

**INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LOS
SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA GASODUCTO TRONCAL
CENTRORIENTE Y RAMALES, DE PROPIEDAD DE LA “TRANSPORTADORA
DE GAS INTERNACIONAL TGI”**

MARIO ALEXANDER CARVAJAL LÓPEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD FÍSICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2011

**INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LOS
SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA GASODUCTO TRONCAL
CENTRORIENTE Y RAMALES, DE PROPIEDAD DE LA “TRANSPORTADORA
DE GAS INTERNACIONAL TGI”**

MARIO ALEXANDER CARVAJAL LÓPEZ

Proyecto de grado presentado como requisito para optar el título de:

Ingeniero Químico

Director:

Ph. D. ING. DIONISIO LAVERDE

Codirector:

ING. JOSE MANUEL ACOSTA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BUCARAMANGA

2011

DEDICATORIA

A mi madre, por darme todo su amor, respaldo, apoyo moral y económico en todo el recorrido de este camino.

A mis hermanos Jhon y Yolimar por su fe y apoyo incondicional.

A todo el resto de mi familia por su confianza.

A todos mis amigos y personas que hicieron posible este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos al ingeniero José Manuel Acosta por su invaluable colaboración en la conducción de este proyecto.

Al profesor y director de tesis el Dr. Dionisio Laverde por su confianza e interés.

A la empresa PETROLABIN LTDA por incluirme en esa gran familia y todos sus trabajadores quienes me apoyaron y me brindaron su amistad.

Al ingeniero Gabriel Fernando Rodríguez García por su colaboración y a todas aquellas personas quienes de alguna u otra manera ayudaron a la culminación de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	14
2. GENERALIDADES	15
3. OBJETIVOS	16
3.1. <i>Objetivo General</i>	16
3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	16
4. MARCO TEORICO	17
4.1. <i>Corrosión</i>	17
4.2. <i>Protección Catódica</i>	18
4.3. <i>Protección catódica con ánodos galvánicos</i>	19
4.4. <i>Protección catódica por corriente impresa</i>	20
4.5. <i>Sobre Protección en tuberías revestidas</i>	20
4.6. <i>Resistividad de terreno</i>	21
4.7. <i>Cruces encamisados</i>	22
4.8. <i>Juntas Aislantes</i>	24
5. DESARROLLO	25
5.1. <i>Descripción de la metodología</i>	25
6. RESULTADOS Y ANALISIS	27
6.1. <i>Inspección rectificadores de Corriente</i>	27
6.2. <i>Ensayos On – Off y estudio de resistividades de terreno</i>	28
6.3. <i>Cruces Encamisados</i>	31
6.4. <i>Pruebas de Aislamientos Eléctricos</i>	33
6.5. <i>Toma de Potenciales a Ramales</i>	35
CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES	37
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	38
ANEXOS	39

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distribución Geográfica del Gasoducto Centro Oriente	15
Figura 2. Instalación típica de protección catódica.	18
Figura 3. Esquema del montaje de un sistema de protección catódica de una tubería enterrada por ánodos galvánicos	19
Figura 4. Cruce encamisado en corto con la tubería	22

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Criterios para Calificación de Corrosividad de Suelos	26
Tabla 2. Consolidado datos tomados URPC inspeccionadas.	27
Tabla 3. Consolidado Potenciales On-Off y Resistividades de terreno	30
Tabla 4. Inspección de cruces encamisados	32
Tabla 5. Inspecciones de aislamientos eléctricos	34
Tabla 6. Observaciones relevantes de los potenciales tomados a los Ramales.	35

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Potenciales On – Off y resistividades del tramo Vasconia – Puerto Salgar	29
Grafica 2. Potenciales On – Off tramo Sebastopol - Vasconia	39
Grafica 3. Potenciales On – Off y resistividades del tramo Salgar – Mariquita	40

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A Potenciales On – Off tramo Sebastopol - Vasconia	39
ANEXO B Potenciales On – Off y resistividades del tramo Salgar – Mariquita	40
ANEXO C Toma de potenciales al Ramal de Termo Dorada	41
ANEXO D Toma de potenciales al Ramal de Victoria	42
ANEXO E Toma de potenciales al Ramal de Honda	43
ANEXO F Toma de potenciales al Ramal de Líbano	44
ANEXO G Toma de potenciales al Ramal de Ambalema	45
ANEXO H Toma de potenciales al Ramal de Piedras	46
ANEXO I Toma de potenciales al Ramal de Doima	47

RESUMEN

TÍTULO: INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA GASODUCTO TRONCAL CENTRORIENTE Y RAMALES, DE PROPIEDAD DE LA “TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL TGI”.*

AUTOR: Carvajal López, Mario Alexander.**

PALABRAS CLAVES: Corrosión, Protección Catódica, Normas NACE

DESCRIPCIÓN:

La corrosión puede ser definida como el deterioro de los materiales debido a su interacción química, electroquímica o física con el ambiente que lo rodea. Si no se toman medidas para controlarla puede llegar a causar grandes problemas; no solo por los costos económicos, sino también por los daños medio ambientales e incluso, en algunos casos, puede llegar a ocasionar muertes humanas.

Una de las medidas de control que se utilizan en estructuras metálicas que se encuentran en contacto directo con un electrolito, son los sistemas de protección catódica, la cual es una técnica que reduce la velocidad de corrosión de una superficie metálica haciendo de ésta el cátodo de una celda electroquímica.

En este trabajo de grado se realizaron estudios en el gasoducto troncal Barracabermeja – Neiva propiedad de La Transportadora de Gas Internacional (TGI), el cual cuenta con un sistema de protección catódica por corriente impresa, y en algunos de sus ramales los cuales cuentan con protección catódica por ánodos de sacrificio, esto se hizo con la finalidad de preservar la operación eficiente de estos sistemas manteniendo las variables de trabajo dentro de los criterios de aceptación, las cuales se basaron en diferentes recomendaciones y normas de la National Association of Corrosion Engineers (NACE).

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Director: Ph.D. Dionisio Laverde Castaño, Codirector: Ing. José Manuel Acosta

ABSTRACT

TITLE: INSPECTION AND PREVENTIVE AND CORRECTIVE MAINTENANCE OF THE CATHODIC PROTECTION SYSTEMS FROM THE CENTRORIENTE TRUNK PIPELINE AND BRANCHES, THAT BELONGS TO “TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL TGI.”*

AUTHORS: Carvajal López, Mario Alexander. **

KEYWORDS: Corrosion, Cathodic Protection, NACE Rules

DESCRIPTION:

Corrosion could be defined as the deterioration of certain materials because of their chemical, electrochemical and / or physical interaction with the atmosphere that surrounds them. If control measures are not taken, corrosion can end up causing serious problems at different levels. Not only because of the economic costs but also because of the environmental damages and corrosion even some times could cause human fatalities.

One of the control steps that it is implemented in metal structures that are in direct contact with an electrolyte is the cathodic protection systems. This is a technique that reduces the corrosion velocity of a metal surface. This way the surface becomes the cathode of an electrochemical cell.

In this grade project studies and surveys were carried out upon the trunk Barrancabermeja-Neiva pipeline that belongs to Transportadora de Gas Internacional (TGI). This pipeline has a cathodic protection system by printed current and some branches that have cathodic protection by sacrifice anodes. Such technical measure was taken in order to preserve an efficient operation of these systems, supporting the operating and functioning parameters within the acceptance criteria. These criteria parameters were based on different recommendations and rules given by the National Association of Corrosion Engineers (NACE).

* Degree Project

** Engineering Physical-Chemical Faculty, Department of chemical Engineering, Director: Ph.D. Dionisio Laverde Castaño, Codirector: Ing. José Manuel Acosta

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión es uno de los grandes problemas a los cuales se enfrentan los propietarios y operadores de estructuras metálicas enterradas, “offshore” y otras, en contacto directo con un electrolito. Si la corrosión no se controla, causa grandes costos de reparación y/o remplazo de partes. Además se podría incurrir en un costo todavía mayor debido a daños al medio ambiente o accidentes fatales.

El costo de la corrosión no puede ser eliminado completamente. Aún si la tecnología de control de corrosión pudiera eliminarla totalmente, habría que considerar el costo de las medidas de control en el análisis de reducción de los costos de corrosión. Usualmente es más económico simplemente controlar la corrosión a un cierto límite, que eliminarla completamente.

Por tal motivo los propietarios y operadores se ven obligados a tomar medidas de control de la corrosión. En Colombia el operador de gas más importante es la Transportadora de Gas Internacional (TGI) la cual realiza periódicamente mantenimientos preventivos y correctivos del sistema de protección catódica en la modalidad de contratos, en el 2010 abrió la licitación pública SPLO-GIN-650-09 la cual fue adjudicada a PETROLABIN LTDA mediante el contrato No. 750126.

Entre los gasoductos a mantener se encuentran las líneas troncales y ramales de Centro Oriente que es el sector en el cual está encaminado este trabajo de grado. Con base a este contrato PETROLABIN LTDA debe realizar diferentes tipos de estudios en estos gasoductos que le permitan determinar el estado de los sistemas de protección catódica y realizar los ajustes necesarios en los casos que se requiera.

2. GENERALIDADES

Este sistema de gasoductos Centro Oriente está conformado por un primer sector desde Barrancabermeja hasta Puerto Salgar y Rio Minero – Vasconia; el segundo sector lo conforma el tramo Puerto Salgar – Neiva, el cual incluye los tramos Montañuelo – Gualanday y Dina - Tello - Los Pinos y el tercer sector lo conforman el tramo Cogua – La Belleza y Variante Sucre Oriental – Puente Guillermo.

La extensión total de este sistema de gasoductos es de 1005 Km, distribuidos así: Barrancabermeja – Neiva, 560,6 Km; Vasconia - Cogua – Bogotá, 208,7 Km; Montañuelo – Gualanday, 37,4 Km; Dina - Tello - Los Pinos, 19,9 Km, Variante Puente Guillermo - Sucre Oriental, 34,1 Km y 145,1 Km en ramales (de 2" (99,7 Km), 3" (34,6 Km) y 12" (10,8 Km)). En la figura 1 se presenta el mapa de la distribución geográfica de este sistema de gasoductos.¹

Figura 1. Distribución Geográfica del Gasoducto Centro Oriente



¹ Información tomada de la página <http://www.tgi.com.co/>

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Preservar la Operación eficiente de los sistemas de protección catódica instalados y sus facilidades; manteniendo las variables de trabajo dentro de los rangos indicados en los criterios de aceptación, ordenados por los Estándares aplicables.

3.2. Objetivos Específicos

- Mantener la operación eficiente de las Unidades Rectificadoras de Protección Catódica.
- Establecer las tendencias de resistencia al flujo de corriente eléctrica a lo largo del trazado del gasoducto mediante estudios de resistividad.
- Definir la eficiencia del Sistema de Protección Catódica, mediante la ejecución de ensayos de potencial eléctrico “Instant – Off”, estructura – suelo mediante la técnica “Poste a Poste”.
- Determinar los puntos específicos en los cruces encamisados y sus ventilas donde se presenten continuidades eléctricas por cortos electrolíticos o eléctricos.
- Establecer y determinar fugas de corriente de protección por daños en aislamientos eléctricos o contactos con otras estructuras no protegidas catódicamente.

4. MARCO TEORICO

4.1. Corrosión

La corrosión puede ser definida como el deterioro de los materiales debido a su interacción química, electroquímica o física con el ambiente que lo rodea. Esta concepción incluye todos los tipos de materiales metálicos y no metálicos.

En general, la corrosión metálica resulta de la reacción de los metales con elementos no metálicos, por ejemplo oxígeno y azufre, para generar “productos de corrosión” que casi siempre son de la misma naturaleza que los minerales de partida para la obtención de los metales.

En la producción de gas desde su etapa inicial de explotación hasta la etapa final de distribución cuenta con una infraestructura metálica que en su gran mayoría se encuentra expuesta de una u otra forma al contacto con medios corrosivos. Por tanto la corrosión es un fenómeno peligroso asociado a la producción y transporte de gas.

El suelo por su contenido variable de humedad, sales y materia orgánica en descomposición es el electrolito más complejo de todos los que se pueden encontrar.

Por necesidades mecánicas, económicas y de seguridad, la industria tiene que apoyar sobre él y enterrar numerosas y muy variadas estructuras de acero, las cuales se ven sometidas a un proceso de corrosión que en algunos casos puede ser complicado.

Para tener un buen control de la corrosión de estas estructuras se han de combinar los dos tipos de protección: un buen recubrimiento pasivo, complementado por un sistema de protección catódica adecuado. Confiar la protección anticorrosiva de una estructura enterrada solamente a la protección

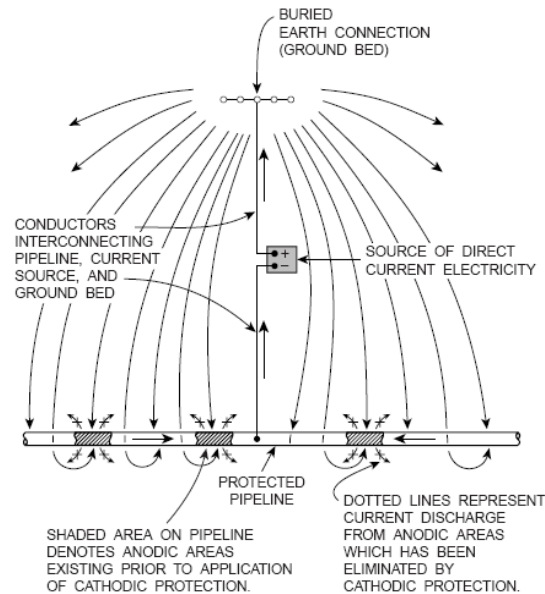
catódica, puede hacerse, pero será siempre antieconómico si la estructura no es de dimensiones pequeñas.

4.2. Protección Catódica

La protección catódica es una técnica para reducir la velocidad de corrosión de una superficie metálica haciendo de ésta el cátodo de una celda electroquímica. Las áreas anódicas y catódicas están presentes en una superficie metálica. Para las áreas anódicas, la corriente fluye de la tubería de acero hacia el electrolito circundante (agua o suelo) y la tubería se corroe. Para las áreas catódicas, la corriente fluye del electrolito hacia la superficie del tubo y la velocidad de corrosión se reduce.

Para ilustrar lo anterior, se vuelve obvio que la velocidad de corrosión se puede reducir si cada pedazo de metal expuesto en la superficie de un tubo pueda ser hecho para recolectar energía.

Figura 2. Instalación típica de protección catódica.



Fuente: Peabody, A, Peabody's Control of Pipeline Corrosion, Houston, NACE Press, 2nd ed., 2001.

Esto es exactamente lo que la protección catódica hace. La corriente directa es forzada dentro de todas las superficies de la tubería. Esta corriente directa cambia

el potencial de la tubería en la dirección activa (negativa) resultando en una reducción en la velocidad de corrosión del metal. Cuando la cantidad de corriente que fluye se ajusta apropiadamente, predominará la corriente de corrosión descargando de las áreas anódicas en la tubería, y habrá una red de flujo de corriente dentro de la superficie del tubo en estos puntos. La superficie total entonces será un cátodo y la velocidad de corrosión se reducirá. Este concepto es ilustrado en la **Figura 2**.

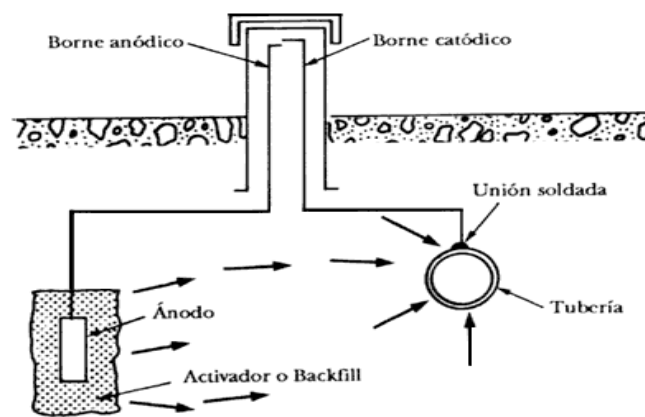
Para que el sistema de protección catódica trabaje, la corriente se debe descargar de una conexión a tierra (cama anódica). El único propósito de esta cama anódica es descargar corriente. En el proceso de descarga de corriente, los ánodos en la cama anódica son consumidos por la corrosión.

La protección catódica puede ser de dos tipos, con ánodos galvánicos o por corriente impresa.

4.3. Protección catódica con ánodos galvánicos

Se une eléctricamente la tubería de acero al ánodo galvánico, generalmente Zn o Mg. Un esquema simple de montaje está representado en la **Figura 3**. La distancia mínima entre el ánodo y la tubería debe ser de 3 metros y deben utilizarse cables de conexión de bastante grosor para evitar las caídas de tensión.

Figura 3. Esquema del montaje de un sistema de protección catódica de una tubería enterrada por ánodos galvánicos



En circunstancias normales, la corriente disponible de los ánodos galvánicos es limitada. Por esta razón, la protección catódica con ánodos galvánicos se usa normalmente donde la corriente requerida para protección es menor. De forma similar, la tendencia de corriente entre el tubo de acero y el metal del ánodo galvánico es igualmente limitada. Por lo tanto, la resistencia de contacto entre los ánodos y el suelo debe ser baja para que los ánodos descarguen una cantidad de corriente conveniente. Para remediar la influencia desfavorable de estos factores sobre el proceso de disolución de los ánodos de sacrificio, se coloca a su alrededor un medio químico artificial. Este medio químico, que podemos llamar "activador", es más conocido en la terminología de la ingeniería de la corrosión por la palabra inglesa "backfill" con lo que se reduce la resistencia de contacto ánodo-suelo.

4.4. Protección catódica por corriente impresa

Para estar libres de limitaciones de tendencias de voltaje asociadas con los ánodos galvánicos, las corrientes de algunas fuentes de energía externa puede ser impresa en la tubería usando una cama anódica y un rectificador de corriente. La **Figura 2** ilustra esta situación.

Este dispositivo convierte la energía eléctrica de corriente alterna (AC) a una energía de corriente directa (DC) de alto voltaje. Normalmente los rectificadores están provistos con los medios para variar la salida de voltaje DC, en pequeños incrementos, sobre un razonablemente amplio rango. Esto sirve para ilustrar la flexibilidad del ingeniero de corrosión en la elección de una fuente de energía capacitada cuando se planea un sistema de corriente impresa de protección catódica.

4.5. Sobre Protección en tuberías revestidas

Bajo algunas condiciones, la excesiva cantidad de corriente de protección catódica en una tubería revestida puede dañar el revestimiento. Este proceso es llamado *desprendimiento catódico*. La corriente que fluye promueve la migración de iones y agua a través del revestimiento y un aumento del pH del electrolito en la superficie de la tubería. Si el potencial de polarización es suficientemente negativo, el hidrógeno también puede evolucionar en forma de burbujas de gas en la superficie de la tubería. Todos estos procesos son perjudiciales para el revestimiento, y promueven la degradación y el desprendimiento.

El potencial de polarización en el cual ocurre un importante daño del revestimiento es una función de muchos factores, incluyendo la resistencia inherente del revestimiento a la degradación, la calidad de aplicación del revestimiento, las condiciones del suelo, y la temperatura de la tubería. Como una regla directriz se deben evitar los potenciales off que son menos negativos que -1,2 V para minimizar la degradación del revestimiento.

4.6. Resistividad de terreno

La resistividad eléctrica generalmente se correlaciona con la agresividad de suelos. La resistividad eléctrica es diferente a la resistencia eléctrica: la resistividad es una propiedad del material, mientras que la resistencia depende de la resistividad eléctrica del material junto con su longitud y área de sección transversal del material que transporta la corriente.

La resistividad eléctrica es también una medida indirecta de otras dos importantes características del suelo, el contenido de humedad y los niveles de sales disueltas. A menor resistividad, mayor conductividad.

$$k = \frac{1}{\rho}$$

La mayoría de los ingenieros de corrosión usan la resistividad (Ω -cm) para describir las propiedades eléctricas del medio ambiente.

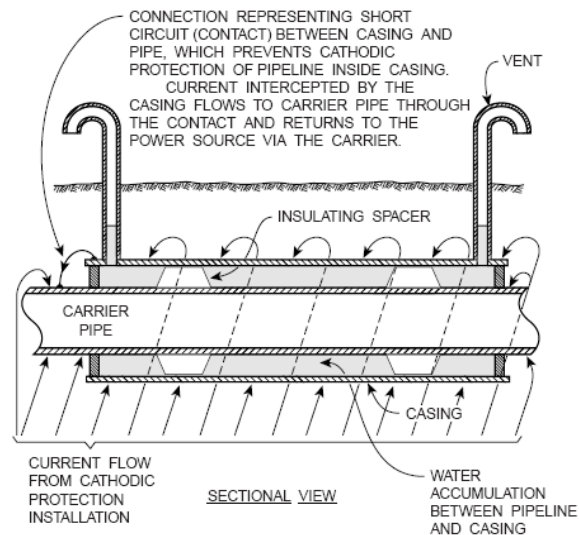
La resistividad del suelo es afectada por otros factores, tales como la compactación y el tipo de suelo. La resistividad del suelo, así como el contenido de humedad, pueden variar considerablemente con el tiempo. La variación de estaciones en la resistividad del suelo debe ser tomada en cuenta en el diseño de estructuras enterradas.

Una resistividad de suelos baja permite altas corrientes de corrosión, lo cual asistirá velocidades de corrosión altas. La resistividad del suelo es también un factor importante a ser considerado en la aplicación de protección catódica para controlar la corrosión subterránea.

4.7. Cruces encamisados

La **Figura 4** ilustra una situación común que involucra un escudo metálico que desvía la corriente de protección catódica de su paso proyectado. Esta condición ocurre en tuberías encamisadas donde la cubierta está en contacto metálico con la tubería. En el ejemplo, el agua se ha acumulado entre la cubierta y la tubería pero el contacto metálico previene la protección catódica del tubo dentro de la cubierta.

Figura 4. Cruce encamisado en corto con la tubería



Fuente: Peabody, A, Peabody's Control of Pipeline Corrosion, Houston, NACE Press, 2nd ed., 2001.

Con el corto circuito en el lugar, la corriente de protección catódica se junta en el exterior de la cubierta y fluye a lo largo de la cubierta hacia el punto de contacto entre el tubo y la cubierta. En el punto de contacto, la corriente de protección catódica fluye hacia el tubo por medio del contacto metálico y entonces a lo largo del tubo regresa a la instalación de protección catódica. Bajo estas condiciones, esencialmente la corriente no fluirá a través de la pared de la cubierta hacia la superficie del tubo, dejando el tubo dentro de la cubierta libre para corroerse incluso aunque el resto de la línea esté completamente protegido.

Si la cubierta de la tubería está libre de un contacto metálico con el tubo, el material de la cubierta metálica simplemente servirá como parte de un ambiente conductor. La corriente de protección catódica entonces está capacitada para fluir continuamente por medio de las paredes de la cubierta hacia aquellas porciones de tubería en contacto con cualquier electrolito dentro de la cubierta. Se debe reconocer que la corriente que se descarga de la superficie interior de la pared de la cubierta puede corroer también la pared interior. El espaciador y los sellos están proyectados para mantener la cubierta completamente libre de contacto metálico con la tubería. Esto no siempre se lleva a cabo ya que los sellos pueden quedar mal instalados o la camisa puede estar torcida.

Si el tubo dentro de la cubierta está revestido perfectamente o si el espacio entre el tubo y la cubierta está seco, no deben existir problemas de corrosión más que los ocasionados por la corrosión atmosférica del acero expuesto. Estas condiciones probablemente no se presenten. El revestimiento de la tubería está propenso a daños cuando el tubo revestido es colocado dentro de un "casing", y a mayor longitud del "casing", mayor es la probabilidad de daño. Algunas veces el agua entra en el "casing" por medio de defectos en los sellos de los extremos, o puede ser condensada del aire que entra a través de la ventilación. La **Figura 4** muestra agua en el espacio entre la tubería y el "casing". Si el oxígeno que suministra el agua acumulada dentro de un "casing" está lo suficientemente restringido, la velocidad de corrosión se disminuirá.

4.8. Juntas Aislantes

Las juntas de aislamiento siempre son requeridas en sistemas de tuberías catódicamente protegidas. Se pueden utilizar para dividir la línea para que en caso de una falla en el sistema de protección catódica o el desarrollo de contactos con otras estructuras o secciones de la tubería la junta reduzca la pérdida de protección en una sección adyacente. Existen áreas donde las corrientes desviadas de minería, tracción o cualquier otro sistema son un problema, espaciar juntas de aislamiento cercanas puede ser útil para controlar la recolección y descarga de corrientes desviadas.

La prueba más significativa de la efectividad de la junta de aislamiento involucra la interrupción de la fuente de corriente de CP (o pruebas de corriente aplicada con una fuente temporal de DC) en un lado de la junta de aislamiento y midiendo el potencial a un electrodo remoto de sulfato de cobre. Si la junta es efectiva, el potencial en el lado con fuente de CP cambiará a positivo en la medida en que se interrumpe la fuente de corriente. El lado protegido permanecerá constante o se moverá en la dirección negativa. Si la medición se hace para un electrodo cercano sobre o junto a la junta de aislamiento se puede ganar información adicional. Por ejemplo, si el potencial del tubo en el lado desprotegido se balancea en la dirección positiva cuando el interruptor cambia la fuente de corriente a ON (aunque pueda haber sido pequeño o ningún cambio con respecto al electrodo remoto), esto es una indicación de que la corriente está fluyendo a través del suelo alrededor del flanche de aislamiento. Esto puede ser el resultado de un defecto del revestimiento o una excesiva caída de voltaje a través del flanche.

5. DESARROLLO

5.1. Descripción de la metodología

El análisis realizado en el presente proyecto de grado se basa en la comparación de la información recolectada durante el proyecto con los lineamientos y recomendaciones dados en los documentos de referencia en lo referente a criterios de desempeño de los sistemas de protección catódica y calificación de corrosividad de suelos.

Inicialmente se realizaron inspecciones y re calibraciones a las unidades rectificadoras de protección catódica (URPC), ya que varios de estas se encontraban fuera de servicio y otras no funcionaban correctamente, con esto se buscó tener el sistema de protección catódica operando en condiciones normales.

Con base en dicha información y los lineamientos dados por TGI, se han establecido los siguientes criterios de análisis que están acordes con los estándares de la “National Association of Corrosion Engineers” (NACE):

- **Protección Catódica:** Los criterios de protección catódica especificados por TGI S.A para sus gasoductos son los siguientes:
 - Las estructuras se encuentran catódicamente protegidas si las mismas presentan un potencial polarizado más electronegativo que - 850 mV.
 - Las estructuras se encuentran sobreprotegidas si las mismas presentan un potencial polarizado más electronegativo que - 1200 mV.
- **Corrosividad de suelos:** Los criterios empleados para calificar la corrosividad de suelos con base en la resistividad del mismo son mostrados en la **tabla 1**.

Tabla 1. Criterios para Calificación de Corrosividad de Suelos²

Resistividad (Ohm*cm)	Grado de Corrosividad
< 500	Muy corrosivo
500 - 1,000	Corrosivo
1,000 - 2,000	Moderadamente corrosivo
2,000 - 10,000	Levemente corrosivo
> 10,000	Despreciable

- **Estado de las camisas:**

- Si la variación entre el potencial On y el potencial Off de la camisa es superior a 10 mV y los potenciales On y Off de la camisa difieren en más de 10 mV de los potenciales On y Off de la tubería, existe corto electrolítico entre ambas estructuras.
- Si los potenciales On y Off de la camisa son esencialmente iguales (teniendo en cuenta la calibración del electrodo empleado en la medición) a los potenciales On y Off de la tubería, ambas estructuras se encuentra en corto eléctrico.

- **Estado de aislamientos eléctricos:**

Este ensayo se realizó utilizando el método de interrupción de fuente de corriente de protección catódica para los gasoductos que se podía aplicar este método, en los que no se contaba con un sistema de protección catódica por corriente impresa se realizó la inspección por el método de medición directa de potencial a ambos lados de la junta.

- Si la variación entre los potenciales On y Off de la estructura en el lado aislado es superior a 10 mV siendo el potencial On más electronegativo que el potencial Off, el aislamiento se encuentra en mal estado.
- Si la diferencia del potencial entre ambos lados de la junta es superior a 100 mV, el aislamiento se encuentra en mal estado.

² Peabody, A, Peabody's Control of Pipeline Corrosion, Houston, NACE Press, 2nd ed., 2001, Cap. 5, pag. 88.

6. RESULTADOS Y ANALISIS

6.1. Inspección rectificadores de Corriente

En la tabla 2 se muestra los datos tomados a los rectificadores inspeccionados luego de la puesta en marcha y ajuste de las URPC.

Tabla 2. Consolidado datos tomados URPC inspeccionadas.

URPC	Voltaje de Salida (Vs)	Corriente de Salida (Is)	Potencial On	Potencial Off	Resistencia Nominal	Resistencia Real (Rr=Vs/Is)
Bugamvilles	4,37 Volt	1,20 Amp	-2270 mV	-1083 mV	4,167 Ω	3,64 Ω
Dos y Medio	4,7 Volt	4,8 Amp	-1564 mV	-1064 mV	3,64 Ω	0,98 Ω
Puerto Fierro	26 Volt	3,3 Amp	-1704 mV	-1100 mV	4,54 Ω	7,88 Ω
Guarinocito	35,27 Volt	1,3 Amp	-3079 mV	-1288 mV	4,54 Ω	27,13 Ω

El rectificador de Guarinocito, a pesar de suministrar los 1,3 Amp que son suficientes para proteger el tramo de influencia, no tiene una operación eficiente mostrando una resistencia de circuito de 22,59 Ω por encima de la nominal; la razón de este comportamiento se debe a que el material anódico (Ferrosilicio) no es el apropiado para suelos secos y el “backfill” disponible (coke metalúrgico) de tamaño de partícula muy grande con escasa superficie de contacto no permite el flujo de corriente del ánodo al electrolito. Este equipo presenta una modificación que impide variar el voltaje de salida. El personal de integridad de TGI ordenó apagar el equipo mientras se toman los correctivos del caso.

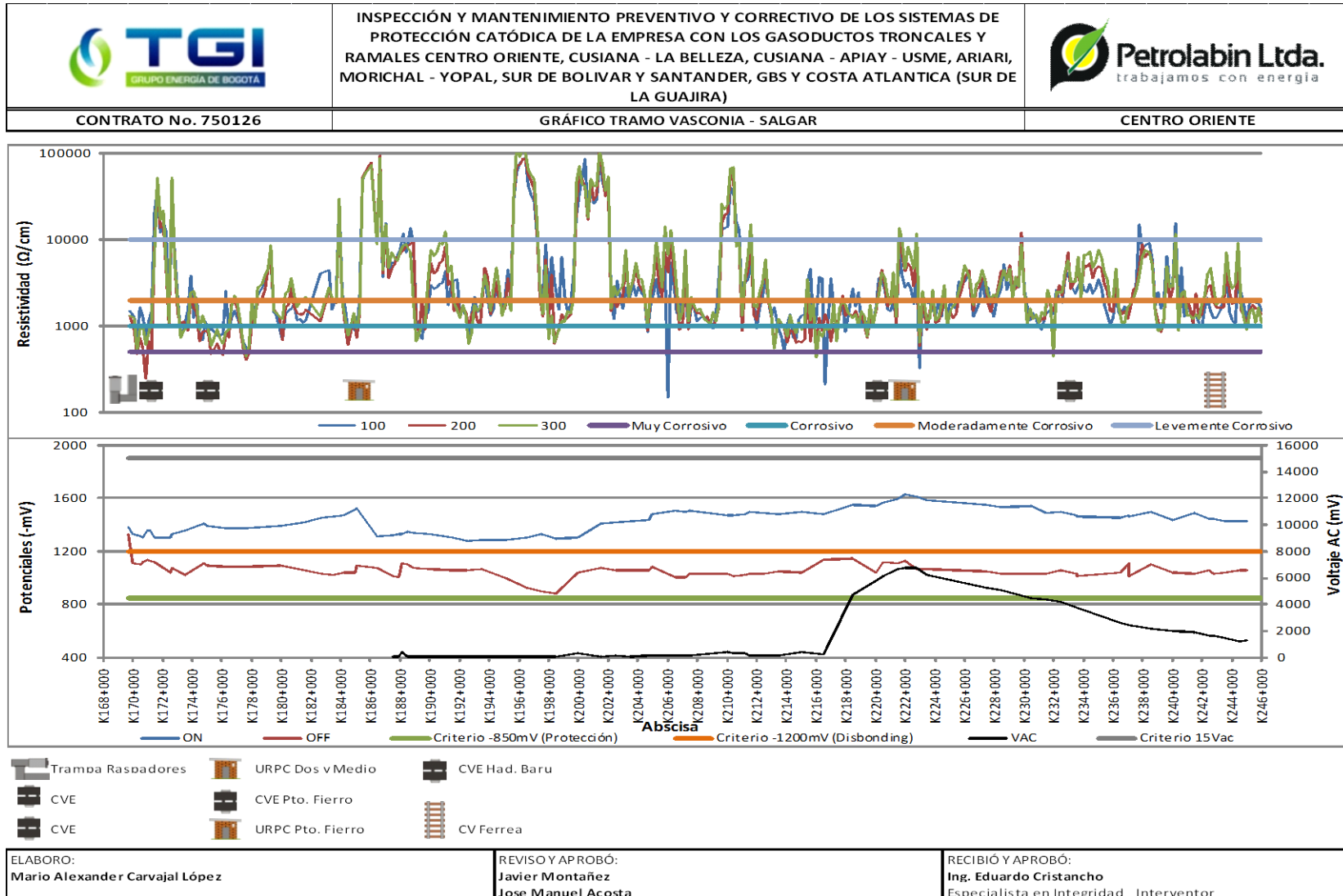
En el caso del rectificador de Puerto Fierro donde la resistencia del circuito es 3,34 Ω por encima de la nominal; a pesar de que el material anódico (Ferrosilicio) en este suelo si es eficiente (terreno pantanoso) el “backfill” disponible es de las mismas características de la URPC de Guarinocito.

6.2. Ensayos On – Off y estudio de resistividades de terreno

El tramo Sebastopol – Mariquita del gasoducto Centro Oriente fue construido en 1995, tiene una longitud de 189 Km y un diámetro de 20”; su trazado es enterrado y comparte derecho de vía con poliductos y propanoductos de Ecopetrol. El mecanismo para prevenir el desarrollo de procesos de corrosión externa se compone de recubrimiento tipo tricapa y un sistema de protección catódica por corriente impresa; cuenta con cuatro rectificadores de corriente: las URPC de Bugamvilles (Km 150), Dos y Medio (Km 185.25), Puerto Fierro (Km 222.3) y Guarinocito (Km 270.95).

En la gráfica 1 se muestra la representación de los datos tomados de resistividades y potenciales On-Off del tramo Vasconia – Puerto Salgar. Los tramos Sebastopol-Vasconia y Puerto Salgar- Mariquita poseen comportamientos similares y estas graficas se encuentran en los Anexos A y B respectivamente

Grafica 1. Potenciales On – Off y resistividades del tramo Vasconia – Puerto Salgar



En la tabla 3 se ilustran los ensayos y observaciones relevantes de los tramos inspeccionados del gasoducto Centro Oriente.

Tabla 3. Consolidado Potenciales On-Off y Resistividades de terreno

Tramo	Longitud del tramo	Ensayo	Observaciones
Sebastopol – Vasconia	62 Km	Toma de Potenciales On-Off	Del kilómetro 166 al kilómetro 169 los potenciales Off son más electronegativos que -1200 mV.
Vasconia – Puerto Salgar	80 Km	Toma de Potenciales On-Off y Resistividades de Terreno	La mayor parte de las resistividades de terreno se encuentran clasificadas como moderada y levemente corrosivas, además los potenciales Off se encuentran en el rango de aceptación.
Puerto Salgar – Mariquita	47 Km	Toma de Potenciales On-Off y Resistividades de Terreno	Las resistividades se encuentran clasificadas como moderada y levemente corrosivas. El rectificador de este tramo fue operado para realizar el ensayo, encontrando que todos los potenciales Off son más electronegativos que -1200 mV.

En el tramo Sebastopol – Vasconia el derecho de vía es compartido con otros operadores (OCENSA MANSAROVAR Y ECOPETROL) todos con sistema de protección catódica en operación suministrando corriente a las estructuras en diferentes niveles. Esta situación de corrientes viajando por el mismo electrolito hace que algunas de ellas sean inducidas de una línea a otra, dependiendo de la resistencia que cada una de ellas oponga.

Esta condición sumada a que los valores de resistividades son bajos, hace que parte de esta corriente sea inducida al gasoducto de TGI incrementando el valor de potencial negativo en el “instant Off” por encima de 1200 mV.



El derecho de vía del tramo Puerto Salgar – Mariquita es compartido con poliductos de Ecopetrol Puerto Salgar – Manizales y Puerto Salgar – Neiva,

mostrando una problemática semejante a la anteriormente enunciada (Sebastopol – Vasconia).

6.3. Cruces Encamisados

En este gasoducto se inspeccionaron 11 cruces encamisados; tal como se puede inferir de los datos que se encuentran en la tabla 4, los primeros nueve cruces y el último se encuentran en buen estado, ya que el potencial en la camisa no cicla; es decir que mientras el tubo presenta potenciales On y Off (debido a la instalación de un interruptor de corriente en la fuente DC), en la camisa solo se registra el potencial Off; sin embargo, es de anotar que en algunos cruces el valor de potencial en la camisa es más electronegativo de lo que debería ser y esto se debe a que en estos sitios hay cruces con líneas foráneas que también cuentan con un sistema de protección catódica y por tal razón están haciendo interferencia con la camisa de la línea de TGI.

Tabla 4. Inspección de cruces encamisados

	INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA DE LA EMPRESA CON LOS GASODUCTOS TRONCALES Y RAMALES CENTRO ORIENTE, CUSIANA - LA BELLEZA, CUSIANA - APIAY - USME, ARIARI, MORICHAL - YOPAL, SUR DE BOLIVAR Y SANTANDER, GBS Y COSTA ATLANTICA (SUR DE LA GUAJIRA)	
CONTRATO No. 750126		

Línea ó Tramo: **Troncal Barranca - Neiva** Distrito 1 Centro Oriente

No.	ABCISCA	COORDENADAS						ALTITUD MSNM	POTENCIALES (-mV)			CAMISA (-mV)		RESISTENCIA (Ω)			RESISTIVIDAD (Ω-cm)			Posible Corto Electrolytico	Posible Corto Eléctrico	OBSERVACIONES
		N	W						ON	OFF	VAC	ON	OFF	1 Mts	2 Mts	3 Mts	100	200	300			
28/04/2010 Tramo Sebastopol - Vasconia																						
1	K171+200	6	3	207	74	33	704	146	1354	1226			550	2,41	0,41	0,63	1514,25	515,22	1187,52	No	No	Cruce de Vía Encamisado (CVE) "Troncal del Magdalena Medio"; Ventila 1. Potencial Ventila No. 2: 550
2	K174+800	6	1	265	74	33	710	153	1414	1110			516	1,81	0,7	0,55	1137,26	879,65	1036,73	No	No	Cruce de Vía Encamisado (CVE) "Troncal del Magdalena Medio"; Ventila 1. Potencial Ventila No. 2: 516
3	K204+800	5	48	64	74	38	3	163	1538	1054	118		821	2,71	1,81	1,4	1702,74	2274,51	2638,94	No	No	NO HAY CONTINUIDAD
4	K220+500	5	40	54	74	36	80	178	1670	920	6100		605							No	No	CRUCE DE VIA - HDA PUERTO FIERRO HDA BARU
5	K233+500	5	33	57	74	37	54	184	1672	830	3750		622							No	No	Potencial Ventila 1 -0,622 Potencial Ventila 2 -0,621
6	K233+520								1662	815	3714		983							No	No	Cruce de Tubería y de Vía
7	K237+050	5	31	79	74	37	43	175	1670	890	2443		924							No	No	CRUCE DE TUBERIAS
8	K237+060	5	31	79	74	37	43	175	1663	889	2441		922							No	No	CRUCE DE TUBERIAS
9	K242+800	5	29	6	74	38	38	190	1642	833	1615		403	2,01	1,52	1,49	1262,92	1910,09	2808,59	No	No	CRUCE DE VIA FERREA Ventila 1: -0,403

Línea ó Tramo: **Troncal Barranca - Neiva** Distrito 2 Centro Oriente

No.	ABCISCA	COORDENADAS						ALTITUD MSNM	POTENCIALES (-mV)			CAMISA (-mV)		RESISTENCIA (Ω)			RESISTIVIDAD (Ω-cm)			Posible Corto Electrolytico	Posible Corto Eléctrico	OBSERVACIONES	
		N	W						ON	OFF	VAC	ON	OFF	1 Mts	2 Mts	3 Mts	100	200	300				
10	K334+400	4	52	810	74	54	35	318					873	852	2	0,9	0,88	1256,64	1130,98	1658,76	Si		Poste de Abscisado, CVE Mariquita-Lerida, Ventila 1. Ventila 2 -0,871 y -0,850

Línea ó Tramo: **Ramal Termo Dorada** Distrito 2 Centro Oriente

No.	ABCISCA	COORDENADAS						ALTITUD MSNM	POTENCIALES (-mV)			CAMISA (-mV)		RESISTENCIA (Ω)			RESISTIVIDAD (Ω-cm)			Posible Corto Electrolytico	Posible Corto Eléctrico	OBSERVACIONES	
		N	W						ON	OFF	VAC	ON	OFF	1 Mts	2 Mts	3 Mts	100	200	300				
11	K11+000	5	26	55	74	40	69	204	457				459										CRUCE DE VIA DORADA - HONDA. Ventila 1 Potencial Ventila 2 -0,459

ELABORO: Mario A. Carvajal López	REVISO Y APROBÓ: Ing. Javier Montañez Ing. Jose Manuel Acosta	RECIBIÓ Y APROBÓ: Ing. Eduardo Crisancho Especialista en Integridad Interventor
--	---	---

En el cruce encamisado número diez, se puede observar que se registra tanto el potencial On como el Off, es decir que la camisa esta ciclando y además esta diferencia entre el On y el Off es mayor a 10 mV, sin embargo, por fallas en la infraestructura del gasoducto no se pudo llevar a cabo la medición de potencial; pero considerando los potenciales de la estación de prueba más cercana a este cruce, se puede inferir que las mismas se encuentran en corto electrolítico, esto es debido a que el tubo dentro de la cubierta no se encuentra en condiciones óptimas.

6.4. Pruebas de Aislamientos Eléctricos

Los resultados de la inspección de los aislamientos son mostrados en la tabla 5, en esta se puede observar que los aislamientos eléctricos son de dos tipos, uno son las bridas aislantes y otro son las uniones monolíticas. Los resultados muestran que todas las uniones monolíticas se encuentran en buen estado y que algunas bridas aislantes requieren ser cambiadas ya que están permitiendo el paso de corriente de una estructura a otra, por lo que en algunos casos se están registrando potenciales muy electronegativos en los ramales y esto puede causar desprendimiento catódico del recubrimiento; también estas fugas de corriente hacen que los sistemas sean menos eficientes y como se va a requerir más corriente para proteger la línea para la cual fue diseñado el sistema de protección catódica, esto conlleva a una disminución de su vida útil.

Tabla 5. Inspecciones de aislamientos eléctricos

No	ANTES DE LA JUNTA			DESPUÉS DE LA JUNTA			ESTADO DE LA JUNTA AISLANTE
	Estructura antes de la junta (Estación o nombre del gasoducto o ramal)	POTENCIALES (-mV)		Estructura después de la junta (Estación o nombre del gasoducto o ramal)	POTENCIALES (-mV)		
		ON	OFF		ON	OFF	
1	Gasoducto MontaÑuelo	1116	912	Estación Recibo MontaÑuelo	564	563	La brida aislante se encuentra en buen estado ya que el lado que se encuentra aislado no tiene una diferencia de potencial mayor a 10mV entre el On y el Off
2	llegada a Mariquita	1571	942	Trampa de Raspadores	532	531	Estos aislamientos cuentan con una unión monolítica y los resultados muestran que estan en buen estado, ya que el lado que se encuentra aislado no tiene una diferencia de potencial mayor a 10mV entre el potencial On y el potencial Off
3	salida Neiva	1264	978	Trampa de Raspadores	530	531	
4	Troncal	2251	1891	válvula de derivación Ibagué	467	467	
5	Troncal	1290	836	válvula de derivación Doima	412	412	
6	del ramal a Doima	1208	1208	válvula de derivación Doima	412	412	
7	a ramal Piedras	1153	1153	trampa de raspadores Piedras 2	217	217	Este aislamiento cuenta con una unión monolítica y los resultados muestra que esta en buen estado, ya que a pesar que en ninguno de los dos lado esta ciclando, la diferencia de potencial entre las dos estrucutras es mayor a 100 mV
8	Troncal	1152	861	trampa de raspadores piedras 1	252	252	Este aislamiento cuenta con una unión monolítica y los resultados muestran que esta en buen estado.
9	válvula de derivación Alvarado	260	260	estación de medición Alvarado	163	163	Estos aislamientos cuentan con una unión monolítica y los resultados muestra que esta en buen estado.
10	estación de medición Alvarado	345	345	a Alvarado	156	156	
11	Troncal	1219	1115	válvula de derivación Venadillo	458	458	Este aislamiento cuenta con una unión monolítica enterrada y los resultados muestran que esta en buen estado.
12	válvula de derivación Venadillo	458	458	Estación receptora Venadillo	135	135	Estos aislamientos cuentan con una unión monolítica y los resultados muestra que esta en buen estado, ya que a pesar que en ninguno de los dos lado esta ciclando, la diferencia de potencial entre las dos estrucutras es mayor a 100 mV
13	Estación receptora Venadillo	146	146	a Venadillo	290	290	
14	del ramal Líbano	764	764	trampa de raspadores	152	152	
15	del ramal a Líbano	306	306	estación de medición	147	147	
16	del ramal Ambalema	1126	1126	trampa de raspadores	620	620	
17	de ramal a Ambalema	623	623	estación de medición	623	623	Estos aislamientos tienen bridas aislantes las cuales se encuentran en mal estado ya que ha ambos lados de las bridas se tienen los mismos valores de potencial y además presentan continuidad.
18	estación de medición Ambalema	623	623	a Ambalema	623	623	Este aislamiento cuenta con una unión monolítica y los resultados muestra que esta en buen estado.
19	Ramal Ambalema Ambalema	1274	1274	Estación receptora	500	500	Estos aislamientos tienen bridas aislantes las cuales se encuentran en mal estado ya que ha ambos lados de las bridas se tienen los mismos valores de potencial y además presentan continuidad.
20	a Ambalema	500	500	Estación receptora	503	503	
21	derivación la Sierra	437	437	estación de medición	437	437	En esta junta aislante la cual se encuentra en buen estado. Esta junta cuenta con una brida aislante, la cual se encuentra en mal estado ya que el potencial es igual a ambos lados de la brida.
22	a la Sierra	426	426	Estación receptora	426	426	
23	Troncal	2534	2534	derivación Líbano	1386	1386	Estos aislamientos cuentan con una unión monolítica y los resultados muestra que esta en buen estado, ya que a pesar que en ninguno de los dos lado esta ciclando, la diferencia de potencial entre las dos estrucutras es mayor a 100 mV
24	derivación Lérida	555	555	Ramal Lérida	554	554	
25	Ramal Lérida	546	546	Estación receptora	134	134	Este aislamiento cuenta con una brida aislante, en el ensayo no se pudo poner a ciclar ninguna estructura y los resultados muestran que la brida se encuentra en buen estado, sin embargo se recomienda verificar estos resultados mediante otra tecnica.
26	estación de medición Lérida	140	140	a Lérida	420	420	
27	derivación Guayabal	643	643	Estación receptora	66	66	Este aislamiento cuenta con una junta monolítica que se encuentra en buen estado.
28	Ramal Honda	1301	1301	Estación receptora	704	704	Estas juntas cuentan con una brida aislante, la cual se encuentra en mal estado ya que el potencial es igual a ambos lados de la brida.
29	del ramal Honda	1198	1198	Derivación	419	419	
30	derivación a Mariquita	385	385	estación de medición	385	385	Este aislamiento cuenta con una unión monolítica y los resultados muestran que esta en buen estado.
31	a Mariquita	412	412	Estación receptora	406	406	
32	entrada ramal Victoria	1352	1352	Derivación victoria	256	256	Estas juntas cuentan con una brida aislante, la cual se encuentra en mal estado ya que el potencial es igual a ambos lados de la brida.
33	de trampa de raspadores Victoria	209	209	Estación receptora	209	209	
34	a Victoria	208	208	Estación receptora	208	208	Este aislamiento cuenta con una unión monolítica y los resultados muestran que esta en buen estado.
35	a termo Dorada	743	743	Estación de derivación	343	343	
36	derivación Dorada-de Termo Dorada	757	757	a dorada	211	211	

6.5. Toma de Potenciales a Ramales

Se inspeccionaron un total de nueve ramales a los cuales se les realizó una toma de potenciales, estos cuentan con un sistema de protección catódica con ánodos de sacrificio. En la tabla 6 se ilustran los resultados más importantes de los potenciales tomados a los Ramales. Las gráficas en donde se plasma la representación de los datos se encuentran en los anexos C a I.

Tabla 6. Observaciones relevantes de los potenciales tomados a los Ramales.

Ramal	Longitud del Ramal	Observaciones
Termo Dorada	12 Km	La totalidad de los potenciales son menos electronegativos que -850 mV.
Victoria	9 Km	Los datos registrados después del km 3,5 hasta el final del ramal son más electronegativos de -1200 mV.
Honda	18 Km	La totalidad de los potenciales son más electronegativos que -1200 mV.
Libano	20 Km	En los primeros 15 kilómetros los datos son más electronegativos que -1200 mV.
Tierra Dentro	1 Km	El potencial registrado está en el criterio de aceptación.
Ambalema	19 Km	Después del kilómetro 6 los potenciales son un poco más electronegativos que -1200 mV.
Piedras	8, 6 Km	La totalidad de los potenciales son más electronegativos que -1200 mV.
San Luis	1 Km	El potencial registrado es más electronegativo que -1200 mV.
Doima	4 Km	La totalidad de los potenciales son más electronegativos que -1200 mV.

En ningún ramal se presentaron potenciales superiores de 15VAC, por lo tanto no se van a presentar problemas en la salud relacionados por el contacto con la tubería.

Los valores de potencial del Ramal Termo Dorada indican que no está protegido catódicamente a causa del desgaste del material anódico, no hay fugas de corriente de protección ya que como se observa en la tabla 5 las juntas de aislamiento de este ramal están en buen estado, además esta línea no comparte el derecho de vía con otras tuberías que podrían ser posibles causas de fugas de corriente de protección.

CONCLUSIONES

- Se mantuvo operando eficientemente las unidades rectificadoras de corriente en el tramo comprendido entre Sebastopol hasta Puerto Salgar, pero en el tramo Puerto Salgar – Mariquita, permaneció apagado el rectificador, por operar de modo fijo que impide la variación de su voltaje de salida, lo que estaba causando daño en el revestimiento de la línea.
- Los suelos en los cuales se encuentra el tramo del gasoducto inspeccionado se clasifican como moderada y levemente corrosivos, permitiendo el flujo de corriente eléctrica entre áreas anódicas y catódicas.
- El sistema de protección catódica opera de una manera eficiente ya que toda la línea inspeccionada se encuentra protegida catódicamente, sin embargo en el km 170 y en el tramo de Puerto Salgar – Mariquita se presenta sobre protección catódica por inducciones de corriente provenientes de otros sistemas.
- El cruce encamisado que se encuentra en el km 334+400 de la línea Barrancabermeja – Neiva se encuentra en corto electrolítico.
- Se encontraron un total de 8 juegos de empaques aislantes en mal estado, las cuales están produciendo fugas de corriente del sistema de protección catódica.
- El ramal a Termo Dorada no se encuentra protegido catódicamente al ser los valores de potencial más electropositivos que -850 mV en la totalidad de la línea.

RECOMENDACIONES

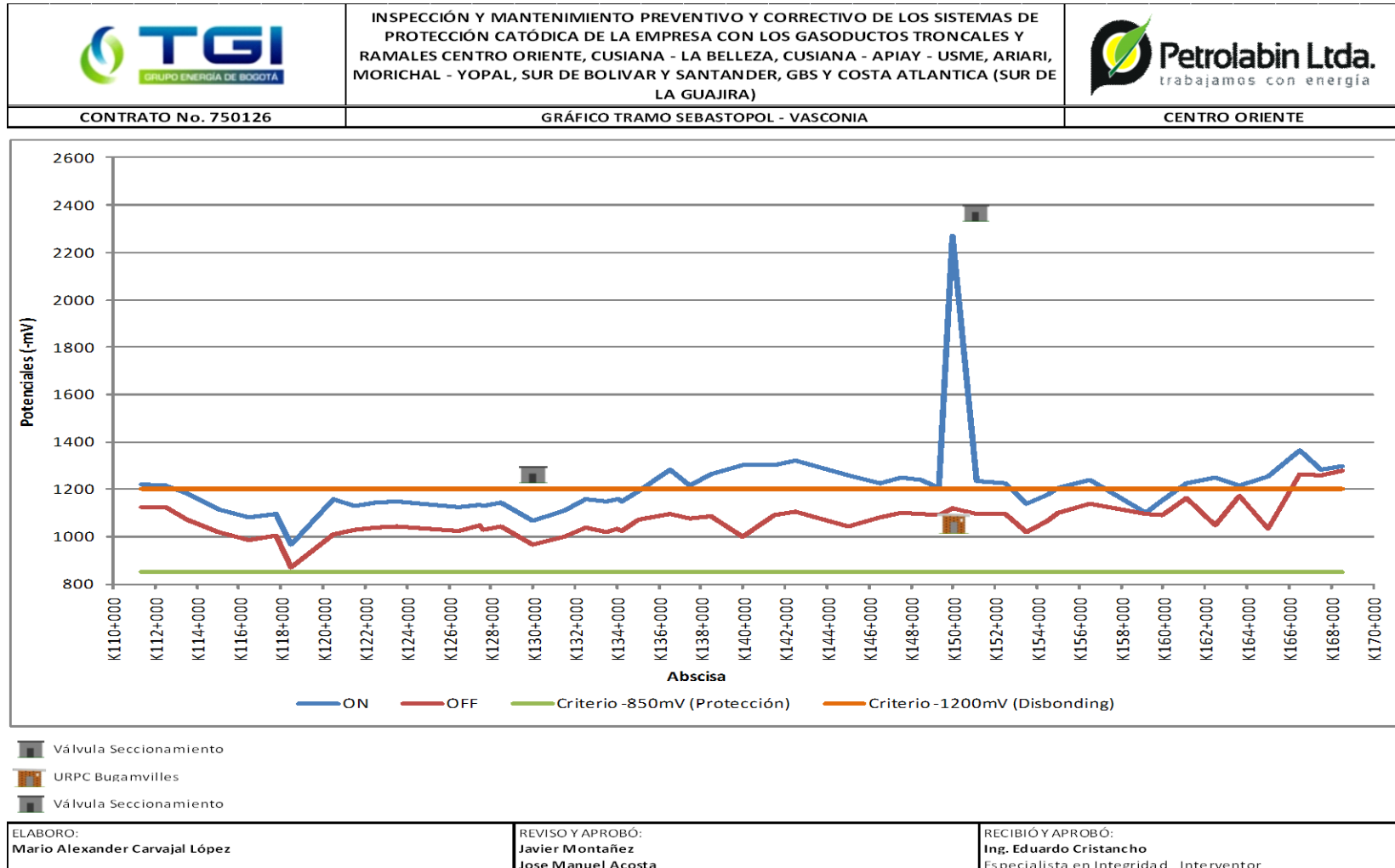
- Mantener en operación eficiente las URPC y monitorear de manera regular, mediante planes de inspección los valores de potencial, verificando que estos se mantengan dentro de los límites del criterio de aceptación.
- Con el fin de monitorear los valores de potencial en los cruces encamisados y evaluar su estado mecánico o electrolítico; se debe efectuar un mantenimiento en las estaciones de prueba disponibles en los mismos o instalarlas donde no exista.
- Inspeccionar nuevamente las bridas aislantes en las que se hayan detectado fugas de corriente y verificar si es una falla del empaque o una falla en el aislamiento de los pernos (manguitos de polietileno).
- Rediseñar el sistema de protección catódica del ramal a Termo Dorada e instalar el sistema de protección catódica que determine este diseño.
- Para los tramos donde se presentaron inducciones de corriente; se debe concertar con los otros usuarios del derecho de vía, las medidas necesarias para eliminar este fenómeno que afecta a todos.
- Realizar una inspección del revestimiento en los tramos que se encontraron sobre protección catódica, mediante la PCM (Paperline Current Mapper) o DCVG (Direct Current Voltage Gradient).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Peabody, A, Peabody's Control of Pipeline Corrosion, Houston, NACE Press, 2nd ed., 2001
- NACE: CP Technician Course Manual
- NACE CP Technologist Course Manual
- NACE: CP Specialist Course Manual
- NACE: SP 0169_07: Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems
- NACE: SP 0177_07: Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems
- NACE: SP 0286_07: Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipelines
- NACE SP 0502_08: External Corrosion Direct Assessment Methodology
- NACE TM 0497_02: Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems

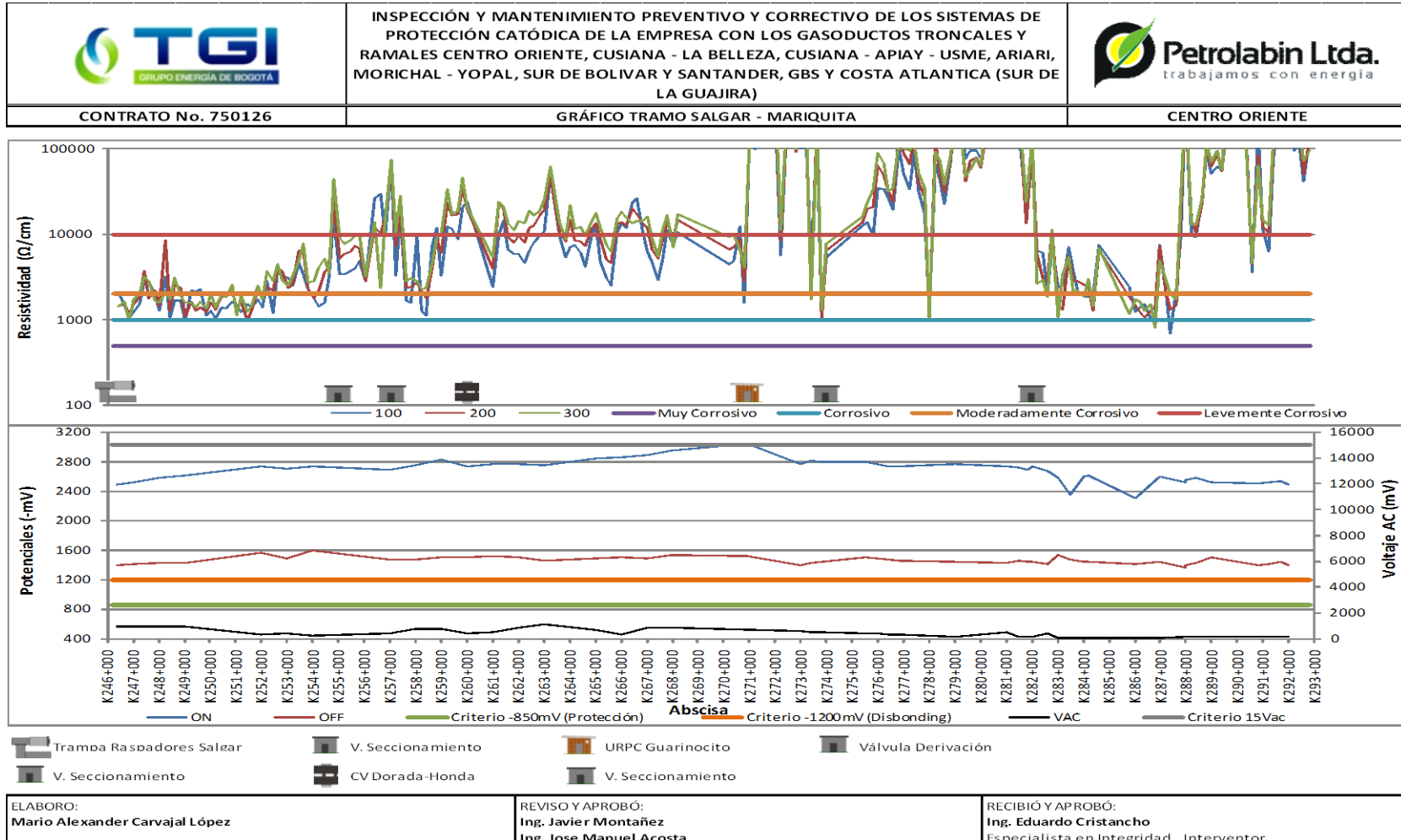
ANEXO A

Grafica 2. Potenciales On – Off tramo Sebastopol - Vasconia



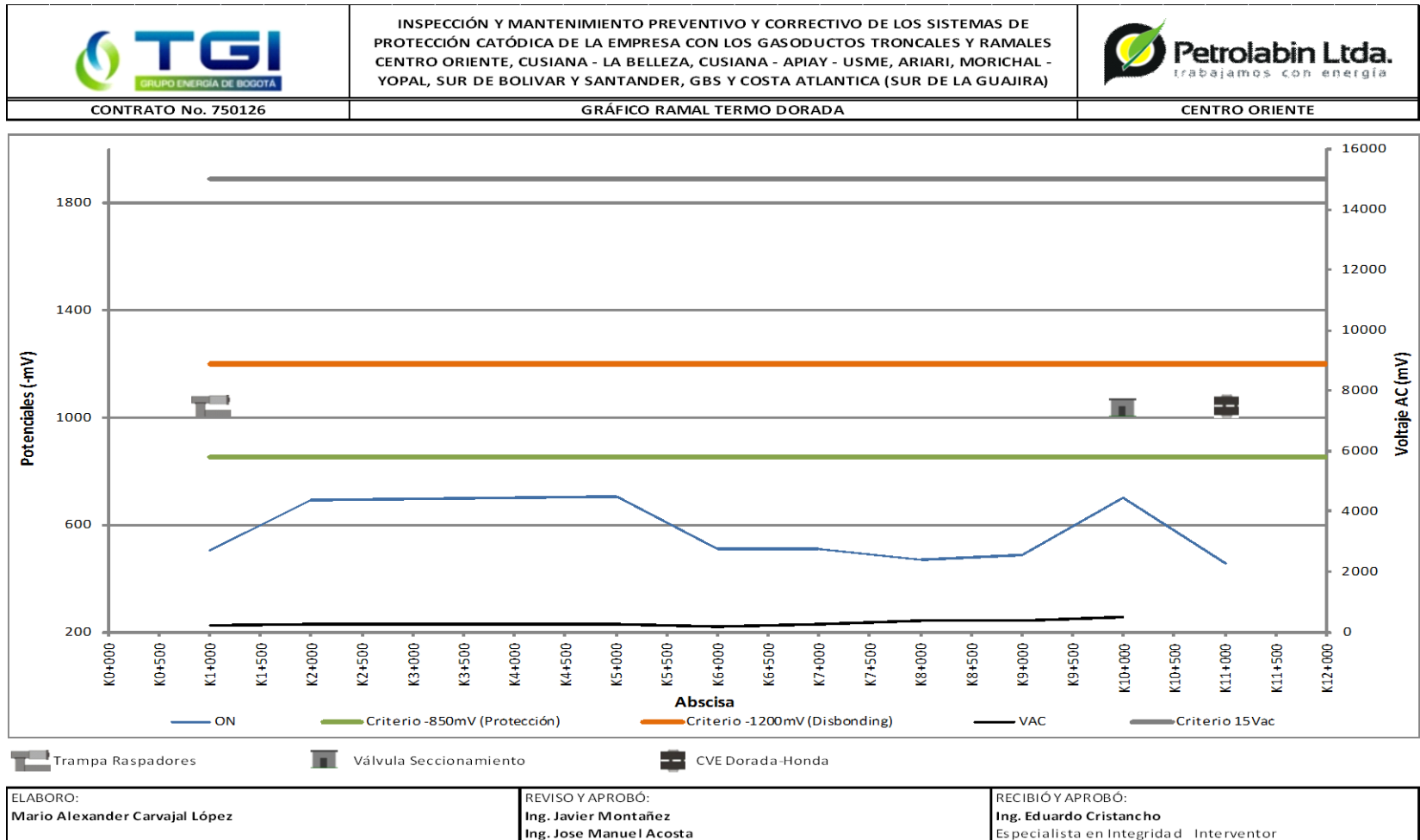
ANEXO B

Grafica 3. Potenciales On – Off y resistividades del tramo Salgar – Mariquita



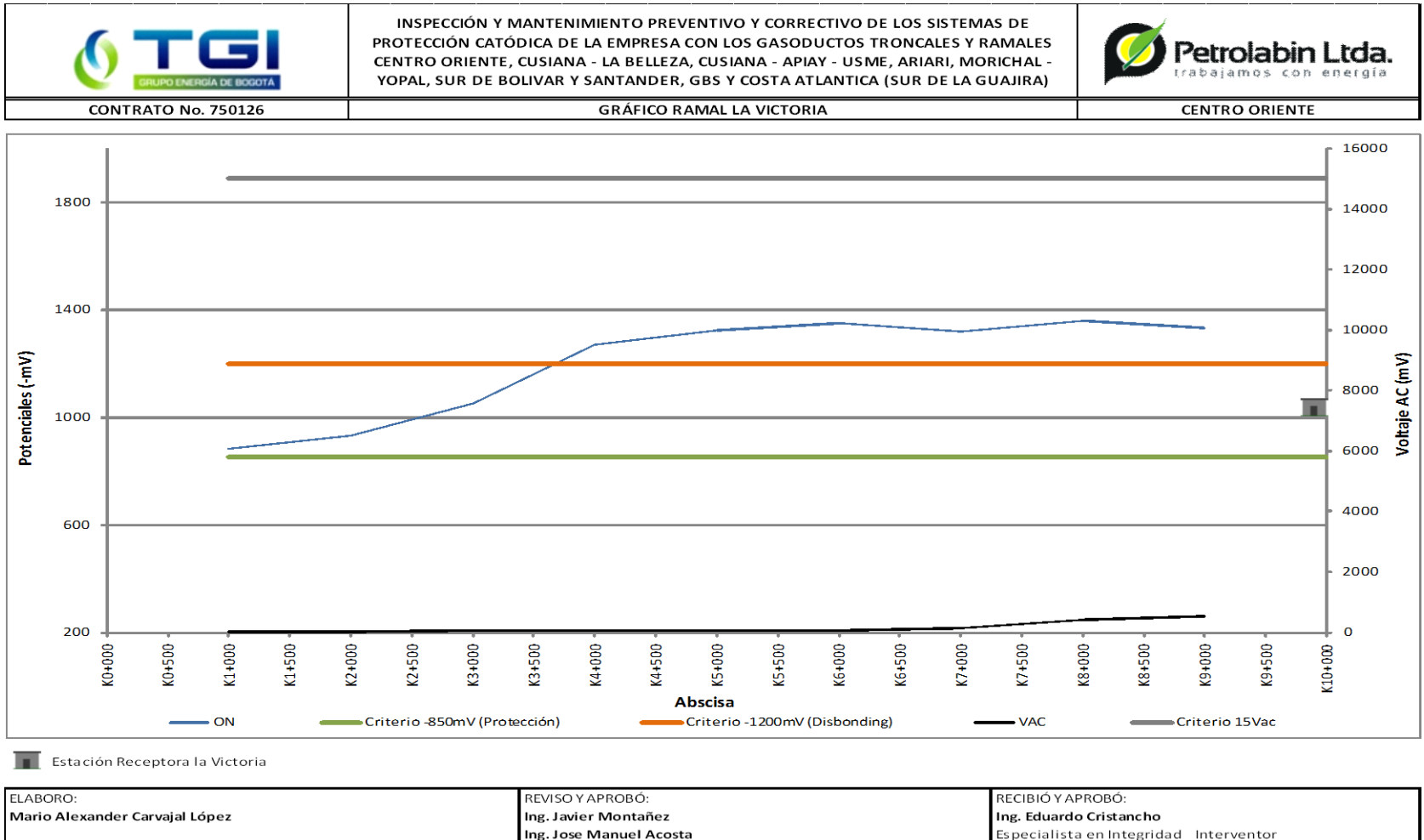
ANEXO C

Grafica 4. Toma de potenciales al Ramal de Termo Dorada



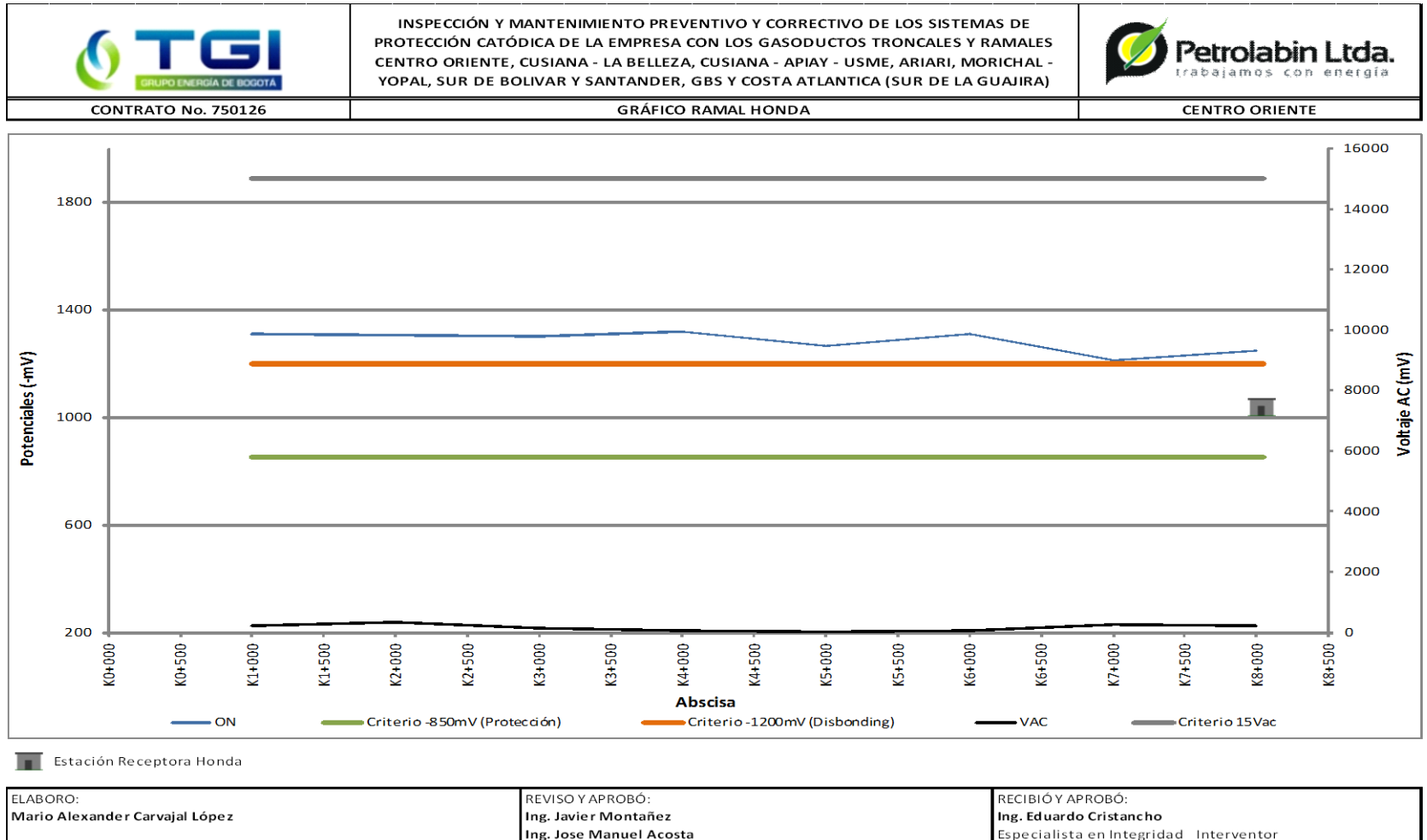
ANEXO D

Grafica 5. Toma de potenciales al Ramal de Victoria





ANEXO E

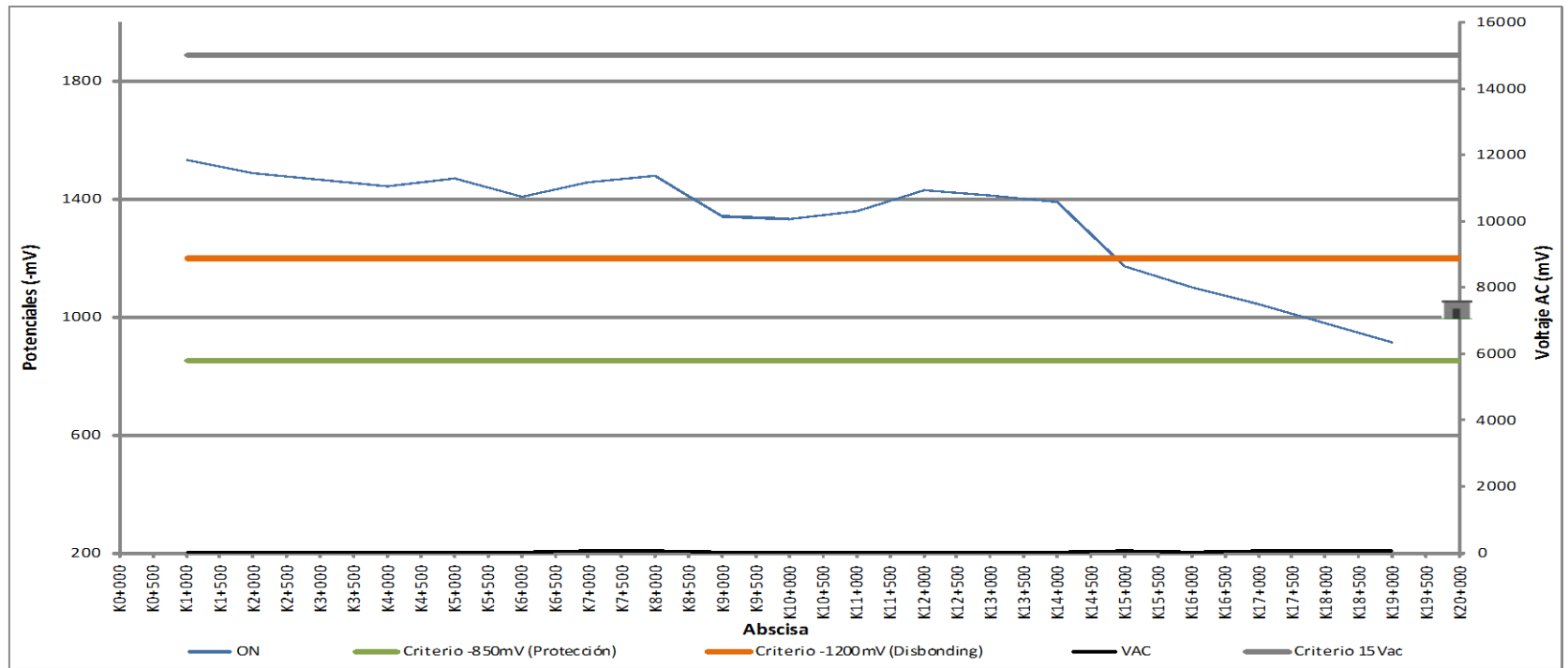
Grafica 6. Toma de potenciales al Ramal de Honda



ANEXO F

Grafica 7. Toma de potenciales al Ramal de Líbano

 <p>TGI GRUPO ENERGIA DE BOGOTÁ</p>	<p>INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA DE LA EMPRESA CON LOS GASODUCTOS TRONCALES Y RAMALES CENTRO ORIENTE, CUSIANA - LA BELLEZA, CUSIANA - APIAY - USME, ARIARI, MORICHAL - YOPAL, SUR DE BOLIVAR Y SANTANDER, GBS Y COSTA ATLANTICA (SUR DE LA GUAJIRA)</p>	 <p>Petrolabin Ltda. trabajamos con energía</p>
CONTRATO No. 750126	GRÁFICO RAMAL LIBANO	CENTRO ORIENTE





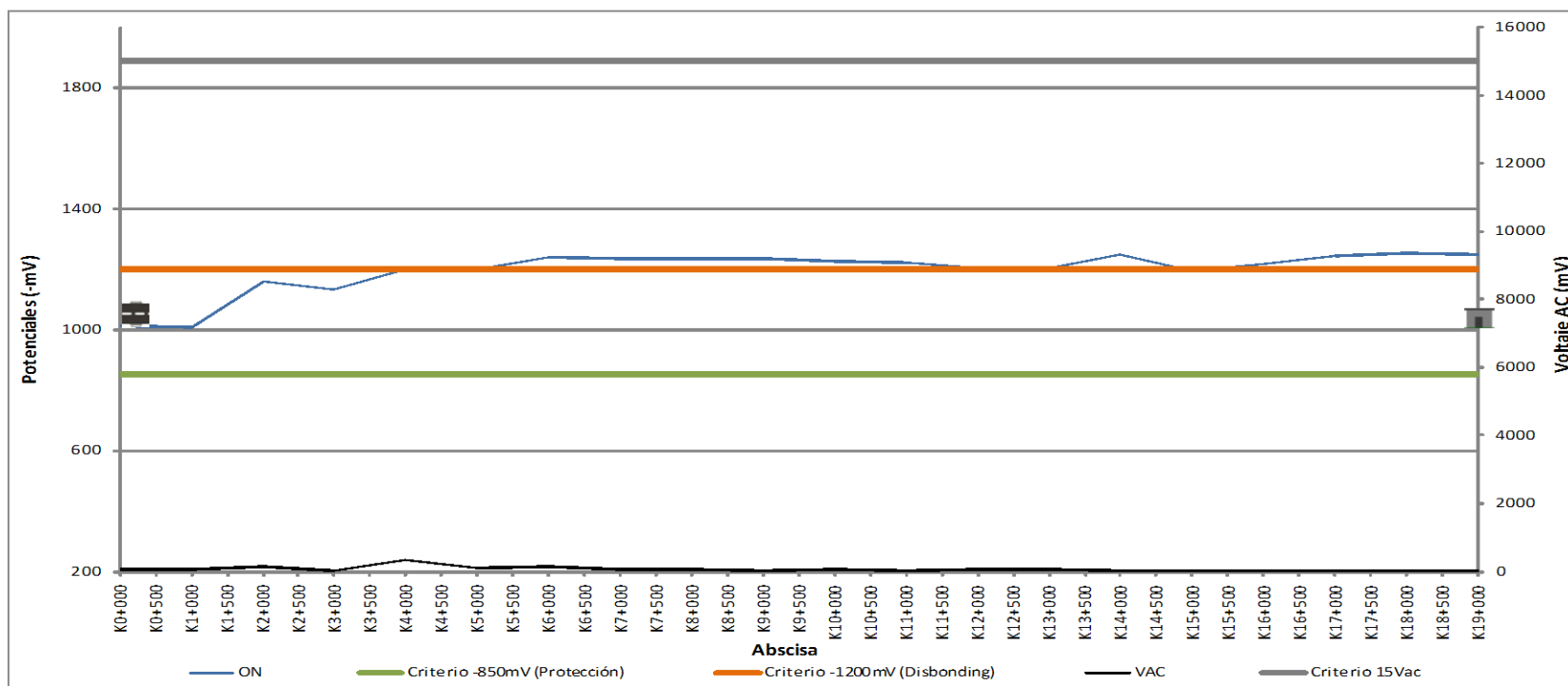
■ Estación Receptora Libano

<p>ELABORO: Mario Alexander Carvajal López</p>	<p>REVISÓ Y APROBÓ: Ing. Javier Montañez Ing. Jose Manuel Acosta</p>	<p>RECIBIÓ Y APROBÓ: Ing. Eduardo Crisanchó Especialista en Integridad Interventor</p>
---	--	---

ANEXO G

Grafica 8. Toma de potenciales al Ramal de Ambalema

 TGI <small>GRUPO ENERGÍA DE BOGOTÁ</small>	INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN CATÓDICA DE LA EMPRESA CON LOS GASODUCTOS TRONCALES Y RAMALES CENTRO ORIENTE, CUSIANA - LA BELLEZA, CUSIANA - APIAY - USME, ARIARI, MORICHAL - YOPAL, SUR DE BOLIVAR Y SANTANDER, GBS Y COSTA ATLANTICA (SUR DE LA GUAJIRA)	 Petrolabin Ltda. <small>trabajamos con energía</small>
CONTRATO No. 750126	GRÁFICO RAMAL AMBALEMA	CENTRO ORIENTE

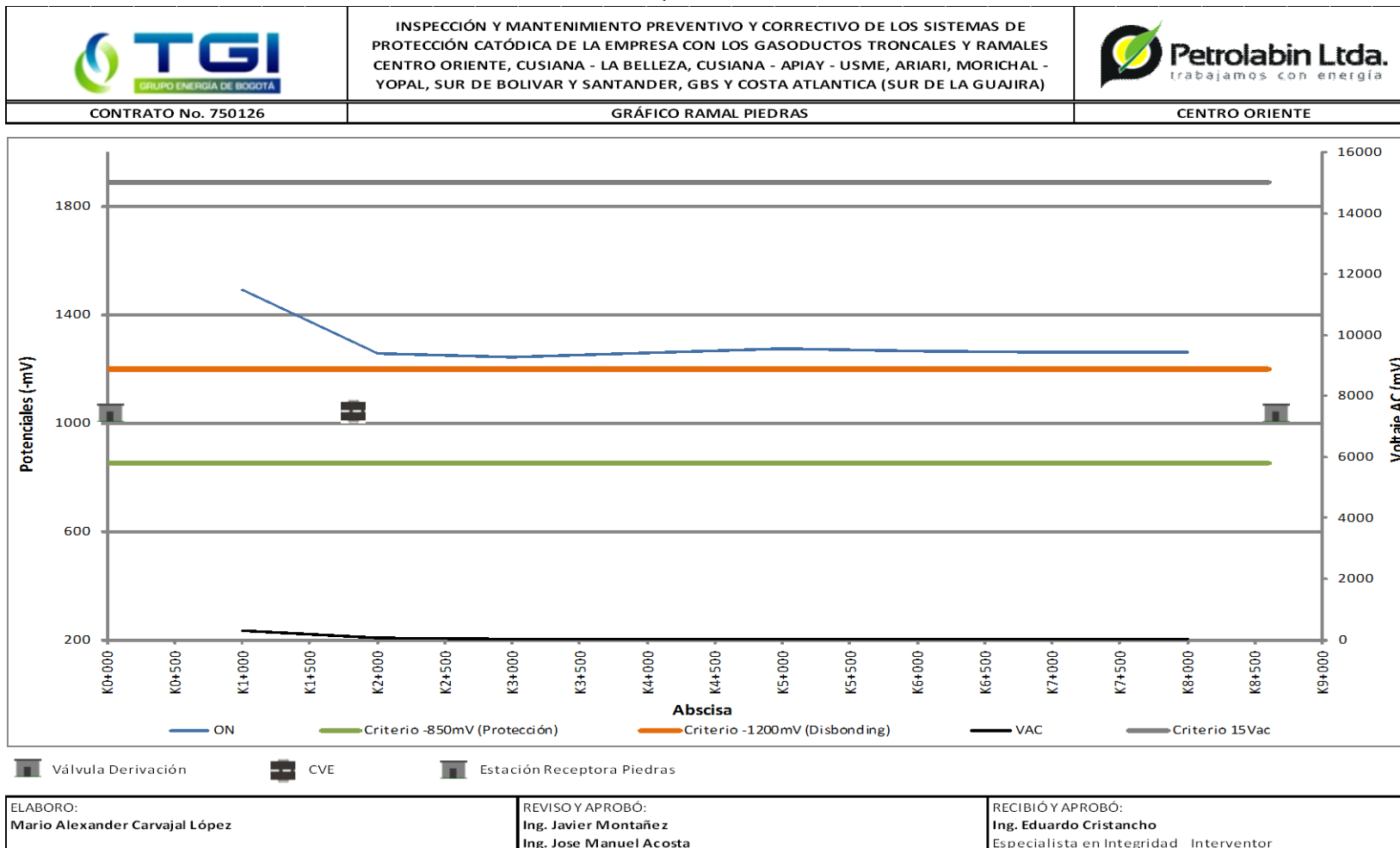


 CVE Lerida-Venadillo
  Estación Receptora Ambalema

ELABORO: Mario Alexander Carvajal López	REVISÓ Y APROBÓ: Ing. Javier Montañez Ing. Jose Manuel Acosta	RECIBIÓ Y APROBÓ: Ing. Eduardo Cristancho Especialista en Integridad Interventor
---	---	---

ANEXO H

Grafica 9. Toma de potenciales al Ramal de Piedras



ANEXO I

Grafica 10. Toma de potenciales al Ramal de Doima

