



Viabilidad de metodologías de prospección electromagnética (EM y GPR) en la
detección de sistemas enterrados. Caso de estudio cruce caño Jeringa,
Barrancabermeja Santander 2022.

Modalidad:
Proyecto de Investigación

Viviana Marcela García Díaz
1.095.809.763
Juan Sebastián Cabeza Hernández
1.098.756.313

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Ciencias Naturales e ingenierías
Ingeniería en topografía
Bucaramanga 24/03/2023



Viabilidad de metodologías de prospección electromagnética (EM y GPR) en la
detección de sistemas enterrados. Caso de estudio cruce caño Jeringa,
Barrancabermeja Santander 2022.

Modalidad
Proyecto de Investigación

Viviana Marcela García Díaz
1.095.809.763
Juan Sebastián Cabeza Hernández
1.098.756.313

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniería en topografía

DIRECTOR
Carlos Esteban Mora Chaves

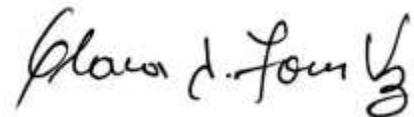
Grupo de investigación – GRIMAT

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Ciencias Naturales e ingenierías
Ingeniería en topografía
Bucaramanga 24/03/2023

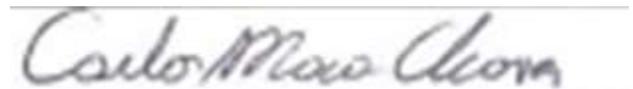
Nota de Aceptación

El proyecto de grado cumple con todos los criterios e indicadores de evaluación exigidos por las Unidades Tecnológicas de Santander para optar por el título de Ingeniero en Topografía. Aprobado de acuerdo al comité de proyectos de grado mediante el acta N° 6 del 21 de marzo de 2023.

Evaluadora Clara Inés Torres Vázquez.



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

Quiero dedicar este gran logro a todas las personas que siempre a pesar de las dificultades confiaron en mí, a mis hermanos, a mis padres que están para mí incondicionalmente y sé que estarán más orgullosos que nadie de este importante logro. También me gustaría agradecer a mi familia, en especial a mi tía Mireya, Marlen y a Carlos, finalmente me gustaría agradecerle a mi pareja Deisy a quien conocí en medio de este proceso de ser ingenieros topógrafos y ya estamos a unos meses de lograrlo.

Juan Sebastián Cabeza Hernández

Le dedico con todo mi corazón este proyecto a Dios y a mi madre que en paz descanse quien me enseñó en vida a luchar y salir adelante cumpliendo con cada uno los sueños y metas propuestas a pesar de las adversidades, sé que, aunque no esté presente siempre estará orgullosa de mí con este logro de ser ingeniera topográfica y de abrir cada día, más puertas para ser la mejor profesional en mi medio y sé que con su protección desde el cielo lo seguiré cumpliendo. También quiero dedicar y agradecer a mi familia materna por apoyarme siempre en este recorrido cada semestre.

Viviana Marcela García Díaz

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento de este proyecto de investigación está dirigido principalmente a Dios que nos guio y dio la fortaleza para seguir adelante, aun cuando cumplir nuestro sueño y continuar con nuestras responsabilidades parecía imposible. Un especial agradecimiento para todos los docentes del programa de ingeniería en topografía, por brindarnos todos sus conocimientos y experiencias, en especial a nuestro docente director de proyecto Carlos Esteban Mora Chaves por su dedicación y esfuerzo.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO.....</u>	<u>10</u>
<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>11</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>13</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN	15
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4. ESTADO DEL ARTE	16
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	<u>19</u>
2.1. MARCO ESPACIAL	19
2.2. MARCO TEORICO	20
2.2.1. MÉTODOS DE PROSPECCIÓN:.....	20
2.2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL GPR	21
2.2.3. PROPIEDADES ELECTROMAGNÉTICAS DE LOS MATERIALES.....	23
2.2.4. DETECCIÓN DE SISTEMAS ENTERRADOS CON EM	26
2.2.5. FUNCIONAMIENTO Y PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS	27
2.2.6. DETECCIÓN CON GPR	28
2.2.7. PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE DATOS CON GPR	30
2.2.8. FUNCIONAMIENTO Y ESTRUCTURA DE LOS EQUIPOS.....	31
2.3. MARCO CONCEPTUAL	31
2.4. MARCO LEGAL	32
2.4.1. NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS APLICABLES	32
<u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....</u>	<u>34</u>
<u>4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	<u>35</u>
<u>5. RESULTADOS</u>	<u>48</u>
<u>6. CONCLUSIONES</u>	<u>61</u>
<u>7. RECOMENDACIONES.....</u>	<u>62</u>

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	19
Figura 2. DESPLAZAMIENTO DEL RECEPTOR EN LA LOCALIZACIÓN CONDUCTIVA DE LA TUBERÍA.....	26
Figura 3. UBICACIÓN CONDUCTIVA DE LA TUBERÍA.	27
Figura 4. METODOLOGÍA SOBRE EJE X.	29
Figura 5. INTERPRETACIÓN DE PATRONES.	29
Figura 6. REFLEXIÓN CONDUCTIVA DE LA TUBERÍA ENTERRADA.	30
Figura 7. IDENTIFICACIÓN DE LINEAS O SEÑALES DE CONDUCTIVIDAD.	36
Figura 8. DESPLAZAMIENTO CON EL DETECTOR EM.	36
Figura 9. VISUALIZACIÓN DE LA PANTALLA DEL EQUIPO RD.....	37
Figura 10. GPR CON SUS PARTES PARA DETECCIÓN DE SISTEMAS ENTERRADOS.	37
Figura 11. DESPLAZAMIENTO EN EJE X CON GPR PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ANOMALÍAS.....	38
Figura 12. IDENTIFICACIÓN DE ANOMALÍAS CON GPR.	39
Figura 13. PANTALLA DEL EQUIPO GPR.	39
Figura 14. INTERPRETACIÓN DE LAS SEÑALES QUE EMITEN LAS ONDAS.	40
Figura 15. CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS ANOMALÍAS.....	40
Figura 16. CLASIFICACIÓN DE ONDAS Y SU REFLECTANCIA.	42
Figura 17. RADARGRAMA - UBICACIÓN CON PROYECCIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL ADQUISICIÓN 221017AA.	42
Figura 18. RADARGRAMA - UBICACIÓN CON PROYECCIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL ADQUISICIÓN 221017AA.	43
Figura 19. RADARGRAMA – UBICACIÓN CON PROYECCIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL ADQUISICIÓN 221017AA.	43
Figura 20. RADARGRAMA -UBICACIÓN CON PROYECCIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL ADQUISICIÓN 221020AA.	44
Figura 21. RADARGRAMA - UBICACIÓN CON PROYECCIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL ADQUISICIÓN 221021AA.	44
Figura 22. SEÑALIZACIÓN CON BANDERINES.....	45
Figura 23. CÁLCULO PARA LA OBTENCIÓN DE LA COTA REAL.....	45
Figura 24. APIQUES DE VERIFICACIÓN.....	46
Figura 25. GRAFICO CALCULO DE COTAS PUNTO 3.2.	58
Figura 26. GRAFICO CALCULO DE COTAS PUNTO 11.7.....	58
Figura 27. GRAFICO CALCULO DE COTAS PUNTO 16.3.....	59
Figura 28. GRAFICO LINEAL DIFERENCIA ENTRE METODOLOGIAS.	59
Figura 29. GRAFICO DE BARRAS DIFERENCIA ENTRE METODOLOGIAS.	60
Figura 30. GRAFICO CALCULO DE DIFERENCIAS PROMEDIO.	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. EJEMPLO DE PENETRACIÓN PROMEDIO PARA DIFERENTES FRECUENCIAS.....	28
Tabla 2. INVENTARIO DE ANOMALÍAS	48
Tabla 3. INFORMACION OBTENIDA METODOS DE PROSPECCION	57
Tabla 4. INFORMACION OBTENIDA APIQUES DE VERIFICACION	57
Tabla 5. DIFERENCIA ENTRE METODOLOGIAS	57

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto de investigación se planteó como un primer avance en el uso de metodologías de prospección electromagnética con EM y GPR que nos permita identificar los trazados y las características de los sistemas enterrados con métodos no destructivos y comprobar su efectividad con métodos directos como los apiques de verificación. El estudio partió de uno de los parámetros fundamentales como lo es la amplitud de onda que permite el paso de señales emitidas por los equipos GPR y EM a través de los materiales generando imágenes de radar (radargramas), que con el criterio del especialista se identifican y se analizan los componentes de cada anomalía detectada, con el objetivo de servir como base para realizar inventarios y actualizaciones de redes subterráneas útiles para proyectos de ingeniería.

Para esto, se presentan los procedimientos y principios que se aplicaron en la obtención de los datos y su proceso para dar con la ubicación en proyección horizontal y profundidad de cada sistema subterráneo reflejados en un inventario de anomalías y planos que nos permiten dar recomendaciones en cuanto al uso e interpretación de las características y la eficacia de los equipos de acuerdo a cada zona en la que se realice la detección de sistemas enterrados.

Es por esto que se evaluaron las redes subterráneas existentes, con el uso de metodologías electromagnéticas (Georradar EM y GPR), para obtener la información que nos permitió contrastar señales emitidas y receptadas por los equipos con la obtenida por métodos directos como los apiques. Logrando así tanto una mayor veracidad de la información resultante, como formular algunas recomendaciones y limitaciones con base en la investigación realizada.

PALABRAS CLAVE.

Video digital logger (DVL), electromagnético (EM), ground penetrating radar (GPR), prospección, radargrama.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto de investigación surge con el fin de conocer que tan viable puede llegar a ser la detección de sistemas enterrados en el subsuelo con el uso de metodologías de prospección electromagnética (EM y GPR) para identificar los elementos existentes y algunas de sus características que nos permitan saber qué tipo de anomalía es, su ubicación, profundidad y trayectoria, apoyándonos en el uso de esta metodología en el caso de estudio cruce Caño Jeringa ubicado en el municipio de Barrancabermeja.

Estos procedimientos de prospección tienen sus ventajas y desventajas en términos de costos y limitaciones que a lo largo de este proyecto de investigación presentamos con el propósito de comparar lo que sería una inversión importante a corto plazo, pero que podría representar un ahorro en tiempo y recursos realizando excavaciones para determinar por donde están pasando actualmente las redes.

Todo esto abre un abanico de posibilidades en la aplicación de esta metodología en la actualización de catastro de redes subterráneas y futuros proyectos de ingeniería y construcción que requieran información específica de lo que se encuentra en el subsuelo analizando los datos obtenidos con estos métodos de prospección no invasivos, que permitan obtener la información y contrastarla con los métodos directos como lo son los apiques de verificación por lo que es necesario contar con un alto nivel de habilidad y experiencia por parte de los técnicos de enterrados para extraer conclusiones relevantes de los datos obtenidos.

A continuación, presentamos nuestra investigación en tres fases que corresponden a la ejecución de actividades que se deben llevar a cabo al momento de realizar detección de sistemas enterrados en diferentes proyectos teniendo en cuenta cada procedimiento expuesto iniciando con la aplicación de las metodologías de prospección electromagnéticas (EM y GPR), seguido de esto se realiza la fase de descripción del proceso que identifica aspectos como ubicación en proyección horizontal y profundidad de las anomalías y

finalmente contrastar la información obtenida con las metodologías de prospección electromagnética y los métodos directos para analizar la comprobación de los datos y obtener un inventario de anomalías y determinar la efectividad de los métodos usados contrastando los resultados obtenidos con los apiques de verificación.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El incremento poblacional ligado a la búsqueda de una mejor calidad de vida, demanda la prestación de servicios como el transporte y la producción de actividades industriales generadoras de emisiones contaminantes que provocan el detrimento en la calidad del aire del país, debido a la presencia de azufre e hidrocarburos aromáticos de altos índices de octano en el combustible (Boluda, Macias, & Gonzales, 2019).

En cuanto al combustible, existen factores que determinan su calidad y las emisiones, esto representa un reto para la industria automotor en aras del mejoramiento de propiedades en los combustibles que se ajusten a las especificaciones internacionales, mediante un conjunto de acciones que deben desarrollar las entidades gubernamentales en el marco de sus competencias (Boluda, Macias, & Gonzales, 2019).

De acuerdo a la política del gobierno Nacional en el año 2018 en la cual establece el mejoramiento de la calidad del aire del país a través del ministerio de minas y energías, ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, adoptando políticas y estrategias nacionales y regionales de prevención y control de la contaminación del aire por parte de la industria automotor como el uso de sistemas de control de emisiones o la conversión de carbón a gas natural en los vehículos. (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

Ecopetrol acogiendo los requerimientos del CONPES 2018 adopta un plan de acción para la actualización de sus troncales en el área circundante a caño Jeringa

en Barrancabermeja, y surge la necesidad de identificar los elementos existentes en el subsuelo del área a intervenir. La no identificación de enterrados existentes podría entorpecer el desarrollo y viabilidad de los proyectos de ingeniería a desarrollar. (Departamento Nacional de Planeación, 2018).

¿Es posible Identificar los sistemas enterrados con los métodos de prospección electromagnéticos que permitan determinar la ubicación, profundidad, trayectoria y tipos de elementos?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El proyecto de investigación, se enfoca en determinar la importancia y viabilidad del estudio de detección de sistemas enterrados en el área para la actualización de la troncal 8” en el área circundante a caño Jeringa en el municipio de Barrancabermeja.

Para la ejecución del proyecto de ingeniería se requiere identificar la información existente en el área de estudio para la actualización de la troncal 8” en el área circundante a caño Jeringa en el municipio de Barrancabermeja.

La verificación de la efectividad de estas metodologías de prospección electromagnética en la detección de sistemas de enterrados abre un abanico de aplicaciones de dichas técnicas en la actualización de los diferentes sistemas que integran el territorio tanto urbano como rural, en redes de tuberías desactualizadas, identificación de sistemas de alcantarillado antiguos o redes eléctricas que por su antigüedad no se encuentre dentro de un inventario y se desee tener.

La propuesta es relevante para las UTS porque alimenta la línea de investigación de Geomática y Gestión territorial del grupo GRIMAT Grupo de investigación en medio ambiente y territorio, lo cual hace reforzar la actividad investigativa del programa académico.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar los sistemas enterrados con los métodos de prospección electromagnéticos que permitan determinar la ubicación, profundidad, trayectoria y tipos de elementos, en el cruce del caño Jeringa, en el municipio de Barrancabermeja, en el año 2022.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar la detección de redes subterráneas, existentes, mediante el uso de metodologías electromagnéticas con georradar EM y GPR, con el fin de comprobar su efectividad.

Describir el procesamiento que permite definir parámetros como la ubicación en proyección horizontal y establecer la profundidad de cada elemento detectado, por medio de las metodologías expuestas que puedan representar un avance en la identificación de redes subterráneas que por su antigüedad no se encuentren dentro de un inventario.

Comprobar la eficiencia de los dos métodos ejecutados para la detección de los sistemas enterrados, contrastando la información obtenida con los métodos directos como apiques de verificación.

1.4. ESTADO DEL ARTE

AUTOR	AÑO/PAIS	RESUMEN	OBJETIVO PRINCIPAL
(Martin Gutierrez &	2006/VALENCIA-ESPAÑA	En el artículo científico se llevó a cabo un ejercicio práctico para poner a	Comprobar la

<p>Dorta Marin, 2006)</p>		<p>prueba la viabilidad del uso de técnicas GPR (Ground Penetrating Radar) en detección de enterrados aplicados al control del suelo en cimentaciones y estructuras geofísicas. El ejercicio llevado a cabo consistió en el uso de técnicas GPR en una zona previamente predispuesta en la cual se enterraron ciertos objetos de ciertos materiales a una profundidad determinada, de esta forma se compararon los resultados obtenidos con los datos ya conocidos con anterioridad.</p>	<p>efectividad y precisión de los resultados obtenidos en el calculo de enterrados mediante tecnología GPR.</p>
---------------------------	--	--	---

AUTOR	AÑO/PAIS	RESUMEN	OBJETIVO PRINCIPAL
<p>(Negron Nima, 2018)</p>	<p>Piura, Perú, mayo de 2018</p>	<p>En el estudio realizado se identifican y describen los diferentes métodos para la detección de fugas a lo largo de un oleoducto, las ventajas y desventajas para la selección de sistemas de detección de fugas y el cumplimiento de las normas y especificaciones técnicas requeridas, aplicación del hardware, software y criterios de diseño más adecuados basándose en la metodología de trabajo descriptivo y aplicativo.</p>	<p>Estudiar los métodos, tecnologías y mejoramiento en el diseño de un sistema de detección de fugas y dependencia con el Scada en oleoductos.</p>

AUTOR	AÑO/PAIS	RESUMEN	OBJETIVO PRINCIPAL
<p>(Dominguez Salazar & Vozmediano Naranjo, 2019)</p>	<p>2019/Ecuador</p>	<p>En el proyecto de grado, los autores proponen la implementación de un prototipo Georradar (GPR), para análisis de subsuelo en la búsqueda de personas vivas, esto debido a un sismo que se presentó en Ecuador el 16 de abril del 2016, donde las perdidas no solo fueron materiales, sino humanas. Por lo tanto, se lleva a</p>	<p>Diseñar e implementar un prototipo Georradar (GPR), para análisis del subsuelo en búsqueda</p>

		cabo un ejercicio práctico para comprobar la viabilidad del uso de estas tecnologías en las labores de rescate cuando un hecho similar llegase a presentarse nuevamente.	de personas vivas.
--	--	--	--------------------

AUTOR	AÑO/PAIS	RESUMEN	OBJETIVO PRINCIPAL
(Garcia, 2020)	Barcelona españa (10/01/2020)	En este proyecto se llevó a cabo la prospección con georradar y localizador de cables para obtener resultados por el método de inducción electromagnética, técnica no invasiva, en las instalaciones del hospital de la Vall d' Hebrón (Barcelona). procesando de manera avanzada la señal digital y así lograr la precisión del receptor que permita determinar si es de modo conductivo como inductivo.	Presentar los resultados obtenidos en la ejecución de la detección de sistemas enterrados con georradar en el subsuelo para el hospital de la VALL D'HEBRÓN (BARCELONA)

AUTOR	AÑO/PAIS	RESUMEN	OBJETIVO PRINCIPAL
(Ayala Cabrera, Herrera, Izquierdo, & Perez Garcia, 2012)	La Habana, cuba (2012)	El estudio plantea la aplicación de metodologías estadísticas para generar rutas de mapeo adaptativas unificando tres aspectos del mapeo de tuberías que son: a) captura de las imágenes de georradar, b) análisis e interpretación de la imagen y, c) mapeo de las tuberías, con el objetivo de realizar identificaciones rápidas de los objetos encontrados, buscando minimizar el tiempo empleado para obtener resultados fiables.	Realizar el catastro de tuberías en los sistemas de abastecimiento de agua, establecimiento rutas de mapeo adaptativas en la captura de datos con el georradar.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO ESPACIAL

El trabajo se desarrolló sobre ambos márgenes del caño Jeringa, en las áreas aledañas a tramo de la Troncal DE 8" Ayacucho – Galán, el proyecto se encuentra localizado en el departamento de Santander en el municipio de Barrancabermeja, específicamente en las coordenadas geográficas 7°11'44"N; 73°48'34"O.

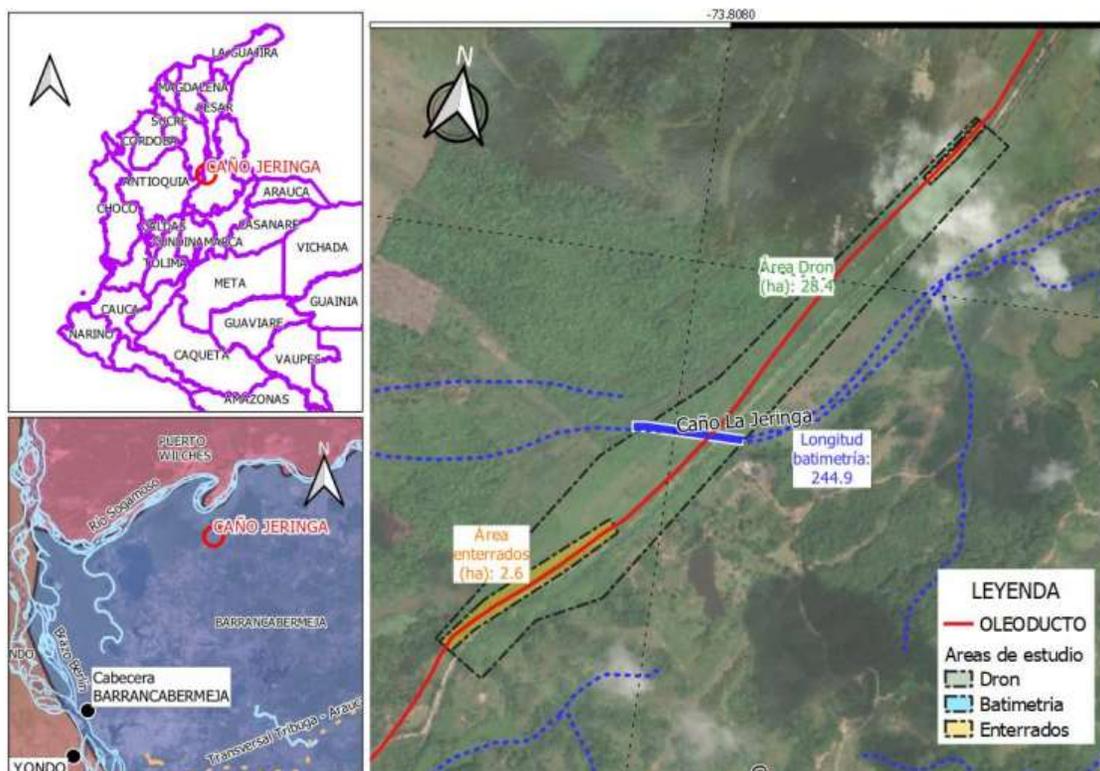


Figura 1. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

Fuente: Google earth.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. *Métodos de prospección:*

La geofísica es la encargada del estudio de la tierra y su composición, en aspectos físicos que suelen realizarse desde la superficie o sondeos. Si dicho estudio es de áreas relativamente pequeñas y/o poco profundas, estamos hablando de geofísica aplicada, y los métodos aplicados para obtener dicha información, constituyen lo que conocemos como prospección geofísica. Si el estudio es para aplicación de obra civil y áreas de metros o decenas de metros, estamos hablando de Geotecnia.

Los parámetros físicos medidos en superficie como lo son la velocidad de ondas mecánicas o las variaciones de campos gravitacionales, permiten obtener información referente a la composición del suelo; por medio de la detección de diferencias en la densidad, intensidad de corriente a una menor o mayor facilidad de difusión de cargas eléctricas. Dicha capacidad de caracterización eficiente y rápida de las condiciones del subsuelo sin perturbar el sitio, nos ofrece amplios beneficios, como lo son costos bajos, menor impacto y riesgo ambiental, y una mayor comprensión general de las condiciones del sitio de trabajo.

Los métodos geofísicos se encargan de la medición de las propiedades físicas de los elementos que componen el subsuelo (sedimentos, agua, objetos, rocas, cavidades, etc.) y se clasifican en pasivos y activos.

Pasivos: se basan en la detección de variación en las propiedades naturales del terreno sin hacerlo de forma invasiva generando señales artificiales, como por ejemplo la magnetometría, gravimetría, potencial espontaneo, geoquímica, radiometría, geobotánica y geobiología.

Activos: Opuestos a los pasivos, los métodos activos permiten el estudio del subsuelo y los materiales que lo componen, mediante la producción de señales artificiales y analizando la forma en que estas interactúan con los diferentes materiales que lo componen. Como por ejemplo métodos eléctricos (tomografía, métodos geo eléctricos), la polarización inducida, métodos sísmicos (refracción y reflexión), y los de interés en este proyecto, como lo son los electromagnético y el georradar.

2.2.2. Fundamentos Teóricos del GPR

2.2.2.1 Ecuaciones de Maxwell

El funcionamiento de la tecnología empleada por un GPR parte de la teoría de las ecuaciones de Maxwell, vinculando en cierta forma, la potencia del campo eléctrico y magnético con el desplazamiento eléctrico y la inferencia magnética, respectivamente, logrando correlacionar las ondas electromagnéticas y los medios en los cuales estas se propagan. A continuación, se exponen las denominadas ecuaciones de Maxwell.

$$\nabla \vec{D} = \rho_f$$

Ecuación 1

$$\nabla \vec{B} = 0$$

Ecuación 2

$$\nabla \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \vec{M}$$

Ecuación 3

$$\nabla \vec{H} = -\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J}$$

Ecuación 4

Donde las variables correspondientes (E) y (H) representan al campo magnético y campo eléctrico.

(D) y (B) corresponden a los vectores de desplazamiento eléctrico e inducción magnética.

(P) y (J) representan densidades de carga y corriente.

Todo lo anteriormente mencionado de manera explicativa pertenece a un sistema de ecuaciones de continuidad, cabe resaltar que dichas ecuaciones permiten la interacción entre ondas electromagnéticas y los medios de propagación.

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

Ecuación 5

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}$$

Ecuación 6

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

Ecuación 7

El sistema de ecuaciones presentado anteriormente, contiene los tres parámetros que definen un medio electromagnéticamente:

- La conductividad eléctrica (σ) que representa la capacidad de un determinado material para conducir la corriente eléctrica.
- La permitividad dieléctrica (ϵ) que nos proporciona la capacidad de polarización de un material al interactuar con un campo eléctrico.
- La permeabilidad Magnética (μ) que representa a la capacidad que tiene un medio para atraer los campos magnéticos.

2.2.2.2 Ecuación del GPR

La ecuación GPR para un dispositivo mono estático (ante en modo transceptor) presentada en la literatura está determinada por la relación (Q) entre la potencia recibida P_R y la potencia transmitida P_E . La ecuación 8 expresa esta relación.

$$Q = \frac{P_R}{P_E} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G^2 \cdot \frac{S}{(4\pi r^2)^2} \cdot e^{-4\alpha r}$$

Ecuación 8

λ : Longitud de onda en aire.

G: Ganancia de la antena.

S: Superficie efectiva del reflector.

α : Constante de atenuación.

r: Distancia al reflector.

De la Ecuación 8, obtenemos la relación entre amplitud de onda recibida (Q_{Amp}), y emitida (A_E), así:

$$Q_{Amp} = \frac{A_R}{A_E} \propto \sqrt{\frac{1}{r^4} \cdot e^{-4\alpha r}} = \frac{e^{-2\alpha r}}{r^2}$$

Ecuación 9

2.2.3. Propiedades electromagnéticas de los materiales

2.2.3.1 Conductividad

La conductividad de un medio es una medida de la respuesta de sus cargas libres internas a la presencia de un campo eléctrico externo, y es el coeficiente de la relación entre el campo libre aplicado y la densidad de corriente aparente debida a la transferencia de estas cargas libres. Esto significa que es una medida de la capacidad del material para conducir electricidad, descrita por la ley de Ohm, cuya fórmula se da en la Ecuación 7. La unidad SI de conductividad es el equivalente de ohmios/metro o Siemens/metro. La conductividad de un medio es inversamente proporcional a su resistividad. En general, se puede hacer una distinción entre materiales conductores, semiconductores y aislantes.

2.2.3.2 Permitividad Eléctrica

La permitividad dieléctrica es una constante que mide la capacidad de un material para polarizarse en presencia de un campo eléctrico. Da el valor de la respuesta estática del material en presencia de un campo eléctrico externo. La permeabilidad al vacío es 1. Para la mayoría de los materiales que se pueden encontrar en las profundidades a investigar electromagnéticamente, el valor de permeabilidad relativa estará entre 1 (aire) y 81, el siguiente valor es la permeabilidad del agua a 20°C.

2.2.3.3 Velocidad de Propagación de onda

La velocidad a la que se propagan las ondas electromagnéticas en un medio depende de la permeabilidad relativa interna, la velocidad de la luz en el vacío y la permeabilidad relativa. La velocidad (V_m) de una onda electromagnética en un material particular viene dada por:

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{(\epsilon_r \mu_r / 2)((1 + P^2) + 1)}}$$

Ecuación 10

Donde:

- P es el factor de pérdida, por lo que $P = \sigma/\omega\epsilon$
- σ es la conductividad
- $\omega = 2\pi f$ (f es la frecuencia)
- ϵ es la permitividad absoluta.

En materiales con bajo factor de disipación tenemos $P \rightarrow 0$, entonces la velocidad de la onda electromagnética está dada por:

$$V_m = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{0.3}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ m/ns}$$

Ecuación 11

La profundidad de penetración (D) puede determinarse a partir de la ecuación 12 en función de la velocidad media V_m . Finalmente, los dos tiempos de propagación se pueden analizar utilizando la representación de imagen de la señal GPR. Como resultado de estas celdas, se encuentra la profundidad:

$$D = \frac{T \cdot V_m}{2}$$

Ecuación 12

2.2.3.4 Longitud de Onda

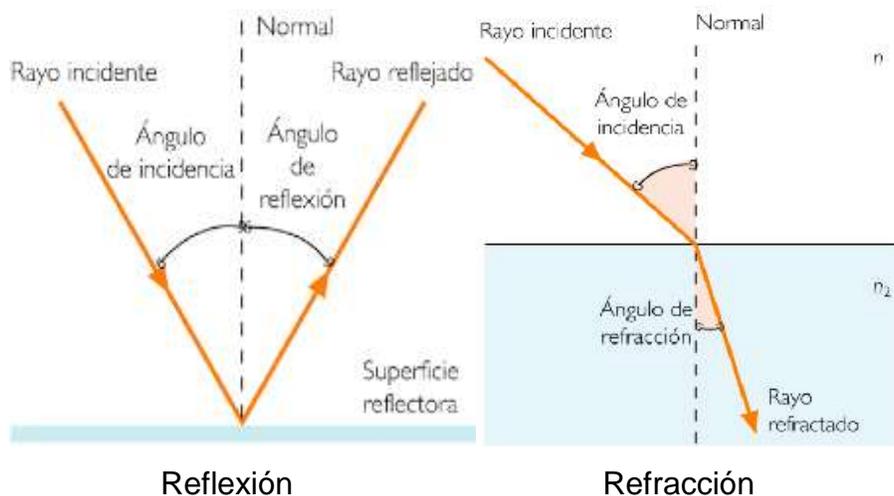
La longitud de onda en un punto dado λ_m será proporcional a la velocidad y frecuencia de las ondas generadas; así:

$$\lambda_m = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega} v = \frac{2\pi}{\omega} \frac{c}{Re\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = \frac{\lambda_0}{Re\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$$

Ecuación 13

2.2.3.5 Reflexión y Refracción

El funcionamiento del GPR está basado en la detección de las reflexiones y las detecciones de las dispersiones de las señales emitidas. Cuando la energía luminosa alcanza la ruptura de la gravedad central, tiene lugar un proceso de reflexión y refracción. Lo cual está relacionado con el cambio en la dirección de viaje de la señal (es decir, el frente de onda se refracta), de conformidad con la ley de Snell. La Figuras presentadas a continuación, representan de manera esquemática los fenómenos de Reflexión y Refracción de la energía mencionados.



Una onda es “reflejada” cuando se encuentra con un cambio en el material y varían las propiedades del mismo. El ángulo de reflexión es igual que el ángulo de incidencia, por lo general, tomando como referencia la perpendicular a la superficie,

o la línea normal. Por otro lado, el cambio de dirección de la señal se da cuando se pasa de un medio a otro con diferente velocidad (diferente índice de refracción), con un ángulo de incidencia diferente a cero grados con respecto a la normal de la interface.

2.2.4. Detección de sistemas enterrados con EM

En este procedimiento se efectúa la aproximación a líneas con detector electromagnético tipo EM, empleando el método conductivo. La localización conductiva se escoge en el display de los equipos la frecuencia con la que se va a trabajar. El proceso se ejecuta moviendo lentamente el receptor de manera perpendicular a la posible ubicación de la línea en terreno, si existen líneas que generen conductividad, en la pantalla del equipo se visualizan unas señales indicadoras de la dirección en la que se encuentra el eje de la anomalía.

La posición de la línea se logra identificar en el instante en el que las dos señales indicadoras coinciden en un mismo punto. Una vez identificado el técnico operador del equipo se desplaza de 2 a 3 metros y repite la misma acción. Una vez identificado cada punto se señala en terreno con banderines.

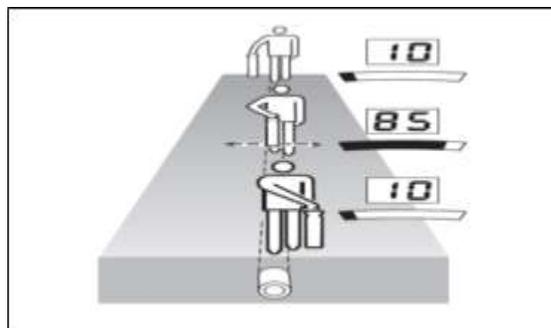


Figura 2. DESPLAZAMIENTO DEL RECEPTOR EN LA LOCALIZACIÓN CONDUCTIVA DE LA TUBERÍA

Fuente: Google.

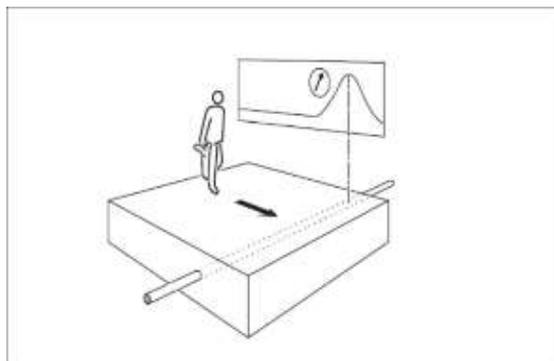


Figura 3. UBICACIÓN CONDUCTIVA DE LA TUBERÍA.

Fuente: Google.

2.2.5. Funcionamiento y propagación de las ondas

Las Ondas electromagnéticas se rigen por dos principios: la óptica geométrica y la teoría del campo electromagnético (Caicedo Hornaza, Mancera Carmona, & Tristancho).

El principio de la metodología de prospección con GPR se basa en la transmisión (emisión y recepción) de ondas electromagnéticas, concentradas en un medio solido con el suelo, el cual es un material heterogéneo que genera fenómenos de ondas como la refracción, reflexión y difracción y que pueden ser detectados por antenas receptoras al momento de chocar la onda con algún obstáculo, por esta razón lo que se realiza con el GPR es identificar anomalías y cambios en sus propiedades por debajo del suelo.

La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en cualquier medio depende de la permeabilidad relativa o constante dieléctrica, es decir la capacidad de actuar como un material aislante.

El radar puede determinar la profundidad del elemento tomando el tiempo entre la emisión de la señal y la llegada de la reflexión, otro aspecto importante en la operación del GPR es la magnitud e intensidad de la frecuencia emitida por la antena, pues de esta dependerá la capacidad de resolución y de penetración del sistema lo que significa que a mayor frecuencia las longitudes de ondas tendrán menor amplitud y por ende representara una buena resolución pero baja penetración y viceversa como se muestra a continuación.

Tabla 1. EJEMPLO DE PENETRACIÓN PROMEDIO PARA DIFERENTES FRECUENCIAS

Frecuencia central en (MHz)	Penetración en (m)
1000	0.5
500	1.0
200	2.0
100	5.0
10	50.0

Fuente: (Caicedo Hornaza, Mancera Carm ona, & Tristancho).

2.2.6. Detección con GPR

Una vez que se identifica el eje de la tubería se realiza la prospección con GPR utilizando el método, "línea en el eje X". Este método consiste en hacer grillas o cuadrículas de inspección en el terreno dividiendo en cuadrantes y haciendo líneas de inspección en los objetivos a detectar en sentido transversal.

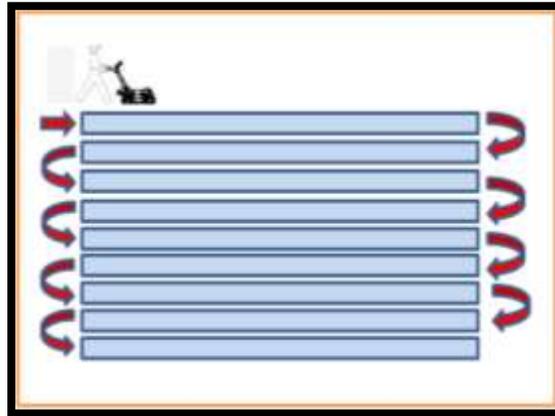


Figura 4. METODOLOGÍA SOBRE EJE X.

Fuente: Google.

La interpretación y señalización en banderines de las anomalías detectadas la realiza el técnico quien opera el equipo en campo aplicando los criterios que se describen a continuación:

- La ubicación con proyección horizontal de los elementos se ejecuta en campo utilizando una guía que trae el equipo en la parte inferior que indica la posición de la anomalía detectada y se muestra en el DVL con una línea vertical.
- La cota lomo de las anomalías se determina teniendo en cuenta la profundidad que muestra el DVL del georradar, en la mayoría de los casos se observa el inicio de la anomalía.

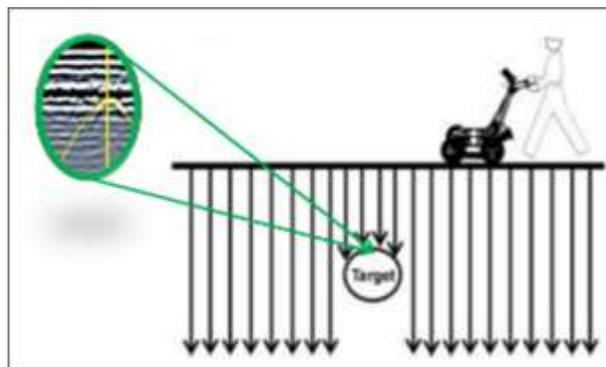


Figura 5. INTERPRETACIÓN DE PATRONES.

Fuente: RADIODETECCION AN SPX COMPANY.

2.2.7. Procesamiento e interpretación de datos con GPR

Teniendo los registros guardados en la memoria interna del georradar, llamados radargramas, son representaciones gráficas de las trazas generadas por las diferentes ondas electromagnética. Estas trazas simbolizan vectores de energía plasmadas gráficamente en diagramas de reflexión contra tiempo.

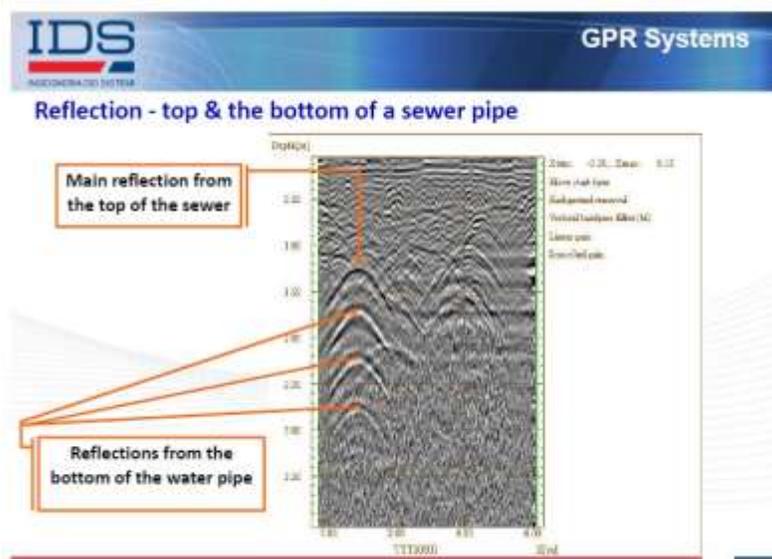


Figura 6. REFLEXIÓN CONDUCTIVA DE LA TUBERÍA ENTERRADA.

Fuente: IDS INGEGNERIA DEI SISTEMI SPA.

De la correcta interpretación de los diagramas, depende la calidad y efectividad de los procedimientos obtenidos.

Proceso para la correcta recolección de información es el siguiente:

1. Identificar los radargramas de las zonas.
2. Depurar las anomalías registradas en la medición filtrando la información.
3. identificar los tiempos de propagación de las ondas del equipo.
4. Calcular las profundidades a partir de las velocidades.
5. Interpretar y verificar los datos obtenidos.

2.2.8. Funcionamiento y estructura de los equipos

El GPR está compuesto por cuatro partes principales que son:

1. **La unidad central de control:** Encargada de organizar y gestionar la información emitida y recibida a través de las antenas; Proporciona corriente para el funcionamiento y para transmitir los datos al computador.
2. **La antena:** Es la que recibe y emite las ondas electromagnéticas.
3. **Sistema de posicionamiento:** Es el que transmite la información geodésica al georradar, de tipo odometrico para el posicionamiento y localización lineal o por medio de GPS para obtener las tres dimensiones.
4. **Computador:** En el que se almacenan todos datos obtenidos de la medición.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Radiolocalizador Electromagnético:** Es un aparato que permite localizar cables y tuberías metálicas de un modo no destructivo y sobre casi cualquier material del subsuelo (GPR3D, 2015)
- **Ground Penetrating Radar:** El GPR es un instrumento ampliamente utilizado para investigar o detectar estructuras, objetos que se encuentran en el subsuelo, es decir enterrados, el GPR es una moderna técnica no invasiva para con el medio ambiente, y detecta los elementos gracias a la generación y recepción de ondas electromagnéticas con el fin de calcular según tipo de onda y tiempo de respuesta, la distancia y elemento que se encuentra en el suelo (Martin Gutierrez & Dorta Marin, 2006).
- **GRILLA:** Para el presente trabajo de Investigación, definiremos la palabra grilla como una cuadrícula sobre la que se realiza el desplazamiento del GPR.
- **HIPÉBOLA:** Representa una curva abierta de dos ramas.

- **OBSTÁCULO:** Para el presente, un obstáculo será cualquier objeto que impide pasar o avanzar, que interrumpe el desarrollo normal de una secuencia predeterminada para el paso de los equipos EM y GPR.
- **DVL:** (Video Digital Logger) Registrador de video digital.
- **GPR:** (Ground penetrating Radar) Georradar.
- **PROSPECCIÓN:** Exploración del subsuelo orientada a identificar características específicas o elementos enterrados.
- **RADARGRAMA:** Representación gráfica de la información percibida por un radar.

2.4. MARCO LEGAL

- **Resolución No. 068 del 2005.** Porque el proyecto de investigación debe estar amarrado al datum único oficial de Colombia, marco geocéntrico nacional de Colombia (MAGNA SIRGAS).
- **Resolución No. 715 del 2018.** Para estar de acuerdo a las actualizaciones que realizó el Instituto Geográfico Agustín Codazzi al marco geocéntrico Nacional de referencia.
- **ASTM DESIGNATION D 6432-99.** Para aplicar la guía estándar que indica el método GPR de superficie para investigación del subsuelo.

2.4.1. NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS APLICABLES

- MCG-ES-13_V1 ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA EJECUCIÓN DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS_CENIT.
- MCG-ES-19_V1. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA GEORREFERENCIACIÓN_CENIT.

No existe en Colombia algún documento normativo que garantice las precisiones estándar debido a las limitantes que se encuentran dependiendo de cada zona de estudio y lugar del país como se describe en resultados y según las

recomendaciones para cada zona donde se realice detección de sistemas enterrados, es importante aclarar que esto no representa un margen de error, es una diferencia que con el tiempo de experiencia realizando estos trabajos, características del equipo y experticia del técnico en detección de enterrados se puede cuantificar y estimar una efectividad.

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Para el desarrollo de nuestra investigación distribuimos en 3 fases el contenido se presenta en la siguiente tabla:

Fase I	Actividades	Fuentes de Información	Métodos de Investigación		Herramientas	Entregables
		Secundarias	Análítico-Sintético	Inductivo-Deductivo		
Aplicación de las metodologías de prospección electromagnéticas (EM y GPR)	1. Realizar la inspección del área a intervenir e identificar las líneas o señales de conductividad eléctrica.	Observación para recolectar información, Textos, Documentos, Normas, Bibliografías, Tesis, Archivos, planos base, key-plant.			Herramientas computacionales, equipo GPR y RD.	Radargramas, esquemas de campo, registro fotográfico de señalización en banderines
	2. Realizar el desplazamiento repetitivo con el equipo, para llevar a cabo la detección con EM					
	3. continuar con el método "línea sobre eje x" para realizar la detección con GPR					
Fase II	Actividades	Secundarias	Métodos de Investigación		Herramientas	Entregables
Descripción del proceso que identifica aspectos como ubicación en proyección horizontal y profundidad de las anomalías.	1. identificación de las anomalías a detectar	Técnicas para recolectar información, metodologías de prospección electromagnética, Textos, Documentos, Normas, Bibliografías, Tesis, radargramas.			criterios profesionales, herramientas computacionales.	Radargramas, esquemas de campo, registro fotográfico de señalización en banderines, tabla de Excel inventario de anomalías, csv con coordenadas X, Y y Z.
	2. Aplicar la recolección de información en las áreas solicitadas					
	3. Identificación de la ubicación en proyección horizontal, trayectoria y cambios de dirección de los elementos					
	4. La interpretación y señalización de las anomalías detectadas					
	5. identificar la profundidad de las anomalías encontradas					
	6. Realizar el levantamiento topográfico para darle coordenadas X,Y y Z, en el sistema de referencia y origen que corresponde para cada zona del país.					
Fase III	Actividades	Secundarias	Métodos de Investigación		Herramientas	Entregables
Contrastar la información obtenida con las metodologías de prospección electromagnética y los métodos directos.	1. Comparación de datos obtenidos con los resultados de cada metodología (detección con EM y GPR)	Técnicas para recolectar información, Tesis, Radargramas			herramientas computacionales.	registro fotográfico de señalización en banderines, planos y resultados de la comparación con registro fotográfico de los apiques y Radargramas, informe tecnico, tabla de excel inventario de anomalías.
	2. Analizar la comparación de datos para obtener inventario de anomalías encontradas					
	3. Determinar la efectividad de los métodos usados contrastando los resultados obtenidos con los apiques de verificación.					
	4. Creación de planos					
	5. Analisis de resultados.					

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Nuestra investigación se basó en describir los procedimientos para prospección electromagnética con el fin de identificar anomalías presentes en el subsuelo, para ello presentamos a continuación tres fases con sus diferentes actividades que nos permiten demostrar la metodología de la investigación.

Este estudio en campo se realizó de forma metódica siguiendo las técnicas de investigación aplicada en los métodos de prospección, considerando las características del terreno y el objetivo, que es obtener información existente de las tuberías enterradas en el área determinada del cruce caño Jeringa.

FASE I:

Aplicación de las metodologías de prospección electromagnéticas (EM y GPR)

Actividad 1: Realizar la inspección en campo del área a intervenir y se identifican las líneas o señales de conductividad eléctrica con el localizador RD8000 el cual nos indica la dirección en la que se encuentra el eje de las líneas.



Figura 7. IDENTIFICACIÓN DE LINEAS O SEÑALES DE CONDUCTIVIDAD.

Fuente: PROPIA

Actividad 2: Se realizó el desplazamiento repetitivo con el equipo, para llevar a cabo la detección con EM.



Figura 8. DESPLAZAMIENTO CON EL DETECTOR EM

Fuente: GOOGLE



Figura 9. VISUALIZACIÓN DE LA PANTALLA DEL EQUIPO RD.

Fuente: PROPIA

Actividad 3: Se continua con el método "línea sobre eje x" para continuar la detección con el equipo GPR.

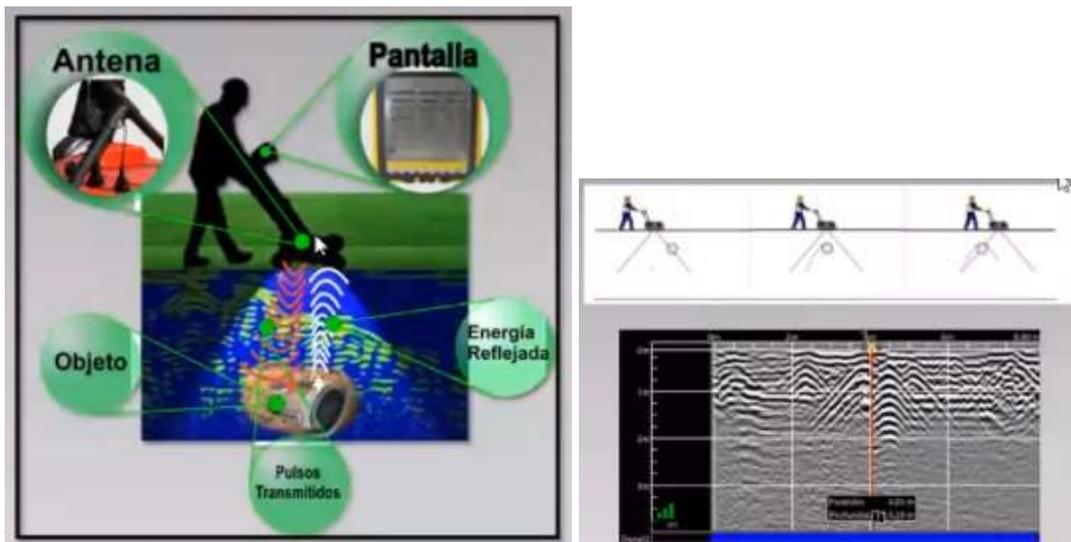


Figura 10. GPR CON SUS PARTES PARA DETECCIÓN DE SISTEMAS ENTERRADOS.

Fuente: GOOGLE

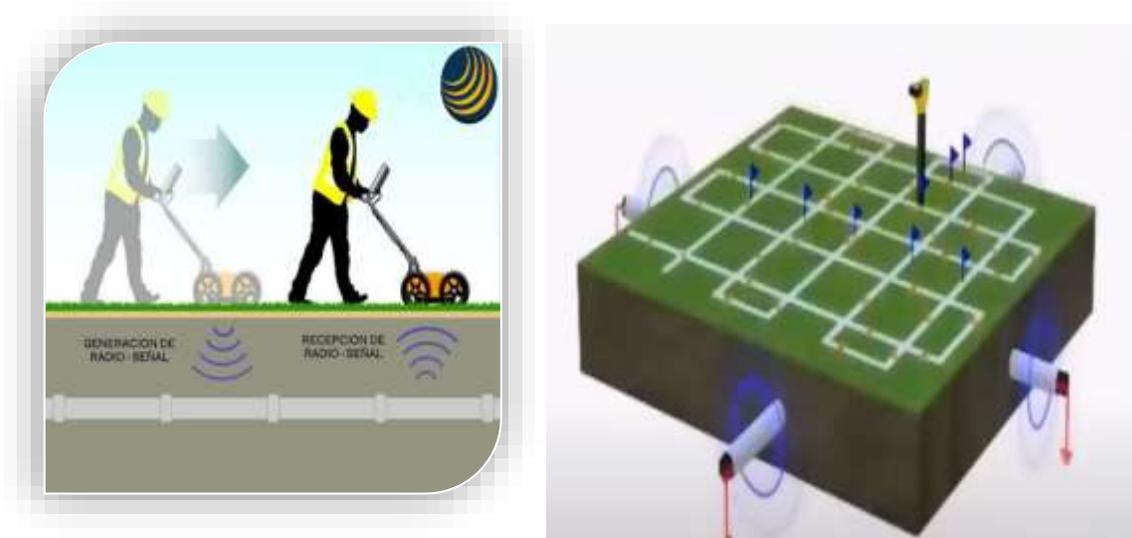


Figura 11. DESPLAZAMIENTO EN EJE X CON GPR PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ANOMALÍAS

Fuente: GOOGLE

FASE II: Descripción del proceso que identifica aspectos como ubicación en proyección horizontal y profundidad de las anomalías.

Actividad 1 y 2: Para continuar con la ejecución de los procedimientos se realizaron las actividades identificación de anomalías presentes en el subsuelo, recolectando información en las áreas solicitadas plasmándolas en carteras de campo como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 12. IDENTIFICACIÓN DE ANOMALÍAS CON GPR.

Fuente: TOPOCONSTRUCCIONES



Figura 13. PANTALLA DEL EQUIPO GPR.

Fuente: PROPIA

Actividad 3: Se verificó la información identificando la ubicación en proyección horizontal, trayectoria y cambios de dirección de cada elemento detectado.



Figura 14. INTERPRETACIÓN DE LAS SEÑALES QUE EMITEN LAS ONDAS.

Fuente: PROPIA

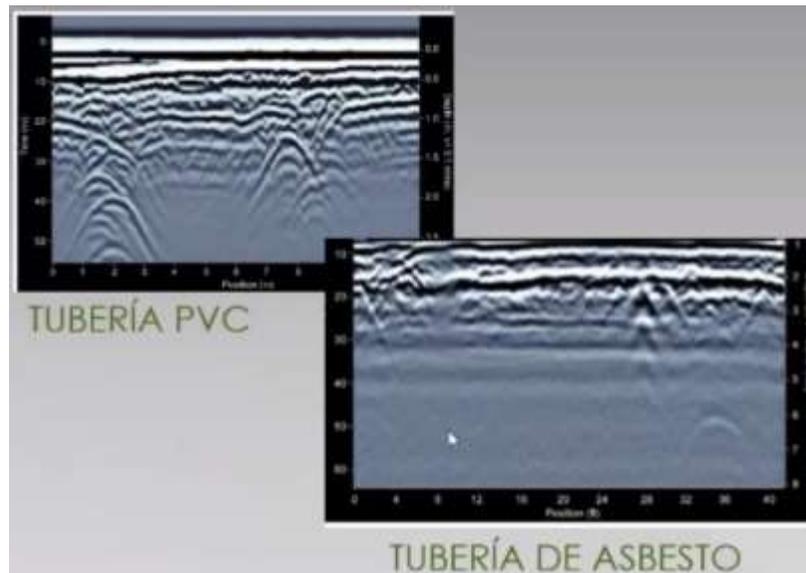


Figura 15. CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS ANOMALÍAS.

Fuente: PROPIA

Actividad 4 y 5: Con la información obtenida se realizó la interpretación de las señales emitidas por el GPR Y se deja la señalización en campo de cada anomalía encontrada, y

se identifica la profundidad para que el topógrafo pueda realizar el levantamiento de cada banderín y obtener las coordenadas X, Y y Z de cada punto detectado.

Los elementos que se identifican en el subsuelo son discriminados por patrones específicos. Básicamente se pueden determinar materiales metálicos y no metálicos debido a que los metales, especialmente los ferrosos tienen un alto nivel de conductividad que se refleja en imagen. Las tuberías se discriminan por un patrón denominado hipérbola con efecto cometa o con escalas de conductividad para la tubería metálica.

Una que se determina la profundidad exacta de las tuberías, los datos se registran en el sistema GPR, se hace materialización topográfica de los elementos.

En los puntos en los que la tubería presenta cambios de dirección se realizan puntos de control cada 5 metros. Se logra y se registra la profundidad en cada punto, enumerando cada uno de manera secuencial con el fin de materializar y representar la información obtenida de cada elemento.

En cada punto localizado se configura la profundidad donde se identifica mejor la resolución de la imagen y se guarda la captura de pantalla del tubo (Radargrama).

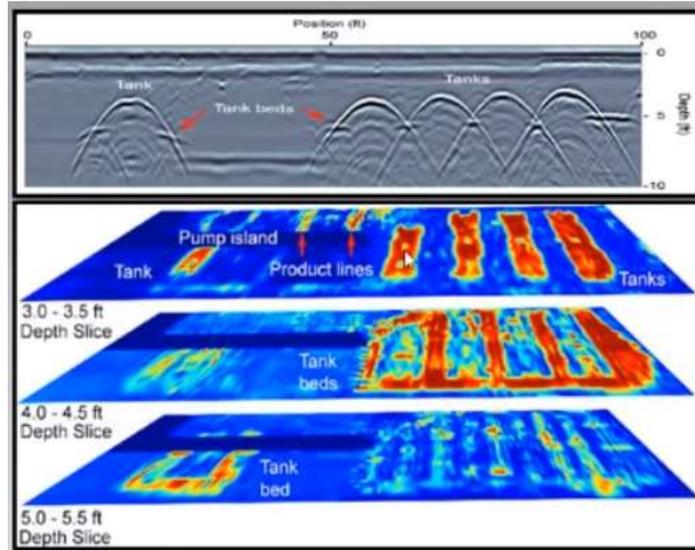


Figura 16. CLASIFICACIÓN DE ONDAS Y SU REFLECTANCIA.

Fuente: GOOGLE

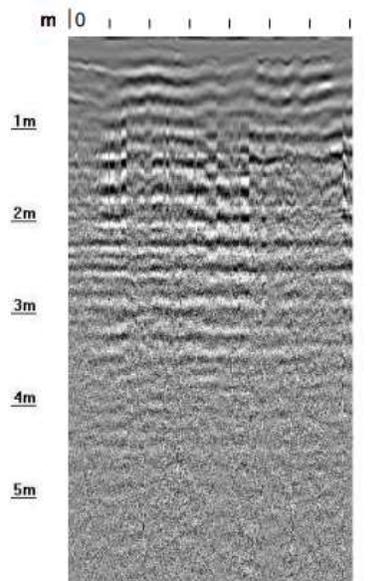


Figura 17. RADARGRAMA - UBICACIÓN CON PROYECCIÓN HORIZONTAL Y
 VERTICAL
 ADQUISICIÓN 221017AA

Fuente: IDS INGENIERIA DEI SISTEMI S.PA.

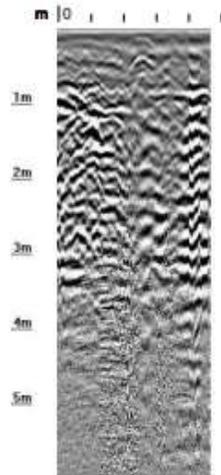


Figura 18. RADARGRAMA - UBICACIÓN CON PROYECCIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL
ADQUISICIÓN 221017AA
Fuente: IDS INGENNERIA DEI SISTEMI S.PA.

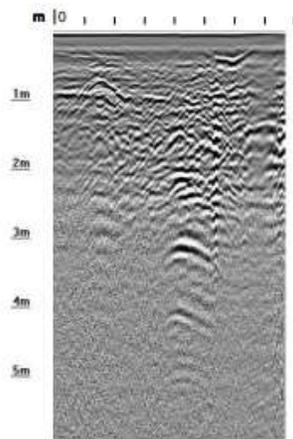


Figura 19. RADARGRAMA – UBICACIÓN CON PROYECCIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL
ADQUISICIÓN 221017AA
Fuente: IDS INGENNERIA DEI SISTEMI S.PA.

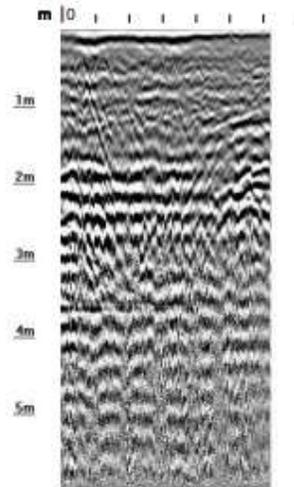


Figura 20. RADARGRAMA -UBICACIÓN CON PROYECCIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL
ADQUISICIÓN 221020AA
Fuente: IDS INGENIERIA DEI SISTEMI S.PA.

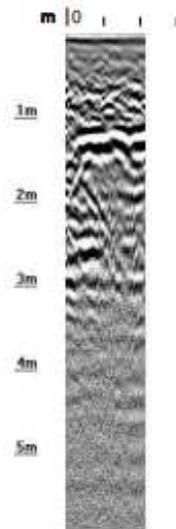


Figura 21. RADARGRAMA - UBICACIÓN CON PROYECCIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL
ADQUISICIÓN 221021AA
Fuente: IDS INGENIERIA DEI SISTEMI S.PA.



Figura 22. SEÑALIZACIÓN CON BANDERINES.

Fuente: PROPIA

Seguido de la identificación de las profundidades en campo se realiza el Procedimiento para obtener la cota lomo de la anomalía detectada como se muestra a continuación:

PUNTO	ELEMENTO	COTA TERRENO (m)	CODIGO	PROFUNDIDAD (METROS)	DIAMETRO APROX	NORTE	ESTE	RESTA COTA TERRENO - PROFUNDIDAD	COTA RESULTANTE
1	TUBERIA	80.555	1.1	0.50	12"	1286699.213	1029175.105	80.555-0.50	80.055
2	TUBERIA	80.797	1.2	0.10	12"	1286706.107	1029176.465	80.797-0.10	80.697

Figura 23. CÁLCULO PARA LA OBTENCIÓN DE LA COTA REAL

FASE III: Contrastar la información obtenida con las metodologías de prospección electromagnética y los métodos directos.

Las acciones que se llevan a cabo en esta fase corresponden a la comparación y el análisis de algunos datos obtenidos con los resultados de cada metodología (detección con EM y GPR), para obtener el inventario de anomalías que finalmente corresponde a los resultados de esta investigación y así poder plasmar esta

información en los planos, realizar el análisis de cada resultado y determinar la efectividad de los métodos usados contrastando los resultados obtenidos con los apiques de verificación.

APIQUES DE VERIFICACIÓN

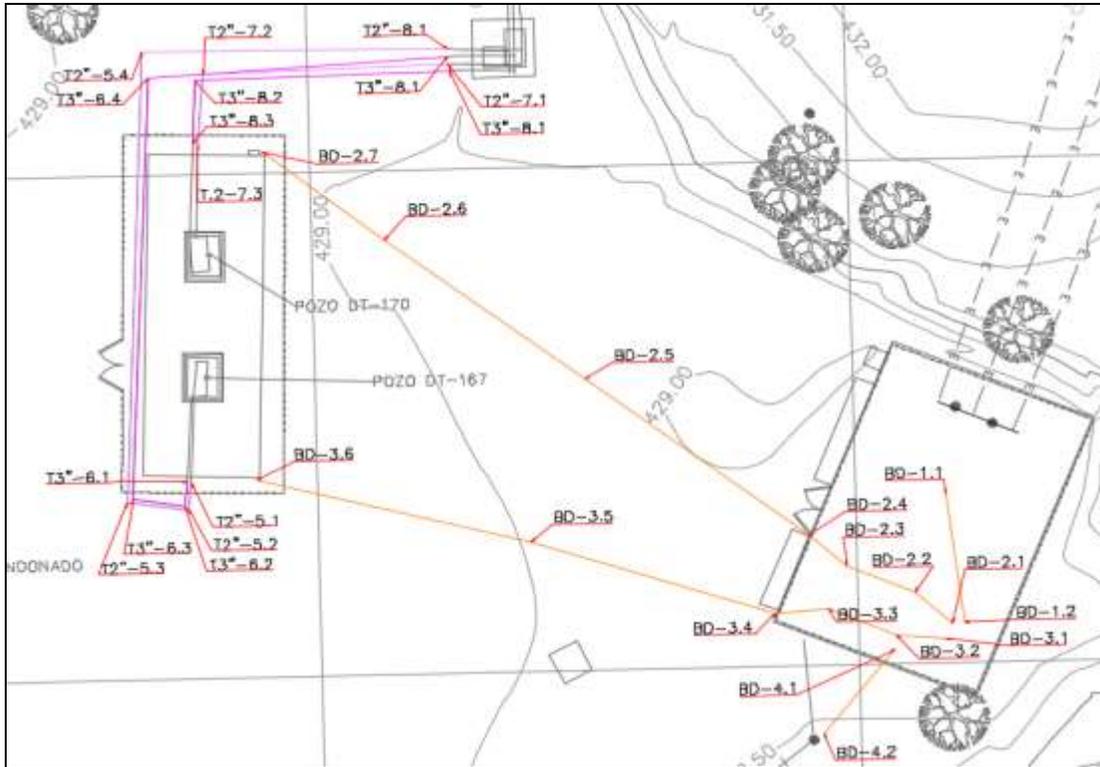
Los apiques de verificación corresponden al método directo que nos permite contrastar la información obtenida con los métodos de detección GPR y EM.



Figura 24. APIQUES DE VERIFICACIÓN.

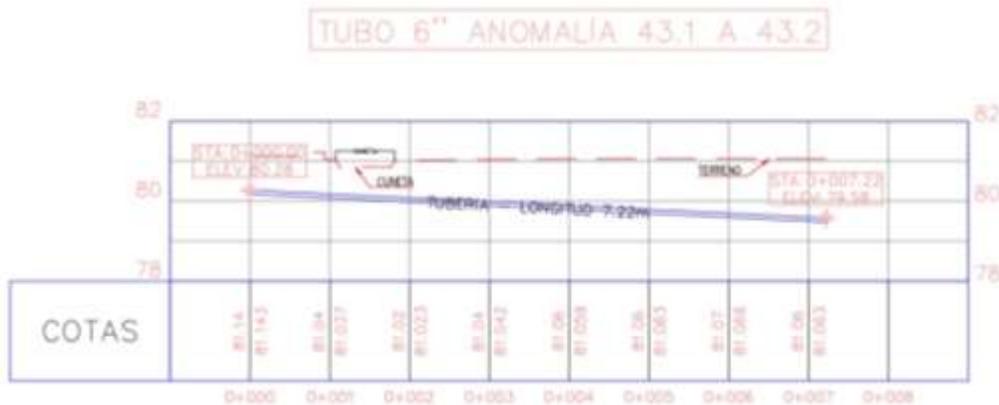
Fuente: PROPIA

PLANO DETECCIÓN DE SISTEMAS ENTERRADOS



Fuente: PROPIA

PERFILES LONGITUDINALES DE SISTEMAS ENTERRADOS



Fuente: PROPIA

5. RESULTADOS

Con el método de detección de sistemas enterrados con GPR, se obtiene información como la profundidad y ubicación de los elementos encontrados en campo. Se verifica con equipo EM la ubicación de las anomalías y se señalizan los puntos de control con pintura o banderines. Para el área específica de este proyecto logran los siguientes resultados:

Tabla 2. INVENTARIO DE ANOMALÍAS

INVENTARIO DE ANOMALÍAS CAÑO JERINGA							
ELEMENTO	PUNTO	PROFUNDIDAD (METROS)	ANCHO (METROS)	DIAMETRO APROX	NORTE (metros)	ESTE (metros)	COTA (metros)
TUBERÍA	1.0	1.50	N/A	12"	1286692.517	1029173.271	79.012
	1.0A	1.50	N/A	12"	1286679.575	1029171.257	78.962
	1.1	0.50	N/A	12"	1286699.213	1029175.105	80.055
	1.2	0.10	N/A	12"	1286706.107	1029176.465	80.697
TUBERÍA	2.0	2.00	N/A	14"	1286692.577	1029175.515	78.609
	2.0A	2.00	N/A	14"	1286682.791	1029175.635	78.721
	2.1	1.80	N/A	14"	1286698.156	1029176.964	78.970
	2.2	1.30	N/A	14"	1286710.024	1029182.390	80.203
	2.3	1.20	N/A	14"	1286722.291	1029188.797	81.715
	2.4	1.30	N/A	14"	1286732.961	1029195.226	82.934
	2.5	1.40	N/A	14"	1286745.241	1029201.405	84.794
	2.6	1.30	N/A	14"	1286756.803	1029207.392	87.699
	2.7	1.10	N/A	14"	1286766.817	1029212.835	91.328
	2.8	0.60	N/A	14"	1286776.908	1029217.966	95.121
	2.10	0.50	N/A	14"	1286786.110	1029222.929	97.075
	2.11	0.90	N/A	14"	1286796.454	1029227.930	97.467
	2.12	0.90	N/A	14"	1286808.168	1029233.768	98.051
	2.13	1.20	N/A	14"	1286820.064	1029239.652	98.244
	2.14	1.00	N/A	14"	1286831.458	1029244.222	97.418
	2.15	1.10	N/A	14"	1286843.009	1029248.183	95.240
	2.16	1.30	N/A	14"	1286854.580	1029252.375	92.536
2.17	1.80	N/A	14"	1286866.675	1029255.957	89.366	

INVENTARIO DE ANOMALÍAS CAÑO JERINGA							
ELEMENTO	PUNTO	PROFUNDIDAD (METROS)	ANCHO (METROS)	DIAMETRO APROX	NORTE (metros)	ESTE (metros)	COTA (metros)
	2.18	2.00	N/A	14"	1286879.749	1029260.841	87.647
	2.19	2.00	N/A	14"	1286889.580	1029264.741	87.616
	2.20	1.50	N/A	14"	1286901.562	1029269.747	88.806
	2.21	0.80	N/A	14"	1286913.090	1029274.724	90.374
	2.22	0.90	N/A	14"	1286926.119	1029280.497	90.122
	2.23	1.00	N/A	14"	1286938.914	1029285.859	88.942
	2.24	0.90	N/A	14"	1286951.270	1029290.371	88.338
	2.25	0.70	N/A	14"	1286960.907	1029293.945	87.816
	2.26	0.60	N/A	14"	1286970.253	1029297.536	87.011
	2.27	0.60	N/A	14"	1286978.946	1029303.445	85.448
	2.28	0.50	N/A	14"	1286986.674	1029310.499	83.971
	2.29	0.50	N/A	14"	1286995.985	1029319.707	81.248
TUBERÍA	3.0	1.00	N/A	8"	1286688.311	1029175.830	79.617
	3.0A	0.30	N/A	8"	1286678.059	1029169.800	80.207
	3.1	2.10	N/A	8"	1286697.088	1029180.943	78.657
	3.2	1.30	N/A	8"	1286706.574	1029186.371	80.222
	3.3	0.80	N/A	8"	1286718.150	1029192.980	82.275
	3.4	0.10	N/A	8"	1286728.292	1029198.391	84.015
TUBERÍA	4.1	0.10	N/A	12"	1287035.951	1029352.235	74.536
	4.2	0.50	N/A	12"	1287043.640	1029360.978	73.486
	4.3	0.70	N/A	12"	1287053.868	1029374.380	73.001
	4.4	0.90	N/A	12"	1287064.491	1029387.771	72.657
	4.5	0.50	N/A	12"	1287071.294	1029398.030	72.692
	4.6	1.80	N/A	12"	1287079.544	1029408.427	71.037
	4.6	1.30	N/A	12"	1287084.771	1029415.184	71.622
	4.8	0.70	N/A	12"	1287094.535	1029427.429	71.957
	4.9	0.80	N/A	12"	1287101.303	1029434.928	71.933
	4.10	0.90	N/A	12"	1287113.529	1029448.815	71.997
	4.11	1.30	N/A	12"	1287121.871	1029458.640	71.540
	4.12	1.40	N/A	8"	1287134.049	1029472.950	70.990
	4.13	1.40	N/A	8"	1287140.696	1029481.228	70.833
	4.14	1.50	N/A	8"	1287178.397	1029521.439	70.881
TUBERÍA	5.1	1.50	N/A	14"	1287013.448	1029338.325	75.391

INVENTARIO DE ANOMALÍAS CAÑO JERINGA							
ELEMENTO	PUNTO	PROFUNDIDAD (METROS)	ANCHO (METROS)	DIAMETRO APROX	NORTE (metros)	ESTE (metros)	COTA (metros)
	5.2	1.30	N/A	14"	1287023.628	1029347.641	74.306
	5.3	1.30	N/A	14"	1287033.578	1029357.840	73.324
	5.4	1.00	N/A	14"	1287043.895	1029369.032	73.311
	5.5	0.70	N/A	14"	1287052.899	1029379.931	74.566
	5.6	1.00	N/A	14"	1287061.397	1029389.105	72.764
	5.7	1.10	N/A	14"	1287069.833	1029399.563	72.169
	5.8	2.60	N/A	14"	1287077.297	1029409.890	70.046
	5.9	1.80	N/A	14"	1287083.251	1029416.880	70.985
	5.10	1.60	N/A	14"	1287092.097	1029427.742	71.055
	5.11	1.20	N/A	14"	1287099.652	1029436.332	71.549
	5.12	1.10	N/A	14"	1287110.459	1029448.953	71.610
	5.13	1.10	N/A	14"	1287118.273	1029458.460	71.757
	5.14	2.00	N/A	14"	1287132.209	1029473.826	70.729
	5.15	1.90	N/A	14"	1287138.382	1029481.862	70.525
	5.16	2.00	N/A	14"	1287159.365	1029506.341	70.074
	5.17	2.20	N/A	14"	1287175.963	1029523.609	70.106
	6.4	0.00	N/A	8"	1287066.435	1029402.486	73.945
	6.5	1.00	N/A	8"	1287074.115	1029412.602	71.873
	6.6	0.80	N/A	8"	1287078.517	1029418.805	72.252
	6.7	0.40	N/A	8"	1287089.602	1029431.463	72.444
	6.8	0.30	N/A	8"	1287096.083	1029439.058	73.062
	6.9	0.50	N/A	8"	1287106.396	1029452.284	72.672
	6.10	1.50	N/A	8"	1287114.426	1029462.582	71.524
	6.11	1.30	N/A	8"	1287125.364	1029477.076	72.549
	6.12	1.40	N/A	8"	1287131.882	1029486.151	71.995
	6.14	1.20	N/A	8"	1287151.737	1029512.476	71.311
	6.15	1.30	N/A	8"	1287161.311	1029523.714	71.217
TUBERÍA	7.1	0.60	N/A	14"	1287222.330	1029593.223	72.081
	7.2	0.70	N/A	14"	1287233.514	1029603.524	71.984
	7.3	0.70	N/A	14"	1287244.299	1029613.270	71.986
	7.4	0.80	N/A	14"	1287255.218	1029621.559	71.889
	7.5	0.90	N/A	14"	1287267.339	1029631.417	71.760
	7.6	1.00	N/A	14"	1287278.917	1029644.030	72.126

INVENTARIO DE ANOMALÍAS CAÑO JERINGA							
ELEMENTO	PUNTO	PROFUNDIDAD (METROS)	ANCHO (METROS)	DIAMETRO APROX	NORTE (metros)	ESTE (metros)	COTA (metros)
	7.7	0.90	N/A	14"	1287291.301	1029664.801	71.805
	7.8	0.40	N/A	14"	1287310.209	1029685.037	72.235
	7.9	0.60	N/A	14"	1287319.824	1029694.148	71.743
	7.10	0.60	N/A	14"	1287340.897	1029713.492	71.856
	7.11	0.60	N/A	14"	1287353.096	1029724.125	71.977
	7.12	0.80	N/A	14"	1287368.050	1029736.666	71.889
	7.13	0.90	N/A	14"	1287377.540	1029744.479	71.842
	7.14	0.80	N/A	14"	1287389.218	1029752.890	71.783
	7.15	0.70	N/A	14"	1287400.202	1029760.772	71.879
	7.16	0.70	N/A	14"	1287411.230	1029768.382	71.868
	7.17	0.70	N/A	14"	1287422.970	1029776.307	71.930
	7.18	0.60	N/A	14"	1287435.496	1029784.709	72.106
	7.19	0.50	N/A	14"	1287447.289	1029793.006	71.996
	7.20	0.60	N/A	14"	1287459.064	1029800.929	71.737
	7.21	0.90	N/A	14"	1287474.960	1029811.375	71.852
	7.22	1.00	N/A	14"	1287489.755	1029820.719	71.953
	7.23	1.10	N/A	14"	1287503.265	1029828.351	71.753
	7.24	1.10	N/A	14"	1287513.931	1029835.175	71.995
	7.25	1.50	N/A	14"	1287524.927	1029842.045	71.345
TUBERÍA	8.1	2.00	N/A	14"	1287472.117	1029801.435	70.275
	8.2	1.30	N/A	14"	1287478.217	1029806.151	71.406
	8.3	1.00	N/A	14"	1287492.231	1029816.578	71.828
	8.4	1.00	N/A	14"	1287504.789	1029826.016	71.850
	8.5	0.80	N/A	14"	1287515.212	1029832.953	72.138
	8.6	1.30	N/A	14"	1287525.836	1029839.412	71.552
TUBERÍA	9.1	0.70	N/A	14"	1287479.259	1029800.167	71.654
	9.2	2.20	N/A	14"	1287494.603	1029810.740	70.680
	9.3	1.20	N/A	14"	1287508.096	1029819.806	71.690
	9.4	1.40	N/A	14"	1287519.759	1029827.407	71.517
	9.5	1.60	N/A	14"	1287526.697	1029831.544	71.298
TUBERÍA	10.1	1.90	N/A	14"	1287570.077	1029873.782	70.243
	10.2	1.30	N/A	14"	1287581.961	1029880.675	71.456
	10.3	2.40	N/A	14"	1287590.669	1029888.454	70.432

INVENTARIO DE ANOMALÍAS CAÑO JERINGA								
ELEMENTO	PUNTO	PROFUNDIDAD (METROS)	ANCHO (METROS)	DIAMETRO APROX	NORTE (metros)	ESTE (metros)	COTA (metros)	
	10.4	1.90	N/A	14"	1287604.520	1029896.910	71.139	
	10.5	1.70	N/A	14"	1287616.727	1029903.487	71.593	
	10.6	1.80	N/A	14"	1287628.023	1029909.171	71.543	
	10.7	1.80	N/A	14"	1287644.506	1029917.376	71.761	
	10.8	2.00	N/A	14"	1287655.697	1029922.173	71.561	
	10.9	2.00	N/A	14"	1287669.440	1029929.991	71.616	
	10.10	2.50	N/A	14"	1287686.227	1029938.442	70.340	
	10.11	1.90	N/A	14"	1287690.176	1029940.694	71.112	
	10.12	1.50	N/A	14"	1287709.410	1029951.233	71.303	
	10.13	2.50	N/A	14"	1287721.468	1029956.933	70.295	
	10.14	1.50	N/A	14"	1287734.344	1029963.992	71.190	
	10.15	2.00	N/A	14"	1287744.765	1029969.942	70.902	
	10.16	1.50	N/A	14"	1287759.997	1029978.572	71.170	
	10.17	1.20	N/A	14"	1287774.610	1029985.264	71.499	
	10.18	1.30	N/A	14"	1287801.788	1029999.946	71.376	
	TUBERÍA	11.1	2.10	N/A	8"	1287572.621	1029868.702	70.202
		11.2	2.00	N/A	8"	1287585.490	1029876.111	70.788
		11.3	1.40	N/A	8"	1287596.680	1029883.247	71.382
11.4		1.40	N/A	8"	1287608.048	1029890.244	71.459	
11.5		1.30	N/A	8"	1287620.477	1029897.550	71.512	
11.6		1.40	N/A	8"	1287629.647	1029902.785	71.478	
11.7		1.50	N/A	8"	1287647.355	1029913.587	71.934	
11.8		1.60	N/A	8"	1287658.412	1029920.902	72.065	
11.9		1.60	N/A	8"	1287671.930	1029929.799	71.874	
11.10		2.10	N/A	8"	1287685.541	1029939.239	70.947	
11.11		2.20	N/A	8"	1287696.489	1029946.900	70.711	
11.12		2.50	N/A	8"	1287707.988	1029953.504	70.558	
11.13		0.90	N/A	8"	1287721.098	1029959.748	71.946	
11.14		0.80	N/A	8"	1287732.810	1029965.093	71.726	
11.15		1.20	N/A	8"	1287744.497	1029971.719	71.636	
11.16		1.20	N/A	8"	1287757.569	1029981.729	71.601	
11.17		1.10	N/A	8"	1287770.404	1029991.381	71.680	
11.18		1.20	N/A	8"	1287783.449	1030001.097	71.536	

INVENTARIO DE ANOMALÍAS CAÑO JERINGA							
ELEMENTO	PUNTO	PROFUNDIDAD (METROS)	ANCHO (METROS)	DIAMETRO APROX	NORTE (metros)	ESTE (metros)	COTA (metros)
	11.19	1.20	N/A	8"	1287794.356	1030009.046	71.337
TUBERÍA	12.1	1.50	N/A	14"	1287327.934	1029674.620	70.672
	12.2	2.00	N/A	14"	1287339.509	1029685.836	70.635
	12.3	1.90	N/A	14"	1287351.145	1029696.911	70.689
	12.4	2.10	N/A	14"	1287363.244	1029708.301	70.621
	12.5	2.00	N/A	14"	1287374.603	1029719.593	70.614
	12.6	1.90	N/A	14"	1287384.100	1029728.348	70.567
	12.7	2.10	N/A	14"	1287396.342	1029738.794	70.397
	12.8	1.60	N/A	14"	1287408.165	1029750.160	70.838
	12.9	1.90	N/A	14"	1287423.638	1029761.274	70.646
	12.10	1.40	N/A	14"	1287435.034	1029771.807	71.202
	12.11	2.00	N/A	14"	1287446.748	1029781.647	70.274
	12.12	2.00	N/A	14"	1287456.794	1029789.532	70.395
TUBERÍA	13.1	1.00	N/A	12"	1287314.845	1029655.458	71.129
	13.2	1.10	N/A	12"	1287326.031	1029666.647	71.479
	13.3	1.10	N/A	12"	1287339.325	1029679.745	71.874
	13.4	0.90	N/A	12"	1287352.234	1029693.375	71.837
	13.5	0.90	N/A	12"	1287365.365	1029706.437	71.713
	13.6	0.80	N/A	12"	1287376.611	1029717.844	71.803
	13.7	0.70	N/A	12"	1287386.090	1029726.389	71.748
	13.8	0.60	N/A	12"	1287398.276	1029737.037	71.961
	13.9	0.80	N/A	12"	1287411.088	1029746.970	71.980
	13.10	0.80	N/A	12"	1287426.418	1029759.312	71.673
	13.11	1.10	N/A	12"	1287437.204	1029767.843	71.592
	13.12	1.10	N/A	12"	1287449.564	1029777.545	71.686
	13.13	1.00	N/A	12"	1287460.641	1029786.417	71.784
	13.14	0.70	N/A	12"	1287468.062	1029791.628	71.644
TUBERÍA	14.1	0.10	N/A	12"	1287609.960	1029885.940	72.641
	14.2	0.70	N/A	12"	1287622.888	1029894.000	72.003
	14.3	1.30	N/A	12"	1287631.546	1029899.777	71.621
	14.4	2.00	N/A	12"	1287649.466	1029910.655	71.596
	14.6	1.40	N/A	12"	1287673.703	1029924.935	71.512
	14.7	1.30	N/A	12"	1287687.299	1029934.447	71.479

INVENTARIO DE ANOMALÍAS CAÑO JERINGA							
ELEMENTO	PUNTO	PROFUNDIDAD (METROS)	ANCHO (METROS)	DIAMETRO APROX	NORTE (metros)	ESTE (metros)	COTA (metros)
	14.8	0.50	N/A	12"	1287721.471	1029954.597	71.961
	14.9	0.80	N/A	12"	1287735.419	1029962.362	71.803
	14.10	1.20	N/A	12"	1287744.889	1029968.664	71.653
	14.11	1.00	N/A	12"	1287760.660	1029977.473	71.691
	14.12	2.00	N/A	12"	1287774.904	1029984.376	70.657
	14.13	2.00	N/A	12"	1287789.725	1029991.910	70.525
TUBERÍA	15.1	2.30	N/A	14"	1286685.658	1029178.600	76.903
	15.2	2.10	N/A	14"	1286695.715	1029179.363	77.082
	15.3	1.90	N/A	14"	1286703.286	1029180.744	77.948
	15.4	1.80	N/A	14"	1286706.024	1029182.042	78.376
	15.5	1.70	N/A	14"	1286713.587	1029186.010	80.306
	15.6	1.75	N/A	14"	1286724.637	1029192.611	81.594
	15.7	1.80	N/A	14"	1286737.851	1029200.140	83.265
	15.8	1.80	N/A	14"	1286749.307	1029206.689	85.672
	15.9	1.30	N/A	14"	1286761.063	1029213.245	89.708
	15.10	1.50	N/A	14"	1286770.203	1029217.833	92.748
	15.11	1.40	N/A	14"	1286780.524	1029223.015	95.679
	15.12	1.40	N/A	14"	1286791.928	1029228.320	96.942
	15.13	1.60	N/A	14"	1286807.630	1029235.794	97.360
	15.14	1.70	N/A	14"	1286819.526	1029242.126	97.786
	15.15	1.70	N/A	14"	1286830.443	1029247.323	96.740
	15.16	1.50	N/A	14"	1286842.668	1029251.584	94.506
	15.17	1.60	N/A	14"	1286853.704	1029254.895	92.054
	15.18	1.60	N/A	14"	1286866.267	1029257.729	89.321
	15.19	1.60	N/A	14"	1286881.025	1029263.290	87.606
	15.20	1.40	N/A	14"	1286889.088	1029266.811	87.926
	15.21	1.70	N/A	14"	1286900.807	1029271.410	88.515
15.22	1.70	N/A	14"	1286912.515	1029276.226	89.536	
15.23	1.70	N/A	14"	1286925.755	1029282.002	89.366	
15.24	1.40	N/A	14"	1286938.893	1029287.813	88.421	
15.25	1.40	N/A	14"	1286951.034	1029292.658	87.658	
15.26	1.50	N/A	14"	1286960.267	1029296.821	86.845	
15.27	1.60	N/A	14"	1286968.832	1029300.742	85.733	

INVENTARIO DE ANOMALÍAS CAÑO JERINGA							
ELEMENTO	PUNTO	PROFUNDIDAD (METROS)	ANCHO (METROS)	DIAMETRO APROX	NORTE (metros)	ESTE (metros)	COTA (metros)
	15.28	1.70	N/A	14"	1286977.649	1029305.941	84.032
	15.29	1.90	N/A	14"	1286985.630	1029312.458	82.302
	15.30	1.60	N/A	14"	1286994.967	1029321.406	79.853
	15.31	1.70	N/A	14"	1287004.136	1029331.277	77.182
	15.32	1.50	N/A	14"	1287012.660	1029339.706	75.319
	15.33	1.30	N/A	14"	1287022.898	1029349.641	74.171
	15.34	1.30	N/A	14"	1287030.405	1029357.248	73.629
	15.35	1.60	N/A	14"	1287038.962	1029366.366	73.039
	15.36	1.50	N/A	14"	1287049.417	1029377.947	72.856
	15.37	1.80	N/A	14"	1287059.234	1029389.038	72.136
	15.38	1.70	N/A	14"	1287068.230	1029399.909	71.940
	15.39	1.40	N/A	14"	1287078.256	1029413.144	71.302
	15.40	1.30	N/A	14"	1287091.034	1029428.655	71.387
	15.41	1.40	N/A	14"	1287098.505	1029437.184	71.521
	15.42	1.30	N/A	14"	1287108.190	1029449.225	71.770
	15.43	0.90	N/A	14"	1287116.327	1029459.624	72.125
	15.44	1.00	N/A	14"	1287128.130	1029475.318	72.164
	15.45	0.80	N/A	14"	1287134.449	1029483.945	72.003
	15.46	0.80	N/A	14"	1287145.967	1029499.547	71.423
	15.47	0.70	N/A	14"	1287155.530	1029512.132	71.725
	15.48	0.50	N/A	14"	1287166.022	1029525.905	71.963
	15.49	0.60	N/A	14"	1287174.662	1029536.910	71.936
	15.50	0.60	N/A	14"	1287181.297	1029545.862	71.835
TUBERÍA	16.1	1.20	N/A	8"	1287302.627	1029635.276	71.187
	16.2	1.30	N/A	8"	1287312.163	1029645.666	71.088
	16.3	1.00	N/A	8"	1287323.104	1029657.707	71.503
	16.4	1.10	N/A	8"	1287333.528	1029668.824	71.542
	16.5	1.30	N/A	8"	1287343.919	1029679.553	71.454
	16.7	1.00	N/A	8"	1287366.125	1029702.622	71.665
	16.8	1.10	N/A	8"	1287378.458	1029715.256	71.558
	16.9	0.90	N/A	8"	1287389.641	1029727.218	71.420
	16.10	0.80	N/A	8"	1287401.774	1029738.309	71.800
	16.11	0.80	N/A	8"	1287413.188	1029749.595	71.772

INVENTARIO DE ANOMALÍAS CAÑO JERINGA							
ELEMENTO	PUNTO	PROFUNDIDAD (METROS)	ANCHO (METROS)	DIAMETRO APROX	NORTE (metros)	ESTE (metros)	COTA (metros)
	16.12	0.80	N/A	8"	1287424.320	1029760.602	71.744
	16.14	0.60	N/A	8"	1287452.247	1029785.167	71.983
	16.17	1.00	N/A	8"	1287485.658	1029810.346	71.854
	16.18	1.00	N/A	8"	1287509.718	1029828.324	71.866
	16.19	1.20	N/A	8"	1287519.650	1029834.890	71.853
	16.20	1.10	N/A	8"	1287526.296	1029838.914	71.587
TUBERÍA	17.1	2.00	N/A	14"	1287569.640	1029874.768	70.526
	17.2	1.90	N/A	14"	1287581.181	1029881.805	70.874
	17.3	1.90	N/A	14"	1287590.348	1029889.157	70.926
	17.4	2.50	N/A	14"	1287603.381	1029898.657	70.464
	17.5	2.60	N/A	14"	1287616.132	1029904.122	70.606
	17.6	2.00	N/A	14"	1287627.641	1029910.253	71.278
	17.7	2.20	N/A	14"	1287646.793	1029919.770	71.530
	17.8	2.30	N/A	14"	1287654.995	1029924.036	71.323
	17.9	2.30	N/A	14"	1287668.875	1029931.096	71.290
	17.10	2.50	N/A	14"	1287684.970	1029940.179	70.575
	17.11	2.20	N/A	14"	1287708.932	1029952.090	70.727
	17.12	1.20	N/A	14"	1287721.353	1029958.349	71.520
	17.13	2.00	N/A	14"	1287733.760	1029964.418	70.786
	17.14	1.80	N/A	14"	1287744.383	1029970.652	71.073
17.15	1.80	N/A	14"	1287757.575	1029982.373	70.932	
17.16	2.00	N/A	14"	1287774.904	1029984.376	70.657	
17.17	2.00	N/A	14"	1287789.725	1029991.910	70.525	
17.18	1.50	N/A	14"	1287800.743	1030001.343	71.106	

Sobre cada elemento encontrado dependiendo de la longitud de este, se realizan varios puntos de control para dar alineamiento al trayecto que sigue la tubería.

Para este estudio se realizan las actividades de prospección con una profundidad de escaneo promedio de 6 metros. En cada punto una vez ubicada la tubería se

configura la profundidad en donde se identifica con mejor resolución la tubería y se graba la imagen del tubo (Radargrama).

En el inventario de elementos encontrados se entiende como anomalía aquellos elementos que presenta características que no son identificables con un objeto específico como cajas, tuberías, bancos de ductos o líneas eléctricas; pero que tiene una continuidad y que debe ser tenido en cuenta al tratarse de un elemento no identificado que puede interferir con los diseños.

Tabla 3. INFORMACION OBTENIDA METODOS DE PROSPECCION

INFORMACIÓN OBTENIDA POR LOS PROCEDIMIENTOS DE PROSPECCIÓN ELECTROMAGNETICA					
ELEMENTO	PUNTO	PROFUNDIDAD (METROS)	DIAMETRO APROX	COTA TERRENO (metros)	COTA REAL (metros)
TUBERÍA	3.2	1.30	8"	81.522	80.222
TUBERÍA	11.7	1.50	8"	73.434	71.934
TUBERÍA	16.3	1.00	8"	72.503	71.503

Tabla 4. INFORMACION OBTENIDA APIQUES DE VERIFICACION

INFORMACIÓN OBTENIDA POR EL METODO DIRECTO (APIQUES DE VERIFICACIÓN)					
ELEMENTO	PUNTO	PROFUNDIDAD (METROS)	DIAMETRO APROX	COTA TERRENO (metros)	COTA REAL (metros)
TUBERÍA	3.2	1.20	8"	81.522	80.322
TUBERÍA	11.7	1.45	8"	73.434	71.984
TUBERÍA	16.3	0.90	8"	72.503	71.603

Tabla 5. DIFERENCIA ENTRE METODOLOGIAS

DIFERENCIA ENTRE METODOLOGIAS		
COTA PROSPECCION (metros)	COTA POR APIQUES (metros)	DIFERENCIA (m)
80.222	80.322	0.10
71.934	71.984	0.05
71.503	71.603	0.10

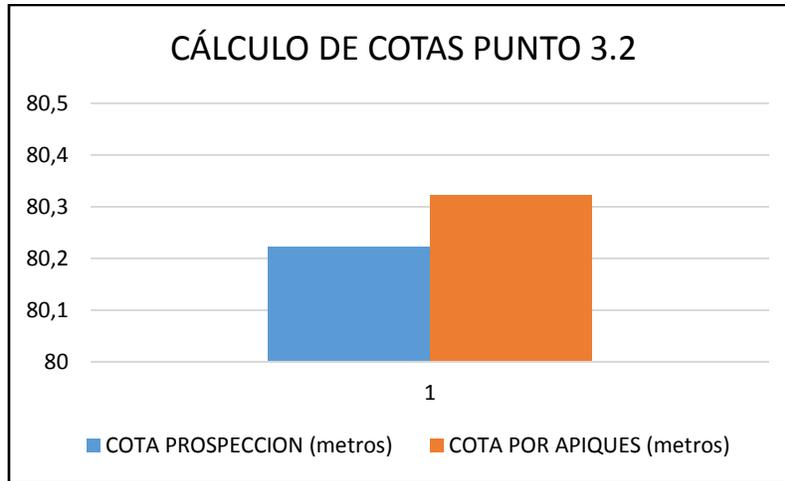


Figura 25. GRAFICO CALCULO DE COTAS PUNTO 3.2.

Fuente: PROPIA

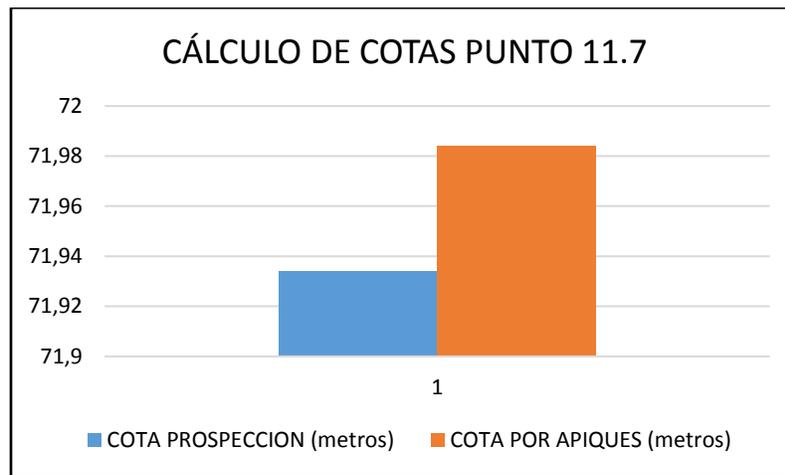


Figura 26. GRAFICO CALCULO DE COTAS PUNTO 11.7.

Fuente: PROPIA

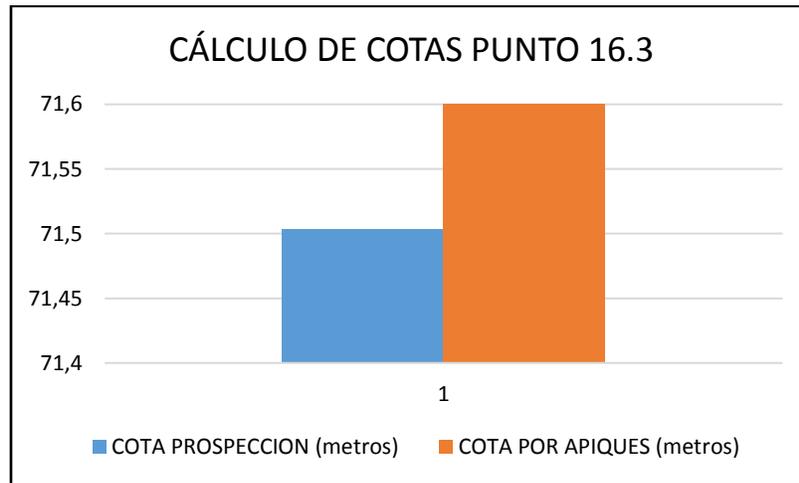


Figura 27. GRAFICO CALCULO DE COTAS PUNTO 16.3.
 Fuente: PROPIA

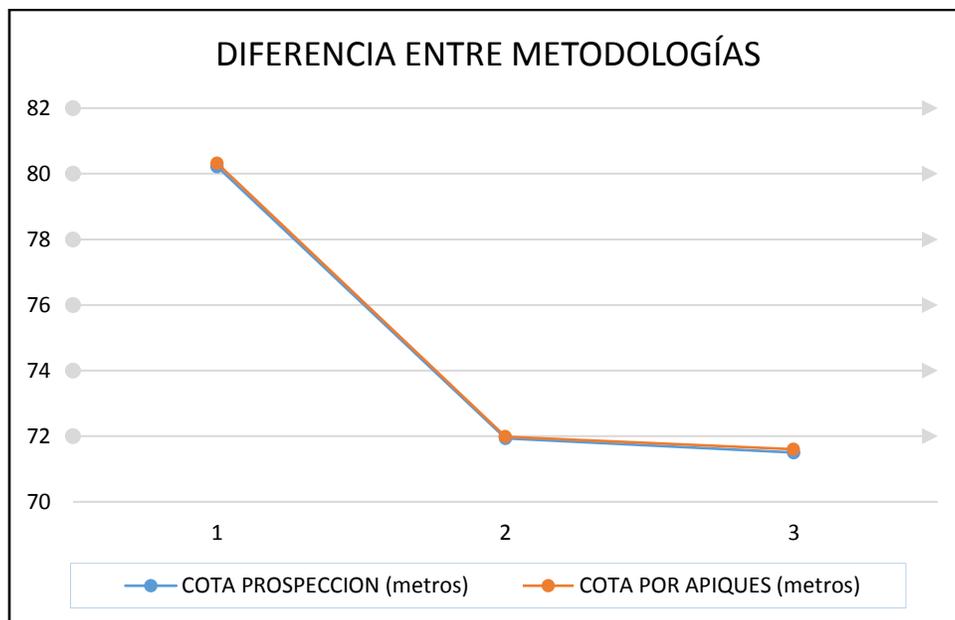


Figura 28. GRAFICO LINEAL DIFERENCIA ENTRE METODOLOGIAS.
 Fuente: PROPIA

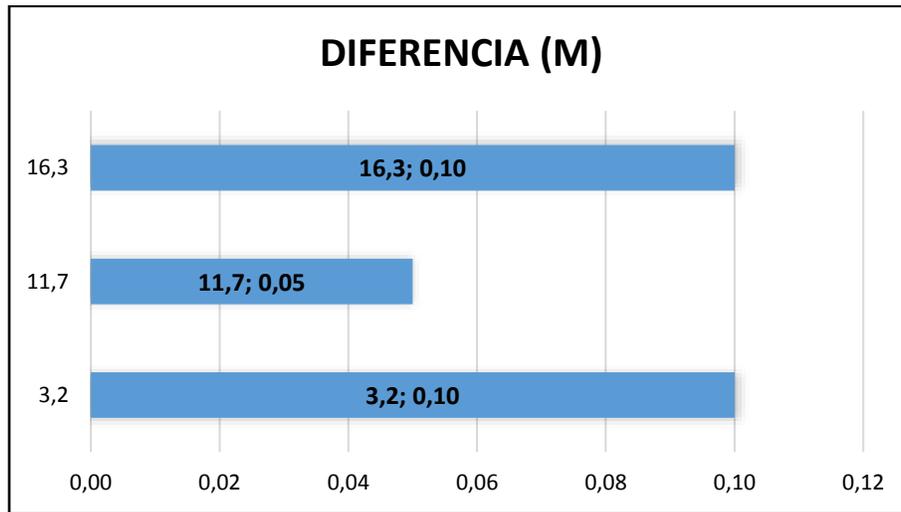


Figura 29. GRAFICO DE BARRAS DIFERENCIA ENTRE METODOLOGIAS

Fuente: PROPIA

DIFERENCIA PROMEDIO	
$\frac{(D1+D2+D3)}{3}$	0.083

Figura 30. GRAFICO CALCULO DE DIFERENCIAS PROMEDIO.

Fuente: PROPIA

Para este caso de estudio podemos ver que tenemos una diferencia promedio de 8.3 cms según las 3 muestras comparadas entre los métodos de prospección electromagnética y los apiques de verificación, cabe recalcar que el número de apiques de verificación depende principalmente de acuerdo al tipo de proyecto, presupuesto que se tenga destinado para el mismo y la ubicación o zona del país en que se desee realizar la detección ya que existen algunas limitantes que se describen en esta investigación y de ello depende la cantidad de apiques de verificación que se realicen en cada estudio, para este caso se realizaron 3 apiques de verificación, obteniendo un rendimiento de casi 1 apique por cada hectárea levantada.

6. CONCLUSIONES

- Se evaluó la detección de redes subterráneas existentes, con el uso de metodologías electromagnéticas con georradar EM y GPR, obteniendo información que permitió la comprobación de su efectividad mediante la identificación de señales transmitidas y plasmadas en los banderines y carteras de campo.
- Se describió el procesamiento logrando definir parámetros como la localización en proyección horizontal, determinar la profundidad de los elementos detectados, por medio de las metodologías expuestas que puedan representar un avance en la identificación de redes subterráneas que por su antigüedad no se encuentren dentro de un inventario, mediante radargramas que nos permitieron evidenciar la presencia de anomalías.
- Se comprobó la eficiencia de los dos métodos ejecutados para la detección de los sistemas enterrados, contrastando la información obtenida con los métodos directos como apiques de verificación, lo que nos permitió dar algunas recomendaciones y limitantes basados en la investigación realizada.

7. RECOMENDACIONES

Para los trabajos de detección de sistemas enterrados en general existen algunas limitantes que se nombran a continuación y que deben ser tenidas en cuenta para los proyectos:

- No es posible identificar con los equipos el tipo de fluido que transporta la línea, excepto cuando es eléctrica.
- No es posible identificar el sentido del fluido del elemento que transporta la tubería.
- No se visualiza el estado de la tubería, su integridad, ni el espesor de la misma.
- No es posible trabajar sobre zonas anegadas o inundadas, excepto cuando se realizan batimetrías para determinar características de lecho de ríos o lagos.
- En el caso de tubos o elementos que se encuentran debajo de otros, o cuando se encuentran varios elementos muy cerca entre sí, se visualizan en el georradar como uno solo, por lo tanto, se hace necesario realizar comprobaciones con el detector EM.
- Las tuberías de alcantarillado de gres y asbesto concreto que se encuentran a profundidades mayores a 4 m tienden a mimetizarse con el medio (suelo) y son de difícil identificación.
- La profundidad obtenida con el Georradar corresponde al TOP de la tubería.

- La profundidad obtenida con detector Electromagnético corresponde al TOP tomada en el eje del tubo o elemento detectado.
- Condiciones como nivel freático alto, humedad, filtraciones de agua, cercanía a ríos, lagos, salinidad en los terrenos costeros, presencia de líneas eléctricas, torres y ondas de radio circundantes causan disminución de la correcta adquisición de datos debido a que dispersan las ondas electromagnéticas recibidas por los equipos de detección.
- Es importante aclarar que para estos proyectos no se detectan cimentaciones, ya que algunas áreas están recubiertas por placa entre piso, lo que dificulta la identificación de estas cimentaciones por la cantidad de señales que se generan al detectar concreto entre más concreto.

Debido a la existencia de estas limitantes dentro de los estudios de detección, se hace necesario realizar el estudio con equipos y metodologías diferentes y complementarias; y en los sitios en los que no se logra obtener una información exacta, se sugiere realizar comprobación con métodos directos tales como apiques de verificación o especificar en planos todas las zonas complejas con sus respectivas observaciones.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ayala Cabrera, D., Herrera, M., Izquierdo, J., & Perez Garcia, R. (2012). Catastro de tuberías en sistemas de abastecimiento de agua mediante georada, establecimiento adaptativo de rutas de mapeo. *convencion cientifica de ingenieria y arquitectura*.
- Boluda, C. J., Macias, M., & Gonzales, J. (2019). La complejidad química de las gasolinias de automoción. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 2, 51-79. Obtenido de <https://revistas.intec.edu.do/index.php/cite/article/view/1569/2170>
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Poítica para el mejoramiento de la calidad del aire*. Bogota. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3943.pdf>
- Dominguez Salazar, R. G., & Vozmediano Naranjo, W. R. (2019). Diseño e implementacion de un prototipo Georadar (GPR), para analisis de subsuelo en busqueda de personas vivas con SDR URSP RIO. Guayaquil, Ecuador.
- Finklea, MD, J., H. Coppée, G., & Hunt, V. (1998). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Chantal Dufresne, BA.
- Garcia, X. (2020). *Estudio mediante georradar en el subsuelo para la localizacion de servicios enterrados en el hospital de la Vall d'hebron (Barcelona)*. Barcelona.
- GPR3D. (2015). *GPR3D.com*. Obtenido de <https://gpr3d.com/localizador-electromagnetico/#:~:text=Los%20localizadores%20de%20cables%2C%20radiolo calizadores,tipo%20de%20material%20de%20subsuelo>.
- Martin Gutierrez, J., & Dorta Marin, N. (2006). Control del suelo en cimentaciones y estructuras arquitectonicas por tecnicas geofisicas (Sistema Georadar GPR). Modelos graficos. *EGE Revista De Expresión Gráfica En La Edificación*, (4), 76-82.
- Negron Nima, D. M. (2018). Estudio y mejora en el diseño de un sistema de deteccion de fugas y SCADA en oleoductos de refineria Talara. *Repositorio Institucional PIRHUA*.