, la preparación de la superficie será grado comercial SSPC-SP 10 y se requiere la aprobación de la Interventoría a la calidad de la pintura a ser utilizada.

Las estaciones de prueba cuando están localizadas en los sitios de accesorios, se instalarán dentro de las cajas de concreto de estos accesorios de la tubería (Válvulas, bocas de acceso y purgas), se componen de una caja de aluminio fundido de 6" x 6" con 6 terminales aislados, con tornillos, tuercas y arandelas fijados sobre una regleta de baquelita de 0.12 x 0.08 m, adosada al muro de concreto cerca la escalera de acceso, a una distancia de 0.80 m de la tapa superior; entre la caja de aluminio y el accesorio (Válvulas, bocas de acceso y purgas) se instalarán los cables de medición en tubería conduit Pvc de 1/2", asegurada al muro de concreto con grapas galvanizadas.

### **8.7.Soldadura exotérmica**

Para soldar los conductores eléctricos y la cinta de Zinc a la tubería se deberá utilizar soldadura thermite Cadweld en cartuchos tipo CA 15 de máximo 15 gramos, marca Erico products Inc. o similar. No se aceptará la aplicación de soldadura Cadweld en cercanías de las uniones soldadas de la tubería y la distancia mínima será de 50 cm del cordón de soldadura.

### **8.8.Electrodos de referencia de cobre- sulfato de cobre**



Los electrodos de referencia permanentes de Cobre-Sulfato de cobre deben ser de 3.8 cm de diámetro por 15.2 cm de largo, modelo SRE-007-CUY con 15 metros de cable AWG calibre No. 14 THWN de color amarillo, la estabilidad será de +/- 10 milivoltios con 3 microamperios de carga; fabricados por Boring Manufacturing ó similar, estarán contruidos para tener una vida útil de 20 a 25 años.

### **8.9.Conexiones aisladas**

Estas conexiones aisladas (Resin Splicing Kits) con resina, aseguran un adecuado aislamiento eléctrico entre la unión (empalme) del conductor eléctrico principal (feeder) y el conductor de cada ánodo, del ambiente exterior (suelo) evitando la entrada de humedad al empalme. Estas conexiones deben ser del tipo para uso subterráneo o sumergible con salida para conexión con derivación tipo 91-B1 Scotchcast o similar, con resina Scotchcast 4, fabricadas por 3M ó similar.

### **8.10.Reparación del revestimiento**

El revestimiento se debe reparar en el sitio donde se aplica la soldadura exotérmica sobre la tubería en un área de 0.12 x 0.12 m, para la reparación se debe utilizar una pintura epóxica con contenido de altos sólidos (de 80 a 100%) y que sea compatible

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br>1-02-25400-514-2006  | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 56 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 56 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 56 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

con el revestimiento existente y con un traslape de 0.03 m, con esta, previa preparación de la superficie.

### 8.11. Piedra triturada



La piedra triturada debe ser seleccionada con un tamaño de 3 a 5 cm, se extenderá en una capa uniforme de 0.15 a 0.20 metros de espesor alrededor del accesorio o estación de prueba con una extensión de 1 metro.

### 8.12. Certificados de calidad

El proveedor de los equipos y materiales debe anexar para cada material el certificado de calidad de fabricación y de materiales utilizados y cumplir con lo estipulado en estas especificaciones; los fabricantes deben tener certificación ISO 9000-2001.

De igual manera el Contratista debe indicar para cada material la marca o nombre del fabricante. Esta condición y la anterior son de obligatorio cumplimiento.



|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br>1-02-25400-514-2006  | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 57 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 57 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 57 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

## 9.ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTALACIÓN

### Alcance

Esta especificación cubre los requerimientos mínimos exigidos para el suministro, pruebas e instalación de los equipos y materiales para el control de las Interferencias de la Línea Tibitoc, para el control de los Voltajes Inducidos AC, voltajes de Toque y de Paso.

### 9.1.Instalación de ánodos de Zinc

#### Referencias

Como parte integrante de la especificación de instalación de ánodos, se deben tener en cuenta las siguientes normas.

- Norma Nace Standard RP0169-2002 Control de Corrosión Externa en Tuberías Metálicas enterradas o sumergidas.
- Norma Técnica Icontec NTC 2050 Código Eléctrico Nacional

#### Procedimiento



Localización de los puntos de instalación de los ánodos.

Previo al inicio de las actividades se contempla la ubicación de los sitios en los cuales se van a realizar las conexiones de los cables a la tubería, la instalación de los ánodos y de la estación de prueba.

Para la determinación de los anteriores puntos se tiene como referencia los planos típicos de instalación del diseño.

Los siguientes son los pasos utilizados para la instalación de los ánodos distribuidos:

- Perforar verticalmente un hueco de 10" de diámetro y 1.80 metros de profundidad. Los ánodos serán instalados a 1.80 metros de profundidad y a una distancia de 1 a 2 metros de la tubería.
- Bajar el ánodo, teniendo cuidado en dejarlo perfectamente centrado en el hueco y el cable por fuera del mismo, llenar el espacio anular entre el ánodo y el hueco con material seleccionado y ajustado.
- Una vez llenado el espacio anular, incorporar agua fresca hasta tapar completamente el ánodo y esperar por lo menos diez minutos, para que el ánodo se hidrate y se cree un buen contacto con el suelo.
- Empalmar el cable del ánodo al cable alimentador (en el caso de que el cable del ánodo no sea suficiente) del circuito, utilizando un conector tipo Burndy en cobre y luego encamisar esta conexión con un molde y resina 91- B1 de 3M.

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> |    |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b><br><table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 58 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 58 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 58 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

- Tapar y compactar con terreno natural la excavación, teniendo cuidado de no dañar el cable y las conexiones realizadas.
- Marcar la ubicación del ánodo con un cilindro de concreto de 0.15 m de diámetro por 0.35 m de longitud, fundido en el terreno natural.

### Medida y pago

El suministro e instalación del ánodo de Zinc se mide y paga por unidad (und.). La instalación del ánodo de Zinc se efectuará directamente en el terreno natural, el precio unitario incluye todos los trabajos de excavación, relleno de la zanja, recuperación de los espacios públicos y consumibles requeridos. Este precio será la compensación total y única que reciba el Contratista al completar el trabajo contratado y recibido a satisfacción por parte del Contratante.

El pago de este ítem se hará de acuerdo con los precios unitarios pactados en el contrato, en el pago debe considerarse igualmente el embalaje, el cargue, el descargue, el transporte hasta el sitio de la obra, el almacenaje, herramientas y equipos, necesarios para realizar los trabajos de acuerdo con el contrato.



### 9.2.Instalación de la cinta de Zinc (Zinc Ribbon)

La instalación de la cinta de Zinc de 1" x 9/16" (Zinc Ribbon) con aleación Plattine II de 6 metros de longitud, estará soldada con cadweld a la tubería o accesorios de Tibitoc (de no ser factible en algunos casos, se dejará sin soldar), en los sectores donde las líneas de Alto Voltaje van paralelas a la tubería, se efectuará en forma de espiral de 1 metro de diámetro en los accesorios de la tubería como Válvulas, bocas de acceso y purgas, así como en las estaciones de prueba a una profundidad de 0.50 metros por debajo del nivel del piso de cada accesorio o estación en el terreno natural libre de piedra, de acuerdo a como se establece en los planos. También se instalará adicionalmente alrededor del sitio una capa de 0.15 m de piedra triturada de tamaño entre 3 y 5 centímetros en una franja de 1 metro alrededor del accesorio o estación de prueba, en esta forma se aumenta significativamente el voltaje que puede ser tolerado por una persona en caso de una corriente falla.

### Medida y pago

El suministro e instalación de la cinta de Zinc se mide y paga por metro lineal (m) de cable. La instalación de la cinta de Zinc se efectuará directamente en el terreno natural ó por debajo del piso en las cajas de concreto de los accesorios, el precio unitario incluye todos los trabajos de excavación, relleno de la zanja, recuperación de los espacios públicos y consumibles requeridos. Este precio será la compensación total y única que reciba el Contratista al completar el trabajo contratado y recibido a satisfacción por parte del Contratante.

El pago de este ítem se hará de acuerdo con los precios unitarios pactados en el contrato, en el pago debe considerarse igualmente el embalaje, el cargue, el

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 59 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 59 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 59 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

descargue, el transporte hasta el sitio de la obra, el almacenaje, herramientas y equipos, necesarios para realizar los trabajos de acuerdo con el contrato.

### 9.3. Instalación de cable de cobre AWG No. 12 THWN ó HMWPE

#### Referencias

Como parte integrante de la especificación para el suministro e instalación de cables, se debe tener en cuenta la siguiente norma.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC

- NTC 2050. Código Eléctrico Nacional

Todos los procedimientos indicados en estas especificaciones se deben realizar de acuerdo con los documentos del diseño.

#### Instalación de cables

El Contratista debe contemplar la instalación de dos cables de prueba, la instalación de los cables se deberá efectuar siguiendo las buenas prácticas de construcción, el cable que resulte averiado deberá ser reemplazado por cuenta del Contratista. No puede haber empalmes intermedios entre los puntos inicial y final del cableado, a excepción de las conexiones del cable principal con cada uno de los ánodos dispuestos.

#### Pruebas de campo



Antes y después de instalar cada cable, se debe probar la continuidad de los cables con un multímetro.

#### Excavación, tendido de cable, tapado y recomposición del terreno

En esta actividad se estima la instalación del cableado directamente enterrado, para lo cual el Contratista deberá realizar la excavación, tendido, tapado y reconfiguración del terreno afectado.

La excavación debe ejecutarse ciñéndose a los alineamientos y cotas indicadas en los planos, los trabajos deben ejecutarse utilizando los procedimientos técnicos requeridos y tomando las precauciones necesarias, de modo que no causen accidentes personales, ni daños en estructuras o equipos dispuestos en zonas aledañas, los cuales en caso de suceder serán por cuenta y riesgo del Contratista. El Contratista optará por los métodos de excavación más adecuados para obtener superficies excavadas que sean lisas y firmes.

Una vez sea instalado y probado el cableado se procederá al pre-tapado del cable con una capa de relleno proveniente de la excavación de 20 cm libre de piedras y cualquier

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 60 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 60 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 60 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

otro material que pueda dañar el aislamiento, la cual se debe compactar adecuadamente. Luego se procederá al relleno con capas de 20 cm de material seleccionado de la excavación y debidamente compactado sobre la cual se procederá a instalar una cinta de demarcación de 2 pulgadas de ancho color amarillo etiquetada “**cable de medidas de protección**” o identificación similar.

### Medida y pago

El suministro e instalación de cable THWN No. 12 se mide y paga por metro lineal (m) de cable para el sistema de protección catódica. En caso de instalar el cable directamente en el terreno natural, el precio unitario incluye todos los trabajos de excavación, relleno de la zanja, recuperación de los espacios públicos y consumibles requeridos para la correcta instalación de los cables; adicionalmente se incluyen todas las pruebas descritas en este documento. Este precio será la compensación total y única que reciba el Contratista al completar el trabajo contratado y recibido a satisfacción por parte del Contratante.

El pago de este ítem se hará de acuerdo con los precios unitarios pactados en el contrato, en el pago debe considerarse igualmente el embalaje, el cargue, el descargue, el transporte hasta el sitio de la obra, el almacenaje, herramientas y equipos, necesarios para realizar los trabajos de acuerdo con el contrato.

### 9.4. Aplicación de la soldadura de cables a la tubería

#### Alcance



Esta especificación cubre los requerimientos mínimos exigidos para la conexión de los cables de prueba con la tubería y las estaciones de prueba. La preparación de la superficie de la tubería será de grado comercial de acuerdo a la norma Nace-SSPC y la distancia mínima entre soldaduras será de 0.60 m.

#### Excavaciones

El Contratista deberá tomar todas las medidas necesarias bajo su propia responsabilidad y a su propio costo, para asegurar la estabilidad de las excavaciones y la seguridad de las estructuras y obras existentes en las proximidades. Debe suministrar todos los entibados y acodamientos que fuesen necesarios para sostener las paredes de la excavación y evitar cualquier movimiento del terreno que perjudique la obra.

En general, las excavaciones se realizarán con las paredes verticales. Si fuere necesario el uso de formaletas, la excavación no sufrirá incrementos en los costos pactados. Es responsabilidad del Contratista tomar todas las medidas indispensables para mantener drenadas las excavaciones y demás áreas de trabajo, no se aceptarán ni se pagarán “sobre-excavaciones”.

El Contratista está obligado a ejecutar a su propia costo los rellenos necesarios por ésta causa de una calidad mínima igual a los existentes. Cualquier derrumbe o

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 61 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 61 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 61 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

movimiento de tierra que ocurra en las obras que se ejecuten y que en concepto del Contratante se deba a negligencia del Contratista, será retirado por cuenta de este.

### **Reparación del revestimiento y cubrimiento de la soldadura cadweld**

Todas las conexiones soldadas exotérmicamente con la tubería de acero serán recubiertas con un recubrimiento epóxico como se especifica anteriormente. Previo a la aplicación de la soldadura, se realizará la preparación de las superficies con limpieza mecánica hasta un grado limpieza mecánica a metal blanco según la SSPC-10. Luego se instalará el molde y se vierte la mezcla, distribuyendo por el borde el material de ignición y se inicia con el chispero adecuado.

#### **Moldes**

Para la ejecución de las soldaduras exotérmicas, se deberán utilizar moldes de tamaño apropiado, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y serán del tamaño apropiado equivalente a los Erico Products, Cadweld Division.

#### **Pruebas**

Una vez se realizada la aplicación de la conexión del cable a la tubería mediante la soldadura Cadweld, esta será sometida a un golpe con martillo de bola liviano a fin de verificar su adherencia con el metal base. No se aceptará la conexión del cable mediante soldadura Cadweld en el mismo punto, en caso de ser necesario aplicar la soldadura de nuevo, la distancia mínima será de 0.60 m; se debe probar la continuidad de los cables utilizando un multímetro.



#### **Medida y pago**

La soldadura del tipo Cadweld se mide y paga por unidad, y será independiente del cable empleado. El precio unitario incluye todos los materiales necesarios para la correcta ejecución de las conexiones. Este precio será la compensación total y única que reciba el Contratista al completar el trabajo controlado y recibido a satisfacción por parte del Contratante y/o su representante. El pago de este ítem se hará de acuerdo con los precios unitarios pactados en el contrato, el Contratista deberá realizar las actividades de conexión de cables a la estructura (cables negativos y cables para estaciones de prueba).

### **9.5. Instalación de Estaciones de prueba**

#### **Alcance**

Esta especificación cubre los requerimientos mínimos exigidos para el suministro e instalación de estaciones de prueba.

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 62 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 62 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 62 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

## Referencias

Como parte integrante de la especificación, se debe tener en cuenta, lo indicado en la última revisión de la siguiente norma:

- NACE Standard RP0169-2002 Control de Corrosión Externa en Tuberías Metálicas enterradas o sumergidas.

## Instalación

El suministro e instalación de las estaciones de prueba para el monitoreo de los voltajes inducidos, de toque y de paso, y potenciales eléctricos estarán de acuerdo con los detalles de los planos, la adecuación del terreno, la formaleta y la fundida del concreto de 0.60 x 0.60 x 0.60 metros; las estaciones que estarán ubicadas dentro de las cajas de concreto de los accesorios, están compuestas por una caja de fundición de aluminio con su baquelita estará instalada a 0.80 m por debajo de la placa de concreto cerca a la tapa para el acceso, se instalará tubería de PVC de 3/4" entre ca cala de aluminio y la tubería de 78" o el accesorio metálico correspondiente. En las estaciones instaladas en los sectores de incidencia de las líneas de Alto Voltaje se medirán los voltajes inducidos por estas líneas. Las estaciones de prueba se instalarán en los sitios indicados en las tablas correspondientes y en los planos. En las interferencias con la tubería PCCP de los tramos 1 y 3, se soldara una platina de acero de 0.10x0.10x0.05 m sobre el alambre de refuerzo de la tubería, esta platina estará soldada a los alambres de refuerzo y sobre esta se aplicara la soldadura cadcweld para fijar los cables de prueba. Para descubrir el alambre de refuerzo es necesario retirar el mortero de recubrimiento en una área de 0.30X0.30 m y posteriormente se deberá reparar con el mismo tipo de mortero.



## Medida y pago

El suministro e instalación de estaciones de prueba para el monitoreo se mide y paga por Unidad. El precio unitario incluye excavación, rellenos y concreto requerido para la cimentación de la estación de prueba, suministro e instalación de todos los materiales, planta y equipos requeridos para completar esta parte de la obra; conexiónado, postes terminales o cajas de conexión y todos los demás costos requeridos para la completa y correcta ejecución de los trabajos. El Contratista deberá realizar las actividades de conexión de cables a los terminales de conexión de la estación.

### 9.6.Instalación conexión aislada (91-B1) cable – cable.

#### Alcance

Esta especificación cubre los requerimientos mínimos exigidos para las conexiones cable a cable, necesarias para la instalación de los ánodos.

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br><br><b>1-02-25400-514-2006</b>                                 | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 63 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 63 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 63 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

## Especificaciones

La conexión entre los cables de los ánodos y el cable principal será por comprensión mecánica utilizando un conector tipo Burndy KS 17 ó un conector de tornillo partido (Split bolt). Los cables de cobre descubiertos serán protegidos del contacto con la tierra, utilizando un empalme eléctrico de tamaño apropiado, el cual consiste de un conector de junto con un molde plástico y de una resina eléctrica aislante tipo 91-B1 Scotchcast, fabricado por 3M Company o equivalente.

Se deberá realizar el recorte de los extremos del molde con segueta, para que el cable se acople al molde, centradas sobre el empalme (doblando el cable de derivación para facilitar el centrado del molde), se cubren los extremos del molde con cinta adhesiva alrededor del cable para sellarlo. Se mezcla la resina de dos componentes siguiendo las instrucciones del fabricante, vertiendo la resina hasta que el molde quede completamente lleno.

## Medida y pago

Las conexiones aisladas 91-B1 cable–cable se mide y paga por Unidad de cada conexión realizada entre cables para el sistema de protección catódica. Se incluye también el suministro de los conectores y en general, todos los elementos consumibles para la correcta instalación de los cables. Este precio será la compensación total y única que reciba el Contratista al completar el trabajo controlado y recibido a satisfacción por parte del Contratante o su representante. El pago de este ítem se hará de acuerdo con los precios unitarios pactados en el contrato.



### 9.7. Electroodos de referencia de cobre-Sulfato de cobre

La instalación de electroodos de referencia permanentes de cobre-sulfato de cobre se instalarán de acuerdo a como se establece en los planos; en los cruces de tuberías (estación tipo II) el electrodo estará ubicado en el eje vertical del cruce, en la mitad de la distancia entre las dos tuberías. En el caso de paralelismo (estación tipo III), el electrodo estará ubicado a 0.30 m de la tubería de Tibitoc en posición vertical. En los dos casos el electrodo estará cubierto totalmente por terreno natural seleccionado, libre de piedra o de de materiales aislantes como plásticos, que obstruyen la medición, el cable de conexión se conectará en la estación de prueba.

Una vez instalado, se medirá con un voltímetro su operación correcta. La localización se establece en las tablas correspondientes de diseño.

## Medida y pago

Los electroodos de referencia permanentes se mide y paga por Unidad. Se incluye el suministro todos los elementos consumibles para la correcta instalación de estos. Este precio será la compensación total y única que reciba el Contratista al completar el trabajo controlado y recibido a satisfacción por parte del Contratante o su representante. El pago de este ítem se hará de acuerdo con los precios unitarios pactados en el contrato.

|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>   |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br>1-02-25400-514-2006  | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 64 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 64 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 64 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |

### 9.8. Piedra triturada

La piedra triturada debe ser seleccionada con un tamaño de 3 a 5 cm, se extenderá uniformemente en una capa de 0.15 a 0.20 metros de espesor alrededor del accesorio o estación de prueba, en una franja de 1 metro alrededor del accesorio o estación; la resistividad de la piedra debe ser como mínimo de 3.000 Ohmios-metro.

### Medida y pago

La piedra triturada se mide y paga por Unidad de M<sup>3</sup>. Este precio será la compensación total y única que reciba el Contratista al completar el trabajo controlado y recibido a satisfacción por parte del Contratante o su representante. El pago de este ítem se hará de acuerdo con los precios unitarios pactados en el contrato.

### 9.9. Entrega de las Instalaciones

El Contratista debe entregar todas las instalaciones en óptimo funcionamiento, el informe final con los registros de las pruebas y mediciones realizadas tanto en los cruces como en el paralelismo de tuberías, medidas de potencial en DC y AC en estaciones de prueba, el control y mitigación realizados con ánodos de Zinc, cinta de Zinc, resistencias calibradas y ánodos galvánicos de Magnesio, así como la localización definitiva de las Estaciones de prueba y todas las instalaciones con la abscisa correspondiente, registro fotográfico de las instalaciones, las recomendaciones pertinentes y los planos “As Built”.

### 9.10. Recomendaciones para monitoreo de los tramos 1, 2 y 3 de la tubería y seguimiento de las interferencias.




Es necesario realizar un seguimiento y evaluación después de que el sistema para el control de las Interferencias se ha recibido, para determinar si satisface el criterio aplicado y opera eficientemente, así como de los tramos 1, 2 y 3 de la tubería. Esta evaluación debe incluir una o más de los siguientes tipos de medidas.

- Medición de potenciales y corriente en DC y AC cada 2 meses en los cruces y paralelismos de tuberías, medición de potenciales (P/S) y voltajes Inducidos AC para establecer si se presentan afectaciones en la tubería de Tibitoc y en las otras tuberías que cruzan o van paralelas.

- Se recomienda efectuar monitoreos periódicos cada dos meses en las estaciones de prueba, para asegurar que el control y mitigación sea efectivo, y realizar los ajustes e implementaciones que sean necesarios.

- Hacer una inspección detallada de las instalaciones de la cinta de Zinc y de la capa de piedra triturada cada 2 meses para establecer si se encuentran en condiciones adecuadas para cumplir con su objetivo de protección a las personas de mantenimiento que operan los accesorios de la tubería.



|   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|---|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78”<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> | <br><br><b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b>  |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO</b><br><br><b>1-02-25400-514-2006</b>                                 | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 65 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 65 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |   |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 65 de 66   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |   |               |            |                 |  |                   |  |



## 10. CONCLUSIONES

En el desarrollo de los cálculos se determinó y dio como resultado, que se pueden presentar varios tipos de afectaciones a la tubería de Tibitoc, como son:

- Posibles daños a la tubería por el “arco eléctrico” que se puede presentar por las corrientes de falla, debido al acercamiento de las estructuras de las líneas de Alto Voltaje a la tubería, con distancias de separación de 6 metros o menores en 20 sitios que se han determinado. Para este caso, es necesario que la Empresa de Acueducto de común acuerdo con Codensa determinen la solución más conveniente para las partes, pero hay que tener en cuenta los altos riesgos a que está expuesta la tubería y a un posible daño. Ver sitios en la Tabla 3.
- Voltajes Inducidos AC.- Se han determinado con los cálculos dos sitios en donde se pueden presentar voltajes “mayores o cercanos a 15 voltios”, que representan riesgos y afectación a las personas de mantenimiento que están en contacto con los accesorios de la tubería. Ver tablas 1 y 2 de los riesgos de afectación de la Norma Nace RP0177-2000.
- Voltajes de Toque y de Paso.- Se han determinado con los cálculos varios sitios en donde se pueden presentar estos voltajes a causa de las corrientes de falla, que representan riesgos para las personas de mantenimiento que están en contacto con los accesorios de la tubería y con las estaciones de prueba. Ver Tabla 12.
- Para controlar y mitigar los riesgos y efectos de estos fenómenos eléctricos que se producen por el acercamiento y paralelismos de las líneas de Alto Voltaje de Codensa a la tubería de Tibitoc, se han diseñado las formas para controlar y mitigar los efectos eléctricos que se producen, de acuerdo con las investigaciones y tecnología desarrolladas por EPRI “Electric Power Research Institute” por NACE International “Cothidic Protección CP 3”, por National Estándar of Canada “CAN/CSA-C22.3 - M19”, NACE International Norma RP0177-2000 y ANSI/IEEE Std.80-1996” IEEE “Guide for Safety in AC Substation Grounding”.

Las mediciones de potenciales tomadas en el tramo 2 (medidas 1, 2, 3, 4 y 5) de la Tabla 15, reflejan el estado del tubo de acero de 72” (Camisa) con valores de potencial entre -0.345 y -0.491 voltios. Al analizar estos valores se establece que el acero de la tubería no está pasivado, quiere decir que no está protegido contra ataques por corrosión electroquímica; de acuerdo a los valores de la tabla 16, concepto de autores como P. Pedferri y L. Lazzari en su libro “PROTEZIONE CATODICA”. Los valores medidos indican que se puede estar presentado corrosión localizada en los sectores donde se tomaron las mediciones.

Se recomienda dejar prevista e instalada la mitigación de los posibles voltajes Inducidos que podrían llegar a ser de 9 voltios o más relativamente pronto, y en esta forma se proporciona protección y seguridad al personal de mantenimiento.

|   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
|---|---|--|---------------|------------|-----------------|--|-------------------|--|
|  | <b>ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA<br/>LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA<br/>RED MATRIZ DE 78"<br/>TIBITOC - CASABLANCA</b> |    |               |            |                 |  |                   |  |
| <b>CONTRATO<br/>1-02-25400-514-2006</b>   | <b>PRODUCTO 3.4. INFORME DISEÑO DEL<br/>SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE<br/>INTERFERENCIAS</b>                | <b>CONSORCIO TIBITOC 2006</b><br><table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">RTC-IF-EL-004</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">VERSIÓN: 0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">PAGINA 66 de 66</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FECHA: 2008-07-09</td> </tr> </table> | RTC-IF-EL-004 | VERSIÓN: 0 | PAGINA 66 de 66 |  | FECHA: 2008-07-09 |  |
| RTC-IF-EL-004   | VERSIÓN: 0  |  |               |            |                 |  |                   |  |
| PAGINA 66 de 66   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |
| FECHA: 2008-07-09   |   |  |               |            |                 |  |                   |  |

## 11. PRESUPUESTO PARA INSTALACIÓN DE CONTROL Y MITIGACION DE INTERFERENCIAS

En el anexo 1 se presenta el presupuesto para el control y mitigación de las interferencias y de las estaciones de monitoreo que se requieren.