

**MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE CRUCES
SUBFLUVIALES PARA TUBERÍAS DE
OLEODUCTOS Y GASODUCTOS.**

**CLAUDIA MARCELA MENDOZA CABEZA
LUDYN MARCELA RIAÑO SANCHEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE CRUCES
SUBFLUVIALES PARA TUBERÍAS DE
OLEODUCTOS Y GASODUCTOS.**

**CLAUDIA MARCELA MENDOZA CABEZA
LUDYN MARCELA RIAÑO SANCHEZ**

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director:
ING. WILFREDO DEL TORO RODRIGUEZ
ING. CIVIL M. Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

A Dios que me ha dado la vida, por permitirme terminar la carrera y estar a mi lado en todo momento.

A mis padres Ana Cristina y Daniel Gonzalo por ser los pilares más importantes de mi vida que día a día me demuestran su amor, cariño y apoyo para seguir adelante. Por su energía y confianza que me brindaron durante toda mi carrera.

A mi hermana Sandra Carolina, por compartir una infancia feliz, por todos los bellos momentos que hemos pasado juntas y las experiencias que nunca olvidaré.

A la Universidad Industrial de Santander por ser mi alma mater, por brindarme la oportunidad de vivir mis sueños.

A todos los profesores que me brindaron sus conocimientos durante mi estancia en la universidad, mil gracias.

A tí Manuel Rincón por hacer parte de mi vida, por todos aquellos momentos de felicidad, pero sobre todo por tu incondicional amor y apoyo constante durante la realización de este logro

A mis amigas y amigos por ser como son, por enseñarme el valor de la amistad, la confianza y el cariño.

CLAUDIA MARCELA MENDOZA CABEZA

DEDICATORIA

A Dios por darme las fuerzas necesarias para persistir en la consecución de esta nueva etapa de mi vida y alcanzar este logro profesional.

A mis amados padres María Stella y Luis Enrique por sus ejemplos y enseñanzas por estar conmigo en todo momento por hacerme quien soy por tenerme en donde me tienen, por ser mi motivación para superarme día a día y poder reponer en parte algo de todo lo que ellos me han dado.

A mis hermanos Silvia Juliana y Franklin Enrique por todos los consejos que me han brindado por ser parte importante de mi formación al ser mis hermanos mayores, a mis sobrinos María José, German Enrique, Luis Alejandro y Juan Luis, por ser mi fortaleza y querer ser un ejemplo para ellos. Y a toda mi familia porque cada miembro de ella me ha aportado algo en mi formación.

A mi adorada Universidad industrial de Santander, por acogerme todos estos años por llenarme de enseñanzas no solo académicas. A todos los profesores que pasaron por mi vida académica desde la primaria hasta el último semestre de universidad ya que de ellos aprendí un poco para llegar hasta este momento.

Y por último y no menos importante a mis Amigos y Amigas por todos los buenos momentos compartidos, por todos aquellos favores recibidos

LUDYNN MARCELA RIAÑO SANCHEZ

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos:

A Dios porque nos ha regalado el don de la vida, nos ha conservado con salud, inteligencia y fortaleza, permitiéndonos ser cada vez mejor.

A nuestros queridos padres, porque creyeron en nosotras y se sacrificaron dándolo todo para que hoy concluyamos una etapa importante de nuestras vidas.

A Wilfredo del Toro Rodríguez, Ingeniero Civil, M.Sc, profesor Planta Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander y director de nuestro proyecto de grado por su grandiosa colaboración, por su buena disposición, por brindarnos su conocimiento, apoyo, tiempo e interés en la realización de nuestro proyecto.

A la empresa PERFORACIONES E INGENIERIA Ltda. por permitirnos ampliar las investigaciones realizadas en el tema, y a MONTINPETROL S.A. por facilitarnos el ingreso a su frente de obra y poder ver el proceso constructivo de un cruce subfluvial.

A Fabián LLera Caballero, Ingeniero de Sistemas, por su disposición al brindarnos sus conocimientos al momento de requerir información que con dificultad podíamos acceder a ella.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN.....	16
2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	17
2.1 TÍTULO DEL PROYECTO	17
2.2 RESPONSABLES	17
2.3 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	17
2.4 OBJETIVOS	18
2.4.1 Objetivo General.....	18
2.4.2 Objetivos Específicos.....	18
2.5 ALCANCE	18
3 HISTORIA.....	19
4 CRUCES SIN ZANJA	21
5 MÉTODOS DE TECNOLOGÍA SIN ZANJA.....	23
5.1 TOPOS	25
5.1.1 Ventajas.....	26
5.1.2 Proceso Constructivo.....	27
5.1.3 Equipos.....	28
5.2 TUNNEL LINER	28
5.2.1 Ventajas.....	30
5.2.2 Proceso Constructivo.....	30
5.2.3 Equipos.....	32
5.3 SISTEMA RAMMING	32
5.3.1 Ventajas.....	33
5.3.2 Proceso Constructivo.....	33
5.3.3 Equipos.....	35
5.4 SISTEMA AUGER BORING	37
5.4.1 Ventajas.....	38
5.4.2 Proceso Constructivo.....	38
5.4.3 Equipos.....	41
5.5 PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA	42
5.5.1 Ventajas.....	44
5.5.2 Proceso Constructivo.....	45
5.5.3 Equipos.....	48
6 NORMAS DE SEGURIDAD EN OBRA	50
6.1 MEDIDAS ESTÁNDARES DE SEGURIDAD.....	52
6.1.1 Ropa de protección.....	52
6.1.2 Medidas de Urgencia en el Lugar del Accidente.....	54
7 IMPACTO AMBIENTAL.....	54
7.1 PROBLEMAS AMBIENTALES CAUSADOS DURANTE LA EJECUCION DE UN PROYECTO	55
7.2 VENTAJAS AMBIENTALES DE LAS PERFORACIONES SIN ZANJA	56

8	VISITA TÉCNICA	58
8.1	MONTINPETROL S.A.	58
8.2	CRUCE SUBFLUVIAL CON EL METODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA CAÑO CARARE Y TRONADOR	59
9	CONCLUSIONES.....	64
	BIBLIOGRAFÍA.....	66

LISTA DE FIGURAS

	pág.
FIGURA 1. PERFIL ESTRATIGRÁFICO	25
FIGURA 2. CAJA DE LANZAMIENTO Y DE RECIBO	28
FIGURA 3. TÚNEL HORIZONTAL	30
FIGURA 4. INSTALACIÓN DE ANILLOS	31
FIGURA 5. ENTIBACIÓN DE EXCAVACIÓN	34
FIGURA 6. INSTALACIÓN DEL EQUIPO RAM	34
FIGURA 7. HINCADO Y SOLDADURA DE LA TUBERÍA	35
FIGURA 8. EQUIPO RAM	35
FIGURA 9. COMPRESOR	36
FIGURA 10. EQUIPO DE SOLDADURA	36
FIGURA 11. MAQUINARIA PESADA	37
FIGURA 12. EXCAVACIÓN INICIAL	39
FIGURA 13. ARMADO DE RIELES E INSTALACIÓN DEL EQUIPO BORING	39
FIGURA 14. CORTE DE SEGMENTOS DE TUBERÍA	40
FIGURA 15. INICIO DE LA PERFORACIÓN	40
FIGURA 16. SOLDADURA DE TUBERÍA POR TERMOFUSIÓN	41
FIGURA 17. RETIRO DEL TORNILLO SIN FIN	41
FIGURA 18. MAQUINA AUGER BORING	42
FIGURA 19. PERFORACIÓN PILOTO	46
FIGURA 20. NAVEGACIÓN POR MEDIO DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	46
FIGURA 21. ENSANCHE DE LA TUBERÍA	47
FIGURA 22. INSTALACIÓN DE TUBERÍA	48
FIGURA 23. EQUIPO DE PERFORACIÓN	48
FIGURA 24. PUNTEROS	49
FIGURA 25. SISTEMA DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	49
FIGURA 26. ESCARIADOR Y BARRIL CENTRAL	49
FIGURA 27. TUBERÍA DE SERVICIO	50
FIGURA 28. VALORES EN DECIBELES DE LOS SONIDOS	53
FIGURA 29. CABINA DE COMANDO DE LA MÁQUINA DE PERFORACIÓN	62
FIGURA 30. MÁQUINA DE LODOS	62
FIGURA 31. MÁQUINA DE PERFORACIÓN	63
FIGURA 32. NIVELACIÓN DEL TERRENO INTERVENIDO	63

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS.....	26
TABLA 2. RESUMEN MÉTODOS DE TECNOLOGÍA SIN ZANJA	57
TABLA 3. PROYECTOS CON PHD	59

RESUMEN

TÍTULO

MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE CRUCES SUBFLUVIALES PARA TUBERÍAS DE OLEODUCTOS Y GASODUCTO

AUTORES

Claudia Marcela Mendoza Cabeza
Ludyn Marcela Riaño Sánchez

PALABRAS CLAVES

Perforación sin zanjas, cruces subfluviales, oleoductos, gasoductos, seguridad en obra, impacto ambiental.

DESCRIPCIÓN

En este proyecto el cual se titula métodos constructivos de cruces subfluviales para tuberías de oleoductos y gasoducto se pretende dar a conocer la historia de cruces sin zanja, la descripción de los métodos de perforación (Topos, Túnel Linner, Sistema Ramming, Auger Boring y Perforación Horizontal Dirigida), de los cuales tres de ellos son aptos para cruces subfluviales siendo la perforación Horizontal Dirigida el método de mayor auge en Colombia por la versatilidad de sus alcances y su facilidad de ejecución; los procesos constructivos, los requerimientos bases para la construcción de los mismos (Estudios geotécnicos, Hidráulicos, Hidrológicos, Topográficos), la seguridad que se requiere en obra al momento de la construcción, los equipos necesarios, y las ventajas que brinda cada método. Al momento de tender líneas de transporte de crudo y sus derivados se generan intervenciones sobre la corteza terrestre ocasionando un impacto ambiental; con los métodos de perforaciones horizontales se garantiza impactos mínimos comparados con los métodos tradicionales de perforación a cielo abierto.

Finalmente se realizó una fase exploratoria por parte de las autoras en el Municipio de Puerto Parra (Santander) en donde se recopiló información del proyecto donde se veía intervenida la línea del Propanoducto Galán- Salgar utilizando el método de PHD (Perforación Horizontal Dirigida) en la construcción del cruce bajo el río Carare y el Caño Tronador.

* Trabajo de grado. Modalidad De Investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Wilfredo del Toro Rodríguez .

SUMMARY

TITLE:

CONSTRUCTIVE METHODS OF SUBFLUVIAL CROSSINGS FOR OIL PIPELINES AND GAS PIPELINES*

AUTHORS

Claudia Marcela Mendoza Cabeza
Ludyn Marcela Riaño Sánchez**

KEYWORDS

Trenchless drilling, subfluvial crossings, oil pipelines, gas pipelines, safety in construction, environmental impact

DESCRIPTION

In this project which is entitled constructive methods of subfluvial crossings for oil pipelines and gas pipelines is intended to introduce the story of trenchless crossings, the description of the drilling methods (moles, Linner Tunnel, Ramming System, Auger Boring and Guided Horizontal Drilling), of which three of them are suitable for subfluvial crossings, being the Guided Horizontal Drilling the favorite method in Colombia because of the versatility of its scopes and its execution ease; constructive processes, basic requirements for the construction of themselves (Geotechnical, hydraulic, hydrologic and topographic studies), the safety required in execution at the moment of construction, necessary equipment and the advantages offered by each method. At the moment of disposing transport lines of oil and its derivatives, interventions on the crust are generated, causing an environmental impact; with the horizontal drilling methods, minimal impacts on the environment are guaranteed, compared with the classic open pit drilling methods.

Finally an exploratory phase was made by the authors in the municipality of Puerto Parra (Santander), where data of the project was gathered where the line of Galan-Salgar's propane pipeline was intervened using the GHD (Guided Horizontal Drilling) Method in the construction of the crossing below Carare river and Tronador spout.

* Degree work. Research mode.

** Faculty of Physical-Mechanic Engineering's. School of Civil Engineering. Director: Engineer Wilfredo del Toro Rodríguez

1 INTRODUCCIÓN

En la geografía colombiana es preciso encontrar un sinnúmero de recursos naturales que directamente se ven involucrados en el desarrollo de un proyecto civil; por tal razón es necesario conocer sobre las nuevas tecnologías en obras civiles que mezclan los diferentes métodos que se aplican en el proceso constructivo de cualquier obra.

El petróleo y sus derivados se han convertido en parte importante en el desarrollo de un país, debido a esto sus líneas de transporte se han venido sofisticando cada día más. Se deben garantizar líneas de menor longitud entre los lugares de bombeo y las refinerías para la disminución de costos y tiempo, por tal razón este proyecto contiene la información necesaria acerca de cruces a desnivel utilizando métodos de perforaciones horizontales como sistema ramming, Perforación Horizontal Dirigida, Auger Boring, Topos y Tunnel Liner, los cuales son importantes para generar una conexión directa que ayude al transporte de cualquier materia prima generando una disminución de costos y un mínimo impacto ambiental.

El tema central del proyecto de grado se enfoca en los cruces subfluviales para tuberías de oleoductos y gasoductos, el cual se ha desarrollado en tres etapas: la etapa 1 que contiene toda la parte de investigación concerniente al tema, donde se hace una descripción detallada de cada método utilizado para la realización de cruces; en la etapa 2 se describe el proceso constructivo de cada sistema y en la etapa 3 se plasman detalles y experiencias vividas por las autoras en la visita de obra a la realización de un cruce subfluvial en Colombia.

Con el desarrollo del presente proyecto se pretende recopilar la información necesaria que sirva como punto de partida y base en la aplicación y desarrollo de

los métodos constructivos de cruces subfluviales tales como: Sistema Ramming, Horizontal Dirigida y Auger Boring, que se requieran en un proyecto.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 TÍTULO DEL PROYECTO

MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE CRUCES SUBFLUVIALES PARA TUBERÍAS DE OLEODUCTOS Y GASODUCTO

2.2 RESPONSABLES

CLAUDIA MARCELA MENDOZA CABEZA.

LUDYN MARCELA RIAÑO SÁNCHEZ.

2.3 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En nuestro país es muy común encontrar ríos o quebradas en cualquier parte de su topografía, problema que se ha venido estudiando por diferentes empresas encargadas del manejo de redes de distribución por tuberías de crudo y sus derivados. La parte constructiva de los pasos a través de los ríos y quebradas producen un aumento considerable en sus costos si llegase a sufrir interrupciones en su línea principal omitiendo los desvíos que se generen por agentes diferentes al mencionado anteriormente.

Una solución práctica pero que requiere diversidad de estudios es la realización de cruces de estas redes por el lecho del río, pero debido a los riesgos inminentes que sufriría el ambiente y a la corrosión y erosión de las tuberías se hacen necesarios que dichos cruces se realicen subterráneamente.

Es por esta razón que proponemos en este proyecto una investigación exhaustiva de los métodos constructivos para estos cruces subfluviales garantizando que el riesgo ambiental y las pérdidas económicas de las empresas sean mínimas.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo General

Analizar e investigar los diferentes métodos constructivos y los materiales a utilizar en la realización de cruces subfluviales de tuberías para oleoductos y gasoductos.

2.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Analizar los métodos constructivos de los cruces subfluviales garantizando un impacto ambiental nulo.
- ✓ Hacer un análisis exhaustivo de los procesos constructivos relacionados con los materiales constitutivos del perfil del subsuelo.
- ✓ Establecer unas pautas a seguir para cruces mayores y cruces menores.

2.5 ALCANCE

El primer paso a realizar es la consecución de información por diferentes métodos con recursos bibliográficos, recopilando información de proyectos que se hayan fabricado con anterioridad; posibles visitas a los diferentes lugares donde se estén realizando dichos cruces para observar el comportamiento obtenido por los mismos. Por último la elaboración del documento donde se

plasmaran los resultados de la investigación realizada y se consignaran las memorias de las visitas realizadas.

3 HISTORIA

Aunque el término es relativamente nuevo, el desarrollo de la tecnología sin zanjas se puede decir que comenzó al final de los años setenta en Japón, como resultado de una decisión del gobierno de incrementar la proporción de población urbana provista con los servicios básicos.

En 1963 el ministerio japonés de construcción resolvió, a través de una serie de programas de 5 años, aumentar la proporción de la población con servicios en un 46% para 1990. Osaka es referida constantemente como el lugar de nacimiento del micro-túnel. En las estrechas calles densamente congestionadas de poblaciones cercanas, restricciones severas fueron impuestas a la excavación de la superficie. Las zanjas a menudo tienen que ser cubiertas gran parte del día y abiertas sólo por las noches para trabajar. Los constructores no tenían derecho de abrir las calles y los métodos tradicionales de zanqueo se convirtieron no solo prohibitivos, sino imposibles.

Bajo estas circunstancias, y con un mercado garantizado para los servicios básicos a través de caños, se dieron varios incentivos para desarrollar nuevos métodos de construcción. Con la ayuda del gobierno japonés, usuarios, manufacturas, contratistas y universidades todos juntos crearon una nueva mini-industria basada en el "Pipe Jacking".

Los proyectos fueron diseñados específicamente con una visión de palanquear tubos desde pozos maestros en posiciones que luego funcionan como boca de

alcantarilla. Todas las operaciones fueron controladas a remoto sin personas trabajando en la trayectoria. Estas fueron las características de lo que hoy se conoce como el micro-túnel.

En 1980 el ministerio de desarrollo y tecnología de Alemania occidental patrocinó un proyecto de micro-túnel en Hamburgo que fue propuesto por un equipo japonés-alemán. En 1985 sólo habían 15 micro-túneladoras en Europa, todas en la llanura de Alemania del norte donde el estrato uniforme de arcilla favorece la técnica y el mercado de servicios por caño estaba triunfante en la pos-guerra en Berlín y Hamburgo. El progreso ha sido dramático pero existe una larga ruta que recorrer. En Europa occidental unos 11,000 kilómetros de cañería fueron instalados anualmente, con no más de 700 kilómetros (6%) por métodos sin zanja.

El crecimiento de las industrias del petróleo, el gas y sus necesidades de largas líneas de tubería cruzando territorios ambientalmente sensibles, estimularon el uso de la perforación direccional. La necesidad fue, inicialmente, por topes dirigidos para realizar pequeños agujeros piloto bajo obstrucciones mayores como ríos, carreteras y vías de tren, que luego se pueden ensanchar al multi-escariar, con un rimador. La capacidad de conducción se logra por plataformas en la superficie con el mínimo impacto al ambiente y la reducción en el tiempo acostumbrado. Luego, se desarrollaron plataformas más pequeñas para la instalación de servicios de distribución. En 1994 habían más de 700 plataformas operando en Norte América y como 300 en Europa.

Generaciones futuras identificarán a la tecnología sin zanjas como uno de los más significativos desarrollos en la industria de la construcción. Las tuberías eran canalizadas y la larga era de la construcción con zanjas había comenzado, los canales se hicieron más profundos y más sofisticados cuanto más largos los servicios requeridos a ser instalados bajo tierra, principalmente bajo caminos. Por ende la zanja ha cambiado de ser un beneficio en la colocación de servicios en

caminos sin pavimentar, a ser vista como la principal causa de la destrucción de la superficie en caminos con tráfico¹.

4 CRUCES SIN ZANJA

Un cruce sin zanja es una forma de realizar conductos de tal manera que se excaven lo terrenos lo menos posible y de tal forma que los únicos orificios que queden en esta perforación sean los de entrada y los de salida de la excavación y así poder ocasionar el menor daño ambiental, e impedir el perjuicio a zonas de alto tráfico vehicular evitando de esta forma grandes embotellamientos para las personas que transitan por estos lugares; además se cruzan accidentes geográficos en los cuales se puede tener un aprovechamiento de espacios y no interrumpir los flujos de corriente de los ríos o quebradas que se den en dichos accidentes. Sin en el punto donde se requiera la realización de dicho cruce no existe ninguna estructura en la cual se pueda adherir la tubería para que pueda atravesar este accidente sin ningún inconveniente se hace necesaria la realización de un cruce sin zanja².

Para la realización de estos cruces es necesario efectuar estudios de suelos para conocer las condiciones en las que se encuentra el terreno que va a ser utilizado para el montaje del cruce sin zanja; también es necesario tener conocimiento de otros factores como lo son: el diámetro de la tubería a utilizar y la longitud del cruce, para definir el tipo de método constructivo entre los que existen en el momento y en nuestro país, aplicando tecnologías de punta para invadir lo menos

¹ Tecnología sin zanjas, Reseña histórica. Consultado el 10 de diciembre de 2012. Disponible en: <http://www.tunelsubfluvial.gov.ar/Subpaginas/Historia.htm>

² Cruce sin zanja, obra de construcción sin zanja. Consultado 12 de diciembre de 2012. disponible en: <http://chenying8.es.b2b168.com/shop/supply/31764386.html>.

posible los terrenos intervenidos y de esta forma poder garantizar una revegetalización del entorno a la obra real³.

Teniendo presente el componente teórico mencionado anteriormente es de vital importancia conocer algunos proyectos que se realizan mediante cruces subfluviales como es el caso del transporte del petróleo y sus derivados. Esta fuente de energía está constituida por hidrocarburos que son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrogeno junto con cantidades variables de derivados saturados homólogos del metano. Él petróleo constituye la materia prima en numerosos procesos de la industria química, además de proporcionar una entrada y estabilidad económica a la industria petrolera⁴.

Para el transporte de crudo es necesario realizar instalaciones y tuberías que sirvan como canal de esta fuente de energía, sus derivados, y biobutanol como es el caso de los oleoductos y gasoductos.

Un oleoducto es un cruce utilizado para llevar grandes cantidades de petróleo en tierra o en agua a distancias cortas y largas de una manera en donde se demande poco tiempo, se requiera de una mayor capacidad y costos mínimos para la construcción.

Un gasoducto es una conducción de tuberías de gran longitud, que sirve para transportar gas combustible a gran escala en donde se requiere de tecnología avanzada para su proceso constructivo⁵.

³ Estudios geotécnicos, criterios de diseño de zanjas y pozos. Consultado 12 de Diciembre de 2012.
Disponible en:

http://www.osalan.euskadi.net/contenidos/libro/seguridad_201210/es_doc/adjuntos/Seguridad%20en%20zanjas.pdf

⁴ Petróleo, materia prima para la industria química. Consultado 17 de Diciembre de 2012. disponible en:
<http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro-4.PDF>.

⁵ CEGARRA PLANE, Manuel. Oleoductos y Gasoductos. Las tuberías. Bellisco ediciones, 1999. P.124-130.

Para el proceso constructivo de un proyecto en donde se requiera cruzar un río se utilizan principalmente los siguientes sistemas: ramming, perforación horizontal dirigida y Auger Boring⁶. Con estos métodos lo que se busca es que tanto la flora como la fauna del río y de la ribera se vean afectadas lo menos posible. Estas técnicas también se utilizan para cruzar otras infraestructuras importantes como carreteras, autopistas o líneas de ferrocarriles.

5 MÉTODOS DE TECNOLOGÍA SIN ZANJA

En la ejecución de un cruce sin zanja es necesario realizar una perforación horizontal utilizando tecnología de punta que hoy avanza a grandes pasos con sus pro y sus contra haciendo más factible y ágil el otorgar salubridad, comunicación, y mejor manejo de riquezas brindadas por la naturaleza, tareas que tiempo atrás se veían difíciles de llevar a cabo.

Las perforaciones horizontales se realizan para intervenir los terrenos de tal manera que no se obstruyan los puertos de comunicación ya sean terrestres o hidráulicos de las poblaciones circundantes, además de ocasionar el menor daño posible en el ecosistema y nos brinde resultados de forma veraz y eficiente. Las aplicaciones principales dadas a este tipo de perforaciones se observan en proyectos como: gasoductos, poliductos, acueductos, alcantarillados, energía, comunicaciones, entre otros. Existen diversos sistemas para la construcción de estas perforaciones tales como: topos, tunnel liner, sistema ramming, Auger Boring, y perforación horizontal dirigida⁷.

⁶Sistemas de cruces sin zanja, Perforaciones horizontales. Consultado 17 de Diciembre de 2012. Disponible en: <http://perforacioneseingenieria.com>

⁷Tecnología sin zanja, Perforaciones Horizontales. Consultado 7 de Enero de 2013. Disponible en: <http://perforacioneseingenieria.com/>

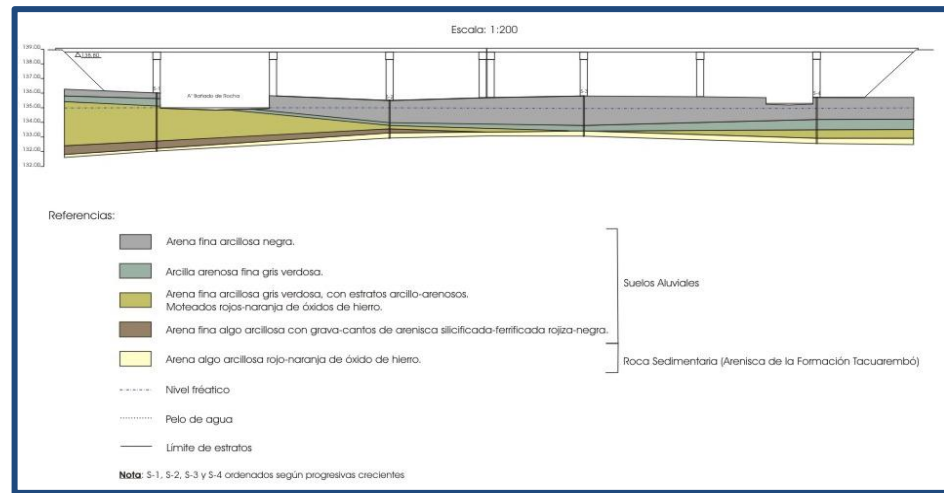
➤ **Requerimientos Bases Para la Construcción de una Perforación Sin Zanja.**

- Levantamiento topográfico para conocer las diferentes curvas de nivel existentes en el terreno y de esta forma determinar los volúmenes de excavación para llegar a la cota de perforación establecida para cada proyecto.
- Localizar las áreas de préstamo o canteras más próximas disponibles para el acopio de materiales.
- Estudios del Terreno: al iniciar un proyecto es necesario conocer las características geológicas y geotécnicas del terreno por donde se va a dirigir la tubería. Con la ayuda del mapa topográfico previamente elaborado y los planos geológicos existentes facilitados por Ingeominas se realizan posibles trazados que posteriormente serán estudiados a profundidad para elegir el más conveniente.

Se deben especificar las principales características de la obra, haciendo referencia a las poblaciones que atraviesa el trazado, riesgos sísmicos para detallar la probabilidad de que se produzca un evento sísmico que afecte la ejecución del proyecto.

Los estudios geotécnicos a practicar son: ensayo de SPT (Ensayo de Penetración Estándar) para obtener un perfil estratigráfico del suelo y perfil de resistencia, ensayo CPT (Ensayo de Penetración de Cono) para conocer la información sobre ángulo de fricción efectivo, coeficiente de consolidación, capacidad de carga y comportamiento esfuerzo deformación.

Figura 1. Perfil Estratigráfico



Fuente: Elaboración Propia

Unos factores a tener en cuenta en cruces subfluviales son los estudios hidrológicos, los cuales aportan información sobre caudales ocurridos a partir de precipitaciones y su probabilidad de ocurrencia, y los estudios hidráulicos para determinar el potencial de socavación de los cauces, con el objeto de estudiar la profundidad mínima de soterramiento de la canalización y las medidas correctoras y de protección a tener en cuenta en los márgenes, fondo de los cauces y conexión con orillas⁸.

5.1 TOPOS

El sistema topos o de compactación es un método realizado para el cruce de líneas subterráneas (gas, fibra, energía) mediante un martillo neumático de forma cilíndrica que avanza compactando y desplazando el suelo en sentido radial en

⁸ Requerimientos para la construcción de una perforación sin zanja, geotecnia. Consultado 8 de Enero de 2013. Disponible en: <http://www.geotecnia2000.com/files/publicaciones/BoletinATISAE28.pdf>

lugar de producir una extracción del mismo, dejando así un agujero en el cual posteriormente se instalara una tubería según lo requiera el proyecto a realizar⁹.

Este método es factible de ejecutar en suelos como: arenas, limos de densidad media, arcillas, o mezclas de los anteriores, de los cuales los ideales son aquellos que presenten una resistencia a la compresión inconfiada variable entre 1,0 y 2,0 Kg/cm².

Tabla 1. Resistencia a la Compresión Inconfiada de Suelos Arcillosos

Consistencia del Suelo	Resistencia a la Compresión Inconfiada	
	Kg/cm ²	(KPa)
Muy blanda	<0,25	(<25)
Blanda	0,25 – 0,50	(25 - 50)
Mediana	0,50 – 1,00	(50 – 100)
Firme	1,00 – 2,00	(100 – 200)
Muy firme	2,00 – 4,00	(200 – 400)
Dura	>4,00	(> 400)

Fuente: compresión inconfiada en muestras de suelos I.N.V.E – 152 – 07

Las tuberías utilizadas en este proceso son de materiales sintéticos (PE, PVC o PE-X), polietileno y también de material metálico (acero), sus alcances máximos se dan entre 2” y 8” de diámetro y longitudes de hasta 50m, lo que hace que este método sea ideal para lugares donde el espacio sea restringido¹⁰.

5.1.1 Ventajas

- Disminución de costos.
- Simplicidad de funcionamiento.

⁹ Sistema Topos, sistema de Perforación Mediante Compactación con Topo no Dirigido. Consultado 8 de Enero de 2013. Disponible en: <http://www.perforaciones.com/grundomat.html>

¹⁰ Alcances máximos diámetros y longitudes, Topos. Consultado 8 de Enero de 2013. Disponible en: <http://perforacioneseingenieria.com/>

- Excavación mínima o en ocasiones inexistente entre los puntos de conexión.
- Impacto ambiental mínimo
- Obstrucción mínima en flujos vehiculares o peatonales¹¹.

5.1.2 Proceso Constructivo

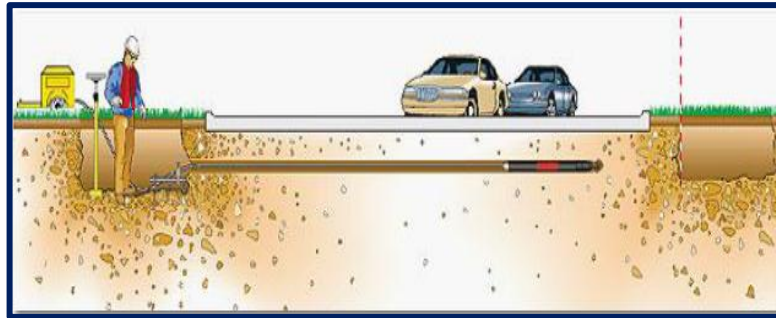
Para iniciar la ejecución del proyecto y siendo escogido el método de compactación, el paso a seguir es hacer dos pequeñas excavaciones siendo la primera de ellas de lanzamiento y la siguiente de recibo a la profundidad que se desea realizar el cruce. La fosa de lanzamiento a su vez cumple como función ser la plataforma de apoyo para el martillo neumático.

Mediante un sistema óptico se hace el ajuste de la maquina en altura y dirección; se coloca el martillo en posición y se abre la válvula del compresor del tal manera que la presión ejercida por el aire golpee el pistón interior y logre una penetración en el terreno superando las fuerzas de fricción ejercidas por el mismo. Es indispensable, como se mencionó anteriormente, que el terreno presente una firmeza adecuada para obtener un rozamiento suficiente y permitir el desplazamiento del martillo hasta llegar a la caja de recibo¹².

¹¹ Ventajas, Perforación Horizontal con Topos Neumáticos. Consultado 8 de Enero de 2013. Disponible en: <http://www.civilcoming.com/servicios.php>

¹² Proceso Constructivo, Sistema de perforación mediante compactación con topo no dirigido. Consultado 9 de Enero de 2013. Disponible en: <http://www.perforaciones.com/grundomat.html>

Figura 2. Caja de lanzamiento y de recibo



Fuente: <http://www.civilcoming.com/servicios.php>

5.1.3 Equipos

- Teodolito
- Martillo neumático
- Compresor

5.2 TUNNEL LINER

Es un sistema que de manera versátil, económica, y segura permite la construcción de túneles o conducciones subterráneas usadas en sistemas de desagües (alcantarillas para aguas negras y aguas lluvias), reemplazando el método de excavación con zanja a cielo abierto, evitando así ser afectado las intervenciones de gran densidad de tráfico como calles, avenidas, carreteras y ferrocarriles. Mediante un ensamble interior progresivo de dovelas de acero unidas mediante pernos se realiza un sellado en los bordes de sobre excavación cada dos o tres secciones¹³.

Este método es adecuado para casi todos los tipos de suelos; en casos donde el terreno este conformado por suelos muy blandos o fluidos que no alcanzan a permanecer estables durante un tiempo prudencial, es necesario el uso de una

¹³Descripción Tunnel Liner, Construcción Tunnel Liner. Consultado 14 de Enero de 2013. Disponible en: <http://perforacioneseingenieria.com/>

tuneladora o escudo que funciona como camisa o formaleta al momento de instalar las láminas para la conformación de los anillos¹⁴.

En este proceso los materiales utilizados para la conformación del Tunnel Liner son placas de acero, las cuales pueden ser negras, galvanizadas por inmersión en caliente (según norma ASTM A-123), o con recubrimientos especiales para aplicaciones en ambientes ácidos con elementos de tipo polimérico: Epóxy, poliéster o polímeros reactivos (revestimientos de tipo barrera) por deposición electrostática ó por pintado en líquido y secado al horno, brindado una mayor resistencia a los agentes corrosivos que se presentan en este tipo de excavaciones.

Las características que debe tener el producto a utilizar en el proyecto son: calidad de Acero A-36, Pernos cuello cuadrado de calidad ASTM A307 de diámetro 5/8"; y pernos de cabeza hexagonal de calidad ASTM A307 y diámetro 5/8", orificios para mortero con un diámetro de 45mm, características de la corrugación con profundidad de onda 45 mm y avance útil 460 mm¹⁵.

Se puede variar la sección transversal del túnel dependiendo de las características particulares y necesidades de la obra, estas pueden ser elipse, lenticular, bóveda, arco, y circulares con diámetros entre 1,2m a 5,00m y la longitud es determinada según lo requiera el proyecto¹⁶.

¹⁴ Descripción Tunnel Liner, Tunnel Liner. Consultado 14 de Enero de 2013. Disponible en: <http://www.corpacero.com/econtent/library/documents/DocNewsNo124DocumentNo150.PDF>

¹⁵ Descripción Tunnel Liner, Tunnel Liner. Consultado 14 de Enero de 2013. Disponibles en: <http://www.tecnovial.cl/fichas/tunnel-liner.pdf>

¹⁶ Descripción Tunnel Liner, Tunnel Liner. Consultado 15 de Enero de 2013. Disponible en: <http://www.armcostaco.com.br/armco/Espanhol/detProduto.php?codproduto=16>

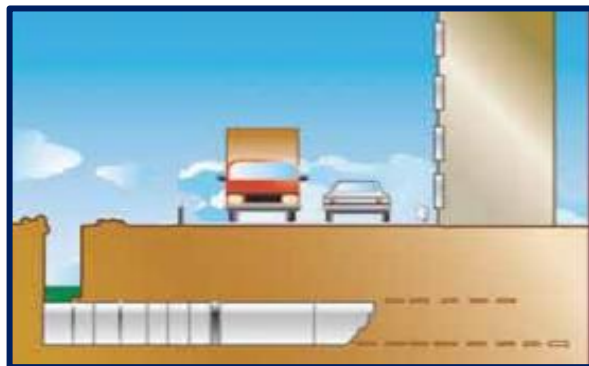
5.2.1 Ventajas

- Requiere un mínimo volumen de excavación y relleno nulo.
- Reducción de costos.
- Evita la destrucción de pavimentos y de redes de servicios públicos.
- Fácil traslado y manejo de láminas.
- Seguridad al momento de la excavación¹⁷.

5.2.2 Proceso Constructivo

Una vez realizado los pasos indispensables en cualquier proyecto (ver capítulo 5) se procede a realizar una perforación vertical con profundidad alrededor de 10m para evitar la interferencia con otros servicios realizados en forma subterránea y a su vez entibar dicha perforación para evitar accidentes posteriores. se fabrica un agujero con las dimensiones requeridas en las láminas de la perforación vertical para dar inicio al túnel horizontal¹⁸.

Figura 3. Túnel Horizontal



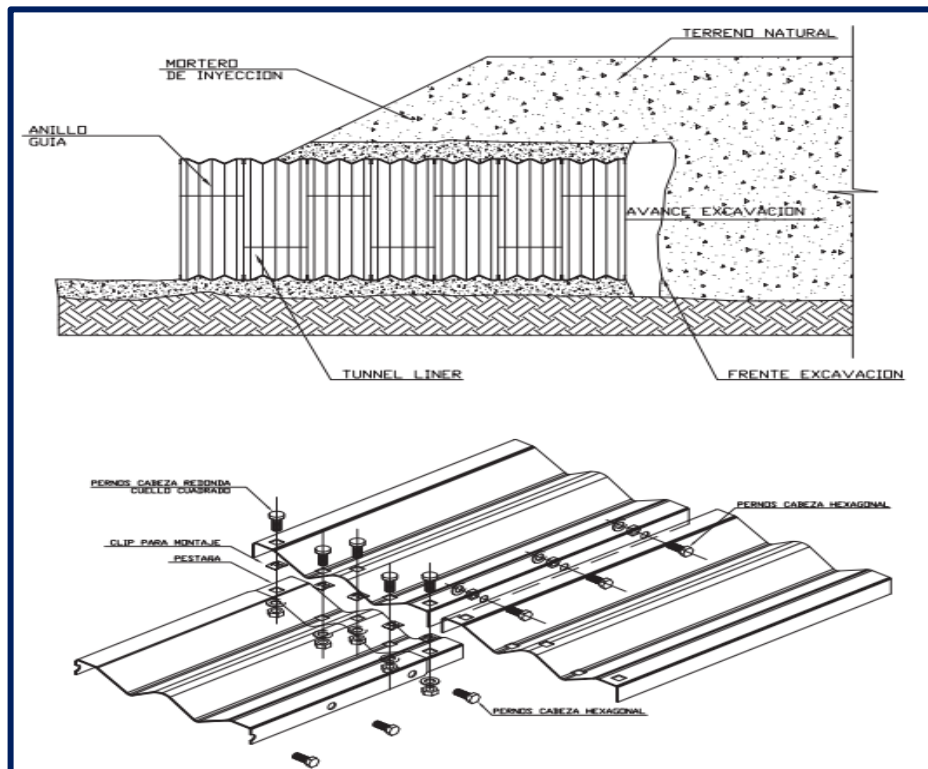
Fuente: <http://www.corpacero.com/econtent/library/documents/DocNewsNo124DocumentNo150.PDF>

¹⁷ Ventajas Tunnel Liner, Tunnel Liner. Consultado 15 de Enero de 2013. Disponible en: <http://www.tecnovial.cl/fichas/tunnel-liner.pdf>

¹⁸ Proceso Constructivo, Construcción Tunnel Liner. Consultado 21 de Enero de 2013. Disponible en: <http://perforacioneseingenieria.com/>

La construcción de los túneles se realiza manualmente por anillos de longitudes no mayores a 50cm para soportar el suelo que queda expuesto a medida que avanza la excavación y se transporta el material sobrante a un lugar designado con anterioridad. Una vez terminada la instalación del primer anillo laminado se apertura la secuencia garantizando que se convierta en una estructura monolítica, dando paso al sellado y revestimiento con grouting para evitar descensos o movimientos del suelo, que pueden provocar deformaciones indeseables. De esta forma se convierte en un proceso repetitivo mientras se alcanza la longitud deseada para la perforación¹⁹.

Figura 4. Instalación de Anillos



Fuente: <http://www.tecnovial.cl/fichas/tunnel-liner.pdf>

¹⁹ Proceso Constructivo, Tunnel Liner. Consultado 21 de Enero de 2013. Disponible en: <http://www.tecnovial.cl/fichas/tunnel-liner.pdf>

5.2.3 Equipos

- Láminas de acero
- Tolva
- Pernos
- Pluma grúa
- Apernadora

Los dos métodos utilizados anteriormente (Topos y Tunnel Liner) se pueden considerar de uso urbano debido a sus alcances. A continuación se exponen los sistemas que pueden tener aplicación en cruces urbanos y también en proyectos de cruces subfluviales, brindando una información más detallada.

5.3 SISTEMA RAMMING

El método ramming o hincado horizontal es una opción rentable que está enfocada a la construcción de alcantarillados, gasoductos, oleoductos, cableado, entre otros, que se pueden llevar a cabo en diversos campos como lo son: carreteras, vías de ferrocarriles, ríos, pistas de aeropuertos, canales y jardines. Se podría considerar una similitud entre el sistema ramming y topos ya que en el proceso constructivo se deben realizar las dos cajas de lanzamiento y de recibo, siendo ramming un método para la ejecución de proyectos a mayor escala.

Este sistema es de buena elección cuando en el proyecto a realizar se cuenta con terreno conformado por suelos blandos y cantos rodados, debido a que el proceso de hincado se realiza por empuje y posterior retiro de suelo sobrante. El material ideal para este tipo de tuberías empleadas en la perforación es el acero por su alta resistencia y propiedades que lo hacen apto para estos tipos de obras²⁰.

²⁰Descripción Sistema Ramming, Pipe Ramming. Consultado 22 de enero de 2013. Disponible en: http://www.tecmeco.com/catalogo_productos.php?PIPERAMMING&CCOD=342

Las dimensiones alcanzadas en el sistema ramming están dadas para diámetros de hasta 4m y longitudes máximas de 80m lo que hace factible que este método se realice en cruces subfluviales para ríos con lechos angostos. Por su robusta construcción el RAM (equipo de hincado) puede desarrollar una energía de empuje de 40000 Nm que se distribuyen óptima y regularmente por todo el tramo de la tubería.

Los rendimientos en obra varían dependiendo de distintos factores como lo son: diámetro de la tubería, longitud de la perforación, calidad en la mano de obra y el más representativo, el tipo de terreno. Se podría calcular una velocidad media de 10m/h en condiciones ideales²¹.

5.3.1 Ventajas

- No se ven perjudicados los pavimentos.
- Rápida ejecución del proyecto.
- No interfiere en el tráfico.
- Trabaja en profundidades bajas.
- Método económico, versátil y seguro.
- Bajo impacto ambiental.
- Método empleado hace más de 30 años²².

5.3.2 Proceso Constructivo

- Se construyen las cajas de lanzamiento y de recibo haciendo una excavación con longitud mínima de 3.5 m. y sin restricción en la

²¹Descripción Sistema Ramming, Ramming. Consultado 22 de enero de 2013. Disponible en:
<http://www.ainpro.com.co/ramming.php#>

²²Ventajas Sistema Ramming, Hincado Horizontal. Consultado 28 de enero de 2013. Disponible en:
http://www.cruces.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=52:hincado&Itemid=64

profundidad determinada por la cota que marque el proyecto. En caso de suelos no cohesivos se hace necesaria la entibación de la excavación.

Figura 5. Entibación de Excavación



Fuente: <http://www.perforacioneseingenieria.com>

- Seguidamente se transporta el equipo RAM a la caja de lanzamiento el cual en su mayor parte es de forma cilíndrica excepto en sus extremos en donde presenta forma cónica para proporcionar un mayor ajuste a la tubería.
- Posteriormente se instala la maquina RAM a un compresor que brinde un consumo de aire alrededor de 8 a 20 m³/min el cual genera propulsión a la máquina, que a su vez transmite la fuerza a la tubería a instalar.

Figura 6. Instalación del Equipo RAM



Fuente: <http://www.perforacioneseingenieria.com>

- Se va hincando la tubería de acero adaptándola al cono de empuje del equipo RAM. Éste proceso se realiza por segmentos de tubo que se van soldando sucesivamente por termofusión hasta lograr la longitud deseada.

Figura 7. Hincado y Soldadura de la Tubería



Fuente: <http://www.perforacioneseingenieria.com>

- luego se extrae el suelo sobrante que queda dentro de la tubería por medio de aire comprimido, manualmente o con agua a presión.
- Finalizado el proceso se hace una adaptación a las líneas existentes, y en caso de que sea posible, rellenar las excavaciones realizadas durante el proyecto o garantizar la estabilidad de las mismas²³.

5.3.3 Equipos

- RAM

Figura 8. Equipo RAM



Fuente: [http://www.cruces.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=52:hincado
&Itemid=64](http://www.cruces.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=52:hincado&Itemid=64)

²³Proceso Constructivos Sistema Ramming, Sistema Ramming. Consultado 28 de Enero de 2013. Disponible en: <http://perforacioneseingenieria.com/>

- Compresor complementario equipo RAM.

Figura 9. Compresor



Fuente:<http://www.solostocks.cl/venta-productos/equipo-industrial/compresores-aire/compresores-mdvn-97427>

- Equipo de soldadura por termo fusión

Figura 10. Equipo de Soldadura



Fuente:<http://santander.evisos.com.co/fotos-del-anuncio/equipos-de-termofusion-para-tuberias-de-pead-id-39445>

- Maquinaria pesada.

Figura 11. Maquinaria Pesada



Fuente: <http://www.cat.com/cda/layout?m=37840&x=9>

5.4 SISTEMA AUGER BORING

Originalmente conocido como “bore and Jack” que consiste en elaborar un agujero horizontal a través de la tierra que proporcione una unión a los pozos de accionamiento y recepción mediante un cabezal rotatorio incorporado en una camisa de acero. Esta técnica es utilizada en espacios como carreteras, vías férreas y ríos teniendo como finalidad la instalación de servicios públicos, y de tuberías para diversos usos de manera subterránea ofreciendo un mayor grado de precisión y la maquinaria que se utiliza es de menor tamaño comparado con otros métodos²⁴.

Es recomendada la utilización del sistema Auger Boring en una amplia gama de terrenos como son: suelos arenosos, arcillosos, limosos, cantos rodados e inclusive roca. A medida que se va perforando se conservan los suelos dentro de

²⁴ Descripción Sistema Auger Boring, Guided Auger Boring. Consultado 4 de Febrero de 2013. Disponible en: <http://www.profiledrilling.co.uk/augerboring.php>

la camisa de acero lo que reduce la probabilidad de asentamiento en los suelos²⁵, seguidamente el tornillo se encarga de evacuar los escombros a través de la tubería conduciéndolos hasta el pozo de accionamiento, en donde posteriormente serán retirados por maquinaria u operarios dependiendo el volumen de los mismos, finalizada la penetración de la primera camisa en el terreno se suelda el segundo segmento de camisa con una tramo de tornillo sin fin adicional; este proceso es repetitivo hasta lograr completar las dimensiones del proyecto²⁶.

Las tuberías empleadas en esta técnica pueden variar sus diámetros entre 4” y 96”, y puede obtener un alcance máximo en longitud de 270m.

5.4.1 Ventajas

- método seco de instalación (no genera lodo).
- no se ve afectado por obstáculos superficiales (edificios, carreteras, fluvial, ferroviario).
- Área de trabajo que se limita a los puntos de entrada y salida.
- Puede utilizarse en instalación de tuberías en estratos de suelos cambiables, utilizando el equipo adecuado.
- Método rápido y económico²⁷.

5.4.2 Proceso Constructivo

- Se inicia el proceso con dos excavaciones en los extremos del proyecto con longitud dependiente de cada sección del tornillo sin fin y del equipo, la profundidad es considerada según lo requiera la perforación. En estos

²⁵ Descripción Sistema Auger Boring, Auger Boring. Consultado 4 de Febrero de 2013. Disponible en: <http://www.istt.com/guidelines/auger-boring>

²⁶ Descripción Sistema Auger Boring, Auger Boring. Consultado 4 de Febrero de 2013. Disponible en: <http://perforacioneseingenieria.com/>

²⁷ Ventajas Auger Boring, Auger Boring. Consultado 5 de Febrero de 2013. Disponible en: <http://www.allenwatson.com/auger-boring.html>

agujeros se debe colocar un solado para dar estabilidad o nivel al equipo Auger Boring y si se considera necesario, realizar la entibación del agujero.

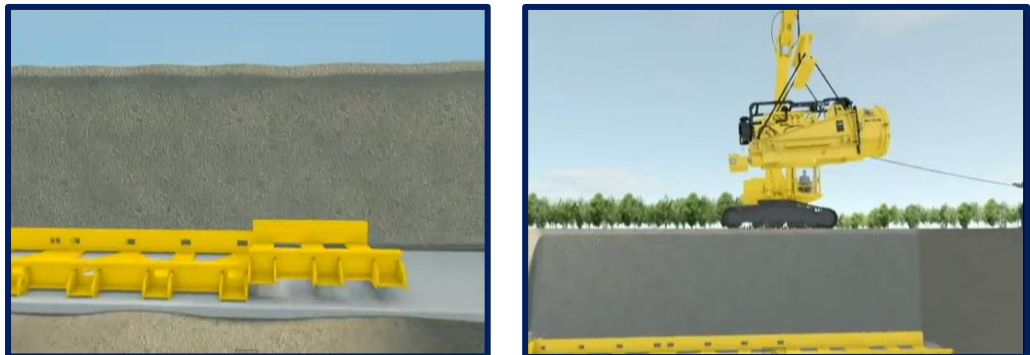
Figura 12. Excavación Inicial



Fuente: <http://www.perforacioneseingenieria.com>

- Posteriormente se arman los rieles por los cuales se deslizará la máquina y se instala el equipo sobre ellos.

Figura 13. Armado de Rieles e Instalación del Equipo Boring



Fuente: <http://www.perforacioneseingenieria.com>

- Seguidamente se hace un corte en la tubería de igual longitud a la sección del tornillo sin fin, introduciendo el tornillo en la tubería para dar paso a la colocación de la cabeza de corte giratorio en el extremo inicial del tornillo.

Figura 14. Corte de Segmentos de Tubería



Fuente: <http://www.perforacioneseingenieria.com>

- se traslada el primer segmento ya armado para hacer una incrustación en la maquina ajustando el tornillo sin fin y la camisa para dar inicio a la perforación. Los residuos de suelo se van desplazando através de la tubería por medio del tornillo hasta el inicio de la perforación para ser conducidos al lugar de depósito.

Figura 15. Inicio de la Perforación



Fuente: <http://www.perforacioneseingenieria.com>

- Una vez hincada la primera sección de tubería armada se repite el mismo proceso ajustando las nuevas secciones de tornillo y soldando la tubería de acero por termofusión.

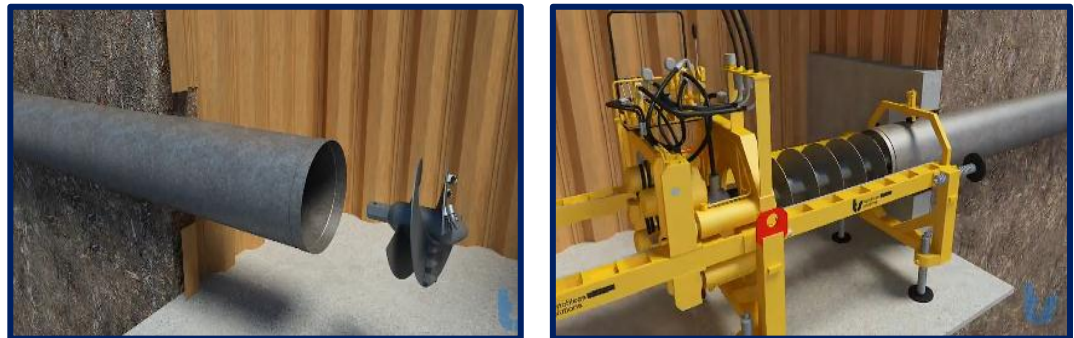
Figura 16. Soldadura de Tubería por Termofusión



Fuente: <http://www.perforacioneseingenieria.com>

- Alcanzada la longitud deseada del cruce, en la caja de recibo se retira la cabeza de corte giratorio y con la maquina desde la caja de lanzamiento se hala el tornillo sin fin para su retiro.

Figura 17. Retiro del Tornillo sin fin



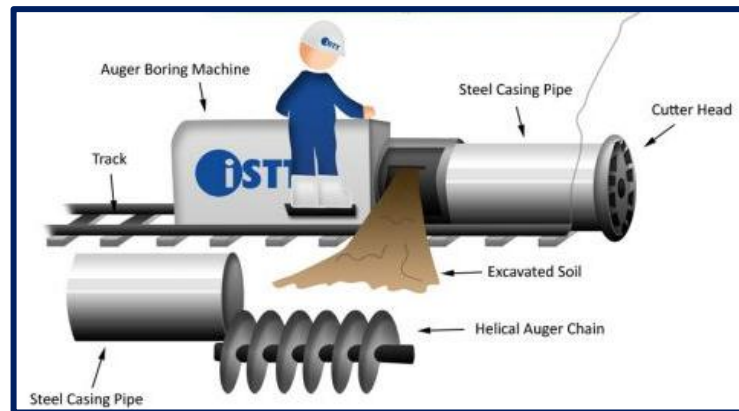
Fuente: <http://www.perforacioneseingenieria.com>

- Se finaliza si es posible con el relleno de las excavaciones realizadas o dándole un uso adecuado a las mismas.

5.4.3 Equipos

- Maquina Auger Boring.

Figura 18. Maquina Auger Boring



Fuente: <http://www.istt.com/guidelines/auger-boring>

- Equipos complementarios utilizados en Sistema Ramming (termofusión, y maquinaria pesada).

5.5 PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA

Es una técnica que se aplica en la mayor parte de proyectos en donde se hace necesario el cumplimiento de normas ambientales y el paso de obstáculos refiriéndose a cruces subfluviales, zonas protegidas, montañas y estructuras de comunicación terrestre (carreteras, vías férreas, etc.) para no afectar su servicio. Este método ha adquirido gran protagonismo en nuestro país debido a que es limpio, rápido, ecológico y versátil, teniendo como finalidad los cruces de líneas de transporte de petróleo, gas natural, petroquímicos, agua, cableado de energía o fibra óptica, así como la instalación bajo nivel freático de drenajes marinos, regeneraciones de playas, descontaminación de suelos, reconstrucción y ampliación de colectores etc.²⁸.

²⁸ Descripción Perforación Horizontal Dirigida, Perforación Horizontal Dirigida. Consultado 18 de Febrero de 2013. Disponible en: <http://perforacioneseingenieria.com/>

Este sistema a diferencia de las demás perforaciones horizontales posee una trayectoria curva que la hace especial y más adecuada cuando se quiere mitigar el impacto ambiental debido a que las excavaciones son mínimas.

En términos generales, el proceso se inicia con una perforación piloto escogida en función del terreno y la longitud del cruce. La perforación horizontal dirigida cuenta con dos sistemas para realizarla: El Sistema Standard es utilizado en la mayoría de las perforaciones, consiste en una lanza de perforación con un puntero en su extremo, equipado con puntas de tungsteno que le dan una resistencia suficiente para perforar y erosionar el terreno, ésta erosión se obtiene haciendo rotar todo el varillaje, y reorientando la lanza en la dirección deseada; y el Sistema Mud Motor que es empleado para obras que requieren de gran potencia. En este sistema, a diferencia del anterior, el par de rotación no es transmitido por el varillaje, sino que es el lodo de perforación el que transmite energía al motor de lodos, de forma que éste tiene suficiente fuerza para girar y con ello romper la roca con el puntero de perforación. En este caso la trayectoria se consigue gracias a una pequeña desviación del eje del motor de lodos que permite su orientación.

Esta trayectoria es guiada por ondas electromagnéticas que permiten alcanzar hasta 15 metros de profundidad y las lecturas de información son fiables.

El emisor de ondas se aloja dentro de una camisa "housing", justo detrás del puntero, o motor de lodos, según el caso, y emite ondas electromagnéticas de una frecuencia determinada. Dichas ondas electromagnéticas son captadas por un equipo receptor especialmente diseñado para esta misión e interpretadas que al ser detectadas en la superficie permiten tener control sobre la profundidad, inclinación y direccionalidad de la perforación²⁹.

²⁹ Descripción Perforación Horizontal Dirigida, Perforación Horizontal Dirigida para el Cruce de grandes ríos y necesidades especiales. Consultado 19 de Febrero de 2013. Disponible en: <http://www.catalanadeporacions.com/Documents/mega-rig.PDF>

Normalmente se excavan dos pequeños fosos para contener los lodos de bentonita, de manera que se puedan bombear y recircular a través del túnel piloto. Se procede con el ensanche del microtúnel a través de un escariador teniendo en cuenta que se debe alcanzar un diámetro mayor al de la tubería a instalar; cabe resaltar que es indispensable que la longitud necesaria de tubería debe estar soldada y lista una vez se termine el proceso de ensanchamiento para evitar un colapso de la perforación³⁰.

La PHD es ideal para todo tipo de suelo, desde el más blando hasta roca dependiendo su éxito de una escogencia del material que conforma la broca de la lanza adecuada para garantizar una continuidad en la perforación. Las dimensiones de tubería no están limitadas pero los diámetros más comunes oscilan desde 2" hasta 26" y longitud máxima de 2000m para este rango de diámetros teniendo en cuenta la proporcionalidad con los mismos³¹.

5.5.1 Ventajas

- Los fluidos empleados en esta técnica no producen alteraciones al suelo y al subsuelo.
- se eliminan los riesgos por hundimiento del terreno ya que no se hace necesaria la compactación.
- Perfora todo tipo de suelo desde el más blando hasta la roca más dura.
- Evita empujes laterales a presión sobre otros servicios existentes en la zona de perforación.
- Disminuye el tiempo de ejecución de la obra.

³⁰Descripción Perforación Horizontal Dirigida, Perforación Horizontal Dirigida. Consultado 19 de Febrero de 2013. Disponible en: http://www.catalanadeperforacions.com/sp/PHD_operacion_0.html

³¹Descripción Perforación Horizontal Dirigida, Perforación Horizontal Dirigida. Consultado 19 de Febrero de 2013. Disponible en: http://www.montinpetrol.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=7&Itemid=9

- Minimiza la generación de ruido, polvo y escombros en zonas de trabajo en comparación con otros métodos.
- Evita la reposición de carpeta asfáltica, concreto y obras de arte de las vías.
- Sistema reconocido³².

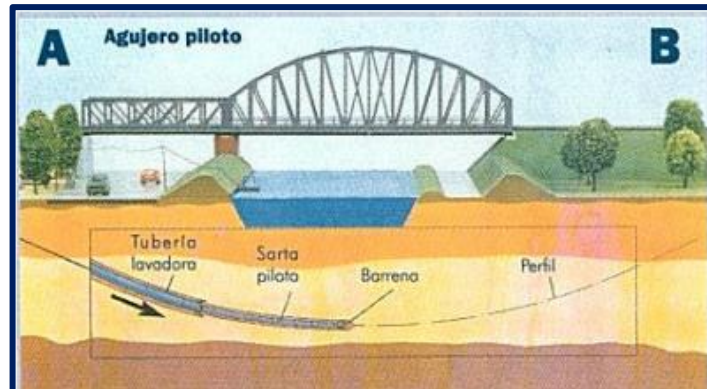
5.5.2 Proceso Constructivo

- Dependiendo de los estudios geotécnicos realizados y del tamaño del cruce que se vaya a perforar se puede seleccionar el sistema de perforación piloto que pueden ser Standard o Mud Motor.
- Como en cualquier método de perforación es indispensable la movilización de los equipos a utilizar, en este caso se hace referencia a: máquina perforadora, una estación de mezcla de lodos de perforación, una estación de reciclaje de los lodos y equipos auxiliares.
- Se debe crear un circuito de lodos entre las estaciones auxiliares y los equipos de perforación.
- Se procede a la ejecución de la perforación piloto que será realizada con el sistema adecuado de navegación. Las dimensiones son determinadas según lo requiera el proyecto teniendo en cuenta que no será la perforación definitiva, de esta manera se avanzará el trazo indicado en el proyecto hasta que se llegue al punto de salida.

El proceso de la perforación piloto se inicia introduciendo las barras desde la máquina avanzando el cabezal de perforación en la dirección que se determine entre la interpolación del trazo a seguir indicado en los planos y la posición determinada por el equipo.

³²Ventajas Perforación Horizontal Dirigida, Perforación Horizontal Dirigida. Consultado 25 de Febrero de 2013. Disponible en: <http://construccionesroya.com/perforacion-horizontal-dirigida.aspx>

Figura 19. Perforación Piloto



Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/juan_l_o/capitulo7.pdf

- Simultáneamente a la perforación piloto se lleva a cabo la navegación por medios de ondas electromagnéticas, la cual nos permite conocer exactamente y en cada instante la localización de la punta, su inclinación y temperatura para sortear los obstáculos y llegar al punto deseado.

Figura 20. Navegación Por Medio de Ondas Electromagnéticas

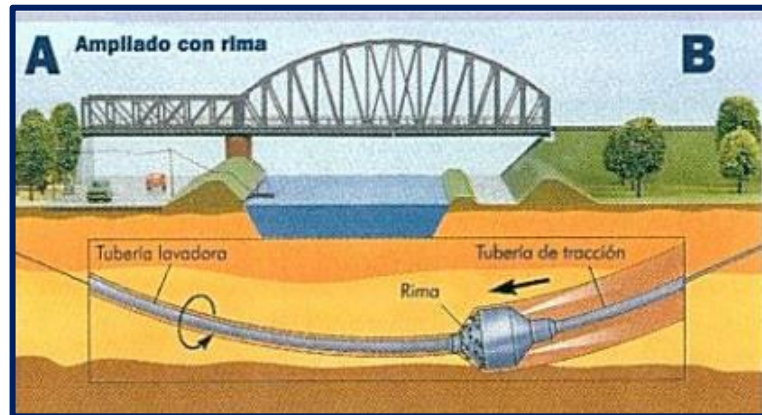


Fuente: <http://www.catalanadeporforacions.com/documents/mega-rig.pdf>

- Una vez atravesado el cruce se retira la lanza de perforación y se procede a la instalación del escariador con el fin de producir el ensanchado hasta el diámetro requerido para la introducción del tubo de servicio. El ensanche del micro túnel se realiza progresivamente variando el tamaño de los

escariadores hasta lograr en diámetro deseado de la perforación para evitar de esta forma un colapso de la misma.

Figura 21. Ensanche de la Tubería



Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/juan_l_o/capitulo7.pdf

- Simultáneamente al proceso de ensanche se deben soldar los tubos en el extremo de salida de la perforación piloto. Es importante tener preparada toda la longitud de la tubería para ser introducida en el túnel abierto y así no correr el riesgo de generar colapso en la perforación. Llegado este punto, se procede a instalar la tubería.
- Llegado este punto, se procede a instalar la tubería. Se conecta inmediatamente detrás del escariador, como si se tratara del último de los ensanches de forma que, al tirar desde la máquina de perforación, el ensanchador agranda o limpia el túnel abierto previamente y, simultáneamente, se instala el tubo de servicio. Una vez la tubería sale al agujero de entrada, ésta queda instalada dentro del túnel, según el trazo seguido para la perforación piloto.

Figura 22. Instalación de Tubería



Fuente: <http://www.perforacioneseingenieria.com>

- Finalizado el cruce se procede al retiro de equipos, nivelación y si es necesario reforestación del terreno intervenido³³.

5.5.3 Equipos

- Equipo de Perforación

Figura 23. Equipo de Perforación



Fuente: http://www.montinpetrol.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=31&Itemid=20

³³ Proceso Constructivo Perforación Horizontal Dirigida. Perforación Horizontal Dirigida Para el Cruce de grandes ríos y necesidades especiales. Consultado 11 de Marzo de 2013. Disponible en: <http://www.catalanadeperforacions.com/Documents/mega-rig.PDF>

- Puntero

Figura 24. Punteros



Fuente: <http://www.catalanadeporacions.com/Documents/mega-rig.PDF>

- Sistema de ondas electromagnéticas

Figura 25. Sistema de Ondas Electromagnéticas



Fuente: <http://www.catalanadeporacions.com/Documents/mega-rig.PDF>

- Escariador y barriles centrales

Figura 26. Escariador y Barril Central



Fuente: <http://www.catalanadeporacions.com/Documents/mega-rig.PDF>

- Tubería de Servicio

Figura 27. Tubería de Servicio



Fuente: <http://www.catalanadeporacions.com/Documents/mega-rig.PDF>

6 NORMAS DE SEGURIDAD EN OBRA

El objetivo principal de cualquier obra es efectuar una labor con calidad sin perjudicar los recursos humanos y materiales implicados en la obra.

La manera más adecuada de lograr este objetivo es tener un amplio conocimiento respecto a las diferentes etapas del proyecto a ejecutar, además de la relación que existe entre ellas y el uso por personal capacitado tanto de herramientas como de maquinarias y aparatos sofisticados.

Cuando se habla de seguridad en obra, se está haciendo referencia al cuidado del personal que labora en la misma, los peatones y tránsito externo, medio ambiente, entre otros.

Los procesos de perforación requieren un equipo de personal de acuerdo a la potencia de los equipos a utilizar y a las dimensiones del cruce, quienes deben poseer los conocimientos necesarios adquiridos en cursos y experiencia sobre seguridad y protección de la salud según las funciones a realizar.

La mayor responsabilidad para la seguridad general en la obra recae sobre el operador de la máquina de perforación.

Es responsabilidad del jefe de obra controlar que el uso de los sistemas de seguridad se realice de acuerdo a las normas y a las especificaciones del fabricante.

En caso de producirse en la obra alguna situación de peligro, se detiene de forma inmediata todo tipo de actividad hasta que el problema haya sido totalmente solucionado.

Posteriormente se organiza una reunión del personal, donde se discute sobre el posible origen de dicha situación de peligro y sobre cómo evitar que se produzca nuevamente.

Las instrucciones procedentes del comité o de su representante en cuanto a medidas de seguridad se aplican en todos los casos. El personal de vigilancia es, en la obra, el responsable de la seguridad del personal que tenga bajo su cargo. Mano de obra especializada en seguridad y salud en el trabajo (ingenieros, técnicos, etc.) asesoran a la empresa y a los trabajadores en todos los aspectos referentes a la seguridad en el trabajo, controlan las medidas de seguridad ya aplicadas e informan de posibles peligros y la forma de evitarlos.

El encargado de seguridad controla el perfecto y seguro funcionamiento de las máquinas y equipos. En caso de irregularidades y/o fallas, deberá informar de inmediato.

Todo empleado tiene la obligación de cumplir con las medidas y reglas de seguridad en el trabajo, siguiendo todas las instrucciones establecidas por la empresa y por el comité, usando en todo momento el equipo de protección puesto a su disposición por la empresa.

6.1 MEDIDAS ESTÁNDARES DE SEGURIDAD.

➤ Establecidas por:

Organismos oficiales y comisiones internacionales en forma de:


- Reglamentos
- Normas
- Recomendaciones para fabricantes y usuarios
- Publicaciones y cursos ofrecidos por diferentes agrupaciones

6.1.1 Ropa de protección

Partes que componen la ropa de protección y su función en el manejo con electricidad.

- Botas aislantes – impiden la descarga a tierra de electricidad a través del cuerpo cuando se trabaja con elementos que se encuentran bajo tensión.
- Guantes de algodón – impiden el humedecimiento de las manos
- Guantes aislantes – protección al contacto con elementos que están bajo tensión
- Guantes de protección de cuero – protección mecánica aplicada a los guantes aislantes
- Protección de la cabeza: Si no se puede descartar el peligro de accidentes producidos por golpes con elementos colgados que puedan desprenderse o que pueden ser despedidos en el aire, debe protegerse la cabeza. En obras de cruces sin zanja existe este peligro de forma casi permanente.
- El uso del casco es obligatorio.
- Protección auditiva: La sordera producida por ruidos molestos es hoy en día la enfermedad laboral nº1. A partir de una determinada intensidad se producen en el oído daños que son irreparables.

Figura 28. Valores en Decibeles de los Sonidos

Efecto en los seres humanos	Nivel sonoro en dB(A)	Fuente del sonido
Sumamente lesivo	140	Motor de aparato a reacción Remachadora
	130	
	120	

Lesivo	110	Perforadora de rocas
	100	Sierra mecánica
	90	Taller de metalistería
Peligroso	80	Camión
	70	Automóvil de turismo
Impide hablar	60	Conversación normal
	50	Conversación en voz baja
	40	Música emitida por radio a bajo volumen
	30	Susurros
	20	Piso tranquilo de una ciudad
Irritante	10	Susurro de hojas
	0	UMBRAL DE LA AUDICIÓN

Fuente: http://www.uniquindio.edu.co/uniquindio/facultades/medicina/salud_ocupnal/uniquindio/reglamento-higiene/RT_TERMICA.pdf

- La protección contra ruidos molestos es de suma importancia.
- Usar protectores auditivos.
- Protección visual por medio del uso de anteojos adecuados se protegen eficazmente los ojos contra: Golpes, polvo, chispas, virutas, esquirlas, astillas, etc.
- Usar protector ocular
- Protección de las vías respiratorias: El aire que se respira en todos los lugares de trabajo no debe producir daños a la salud.

En caso contrario y de no ser posible su mejoramiento empleando medidas técnicas, debe utilizarse la protección adecuada.

- Usar mascarilla antipolvo
- Protección de los pies: Cada 6 accidentes laborales, uno de ellos ocurre en los pies. La prevención más segura contra accidentes como punzadas, aplastamiento durante el transporte, luxaciones, torceduras, quemaduras, etc. es mediante el uso de zapatos o botas de protección. Protección de los pies en todo momento
- Ropa reflectante: Este tipo de vestimenta llama la atención por sus colores, indicando que hay obreros trabajando en zona de peligro. En cada vehículo debe haber siempre ropa reflectante.

6.1.2 Medidas de Urgencia en el Lugar del Accidente

Siempre debe estar presente en la obra personal paramédico. El personal de perforación recibe de la empresa ropa de protección, guantes protectores, mascarilla antipolvo, protector auditivo y visual, ropa impermeable, etc.

Deben de estar presentes en la obra números de teléfono de urgencia y teléfono con dirección de hospitales, un maletín completo de primeros auxilios debe estar siempre al alcance de todo el personal³⁴.

7 IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación de impacto ambiental es un proceso sistemático técnico – administrativo que examina las consecuencias ambientales de los proyectos, programas, planes y políticas orientadas a prevenir, corregir o mitigar los efectos y/o impactos ambientales que se ocasionen sobre el entorno.

³⁴Normas de seguridad en obra, Seguridad como protección contra el peligro para personas y daños materiales. Consultado el 14 de Marzo de 2013. Disponible en: <http://www.catalanadeperforacions.com/Documents/mega-rig.PDF>

En general el efecto ambiental viene a ser el cambio en un parámetro ambiental dentro de un período determinado y en un área definida, como resultante de un proyecto específico, comparado con la situación que se hubiera dado si no se hubiera ejecutado tal proyecto. Por otro lado, un impacto ambiental es cualquier alteración significativa en el ambiente debido a las actividades humanas.

Al momento de ejecutar cruces sin zanjas se garantiza que la intervención en el entorno se lleve a cabo de manera mínima por lo que el impacto ambiental generado en estos tipos de proyectos es menor comparado con los realizados a cielo abierto. Las metodologías descritas anteriormente en la realización de cruces subfluviales intervienen el terreno en máximo dos excavaciones de tamaño mínimo las cuales una vez concluido el proyecto se pueden rellenar y revegetalizar de manera que se mitigue en gran parte el daño causado durante la ejecución del mismo.

Es importante identificar y evaluar cada uno de los impactos que se pueden generar en el desarrollo de cada una de las etapas del proyecto con el fin de proponer medidas de control ambiental para garantizar la sostenibilidad del proyecto.

7.1 PROBLEMAS AMBIENTALES CAUSADOS DURANTE LA EJECUCION DE UN PROYECTO

- Malestar en la población del entorno por la generación temporal de ruido y polvo en obras producidos por el uso de equipos y maquinaria pesada.
- Generación temporal de residuos.
- Alteración temporal del paisaje del entorno por ejecución de obras.

- Leve afectación de áreas verdes producido por el tránsito de maquinaria y operarios sobre la misma³⁵.

7.2 VENTAJAS AMBIENTALES DE LAS PERFORACIONES SIN ZANJA

- Intervenciones menores al ecosistema.
- Los fluidos empleados no generan alteraciones al suelo y subsuelo.
- Eliminación de riesgos de hundimiento de terrenos por mala compactación.
- Disminución de empleo de maquinaria en movimiento, lo que reduce la generación de emisiones atmosféricas.
- Disminución de molestias a propietarios de predios, al no generar daños considerables a sus cultivos y tierras.
- Disminución de tramitología en solicitud de permisos ambientales a las respectivas autoridades, por reubicación de árboles, cambio de curso de los ríos, daño de ecosistemas nativos, e intervención de hábitat de especies endémicas.
- Minimiza la generación de ruido, polvo y escombros en zonas de trabajo en comparación con el método tradicional.
- No afecta el medio ambiente y no interfiere en las actividades de la superficie³⁶

³⁵ Impacto Ambiental, Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales. Consultado el 1 de Abril de 2013. Disponible en:
<http://www.sedapal.com.pe/Contenido/ambiental/ambiental/disco1/010%20CAPITULO%209%20IDENTIFICACION%20Y%20EVALUACION%20DE%20IMPACTO.pdf>

³⁶ Ventajas Ambientales de las Perforaciones sin Zanja, Ventajas Ambientales. Consultado el 2 de Abril de 2013. Disponible en:
http://www.montinpetrol.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=8&Itemid=10

Tabla 2. Resumen Métodos de Tecnología Sin Zanja

METODO	TIPO DE SUELO	DIMENSIONES	RECOMENDACIONES
TOPOS	Arena, Limos de Densidad Media, Arcilla	Diámetro : 2" - 8" Longitud: Hasta 50 m	Cruces Menores
TUNNEL LINER	Todos los Tipos de Suelos	Diámetro: 47" - 197" Longitud: Sin Limite	Cruces Mayores
SISTEMA RAMMING	Suelos Blandos y Cantos Rodados	Diámetro: Hasta 157" Longitud: 80 m máx.	Cruces Menores, Apto para Cruces Subfluviales
AUGER BORING	Arenas, Limos, Arcillas, Cantos Rodados, Incluso Roca	Diámetro: 4" - 96" Longitud: 270 m máx.	Cruces Mayores, Apto para Cruces Subfluviales
PERFORACION HORIZONTAL DIRIGIDA	Todos los Tipos de Suelos	Diámetro: 2" - 32" Longitud: 3000 m máx.	Cruces Mayores, Especial para Cruces Subfluviales

Fuente: *Elaboración Propia*

8 VISITA TÉCNICA

8.1 MONTINPETROL S.A.

MONTINPETROL S.A. fue fundada por el Ingeniero Heriberto Arias Aponte en 1976. Se dedica a la construcción, montaje y mantenimiento de redes de flujo para el transporte de hidrocarburos con más de 800 kilómetros de tubería instalada con diámetros que oscilan entre 3 y 24 pulgadas. Es líder en perforación horizontal dirigida, con más de 50 kilómetros de tubería entre 3" y 32" instaladas de diámetro en el territorio nacional, montajes electromecánicos, obras civiles, obras eléctricas y de instrumentación para el sector petrolero.

MONTINPETROL S.A. se dedica a la construcción de redes de flujo, mantenimiento y montajes mecánicos en el sector de hidrocarburos con actividades de obras civiles, mecánicas y electromecánicas, satisfaciendo las expectativas de los clientes ofreciendo un servicio óptimo como resultado final para seguridad de la comunidad. Todo bajo principios éticos de responsabilidad social y conservación del medio ambiente.

➤ **Servicios**

- Perforación Horizontal Dirigida
- Construcción y Mantenimiento de Redes de Flujo en el Sector de Hidrocarburos.
- Montaje de Plantas y Estaciones
- Proyectos con PHD

Tabla 3. Proyectos con PHD

Diametro pulg. y material	Longitud ML	Ciente	Ubicación
3" ACERO	114	MONTAJES JM	YOPAL
3" POLIETILENO	187,37	GAS NATURAL	BOGOTA
4" POLIETILENO	162	GAS NATURAL	SOACHA
4" ACERO	29306,98	GAS NATURAL, CONSORCIO INTEGRAL DEL SUR, CONSORCIO DIMOGAS, AINPRO, ECOPEPETROL	BOGOTA, CHIQUINQUIRA, UBATE, DUITAMA, TUNJA, SOACHA, SOGAMOSO, CAJICA, MONTERREY Y MANI CASANARE
6" ACERO	1575	MONTAJES JM, PROMIGAS, TERMOTECNICA, ALCANOS DE COLOMBIA, MONTAJES TECNICOS ZAMBRANO, TGI	GUARILAQUE, SUCRE, BOGOTA, HUILA, META, VALLEDUPAR
6" POLIETILENO	631	GASES DE OCCIDENTE	CALI
8" ACERO	555	ECOPEPETROL, PROMIGAS, INCOPAV	SUCRE, META
10" ACERO	3467,09	MONTAJES JM, GAS NATURAL	BARRANCA DE UPIA, BOGOTA, SOACHA
12" ACERO	2531,15	MONTAJES JM, ECOPEPETROL, TECNOLOGIA SIN ZANJA, MG INGENIERIA, ACI, MORELCO	BARRANCA DE UPIA, COVEÑAS, CASTILLA META
14" ACERO	9096,42	MONTAJES JM, GAS NATURAL, TERMOTECNICA, ACI, MORELCO- CONEQUIPOS	PUERTO BERRIO, BOGOTA, SOACHA, AGUACHICA, TUMACO, SANTA MARTA, BARRANCABERMEJA, CESAR
16" ACERO	680	ECOPEPETROL, INCOPAV, CONSORCIO JCMC, KONIDOL	MAGANGUE, META, SINCELEJO
18" ACERO	60	INCOPAV	META
20" ACERO	1196,93	ECOPEPETROL	MONTERREY, VILLANUEVA
24" ACERO	973,2	ECOPEPETROL	MONTERREY

Fuente: http://www.montinpetrol.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=32&Itemid=21

8.2 CRUCE SUBFLUVIAL CON EL METODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA CAÑO CARARE Y TRONADOR

La empresa MONTINPETROL S.A permitió a las autoras del proyecto de grado una visita al sitio de obra durante dos días, los cuales se realizaron una serie de actividades comenzando por una reunión en las oficinas provisionales de MONTINPETROL S.A. ubicadas en el municipio de Puerto Parra; en dicha reunión se realizó un cronograma a seguir de las actividades en campo dando inicio el segundo día de la visita, puesto que el parque automotor disponible por la empresa se encontraba en campo y no retornaba al municipio hasta la culminación de la jornada en el primer día; también se obtuvo en esta reunión una descripción

e información referente al proyecto a cargo del Director de obra (Ingeniero de Petróleos German Cascante) plasmada a continuación:

El proyecto está localizado en la jurisdicción del municipio de Puerto Parra, en cercanía del caserío de Bocas del Carare y el municipio de Cimitarra en la vereda los Morros sector San Pedro de las Vegas. Esta zona se conoce comúnmente como el Valle del Magdalena Medio, ubicado al occidente del departamento de Santander.

La topografía del terreno de ejecución del proyecto se caracteriza por un modelado plano y suavemente ondulado. En el sector se encuentra vegetación de tipo secundario en los costados del río Magdalena.

El tramo de intervención del cruce con la tubería en el río Carare, está ubicado entre el K 65+505 y el K 67+150 del Propanoducto Galán-Salgar. Para establecer el mejor sitio de cruce y entender la evolución de la corriente del río Carare se analizó la divagación para el sitio de cruce perforado bajo el río Carare y el Caño Tronador, utilizando un estudio realizado en 2006 con fotografías de los años 1957 y 1981, junto con la imagen satelital de la época, más otro realizado en 2011 con fotografías aéreas e imágenes de diferentes épocas e información brindada por la comunidad. El análisis morfodinámico del cauce del río Carare permite establecer el sitio de cruce aguas arriba del sitio actual, en un trecho recto del río, que también migra en la dirección del río; pero en este caso dicha movilidad permite la conservación de la forma recta en el sitio de cruce por un periodo de 20 años, que es lo que se presume que tardará en llegar al sitio de cruce el trecho curvo que viene avanzando inmediatamente después del tramo recto en la dirección de flujo de la corriente.

En este proyecto la longitud del cruce es de 1395 m y un diámetro de 12" de diámetro aproximadamente.

El acceso por vía terrestre al sitio del cruce (caserío de Bocas del Carare) comprende un recorrido que inicia en el municipio de Puerto Berrío departamento de Antioquia, al tomar la vía panamericana hacia Barrancabermeja, la cual se encuentra pavimentada, donde luego de recorrer 58 km aproximadamente se toma una vía veredal no pavimentada, a mano izquierda (noroccidente); y sobre esta vía a una distancia de aproximadamente 3.8 km, medidos desde la vía panamericana, se debe tomar desvío hacia la derecha, para cruzar sobre la Quebrada Las Dantas, siendo este sitio paso obligado a las vereda Patio Bonito, vereda y centro poblado Las Montoyas y la vereda Bocas del Carare, que finalmente conducen al centro poblado Bocas del Carare, y transitando por carretera destapada se llega al sitio final del Cruce. Si se toma la vía hacia la izquierda se va hacia el municipio de Puerto Parra.

Continuando con el cronograma presupuestado, el segundo día de visita las autoras se dirigieron al sitio de obra iniciando con una charla de seguridad y salud ocupacional por parte del ingeniero responsable en esta área en la cual se verificó que se cumpliera con los implementos de seguridad básicos (casco, botas punta de acero, camisa manga larga, tapones de gomas para oídos y gafas de seguridad) para el ingreso a la obra.

Seguidamente se realizó un recorrido por las instalaciones del proyecto dirigido por el Ingeniero Residente, donde se visitaron las estaciones involucradas en la ejecución del cruce iniciando por la cabina de mando de la máquina de perforación (ver figura 29) donde por parte del ingeniero de perforación (Ingeniero Mecánico Carlos Caicedo) se brindó una descripción general del manejo de la máquina. Finalizada la charla en la cabina se dirigieron a la planta de lodos en compañía del ingeniero de perforación quien explicó el proceso y ventajas de la utilización de los mismos.

Continuando con la visita las autoras y el ingeniero residente se trasladaron al otro extremo del cruce, donde se pudo apreciar el tratado posterior a las excavaciones realizadas en la etapa inicial y la adecuación del terreno para una revegetalización y dar por finalizado este proceso en ese extremo del cruce. Con esta estación se concluye la visita técnica realiza a un cruce subfluvial por parte de las autoras del proyecto de grado.

Figura 29. Cabina de Comando de la Máquina de Perforación



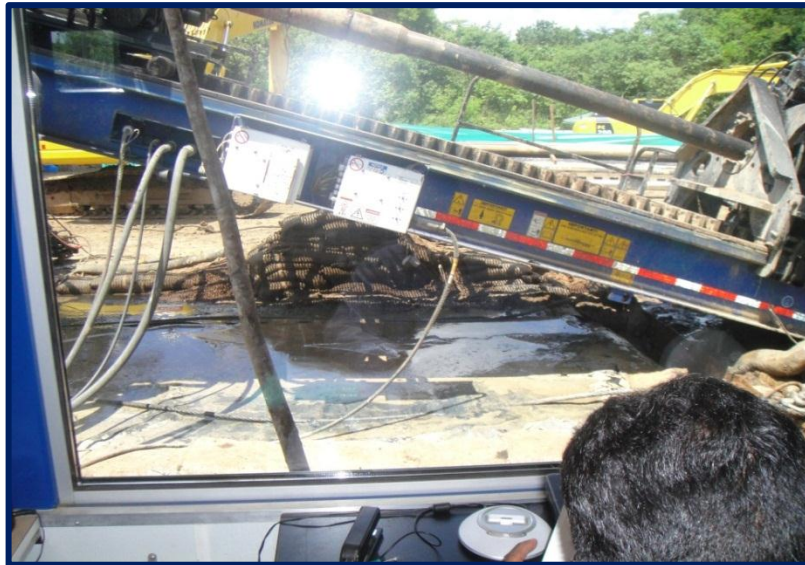
Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Máquina de Lodos



Fuente: Elaboración Propia

Figura 31. Máquina de perforación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 32. Nivelación del Terreno Intervenido



Fuente: Elaboración Propia

9 CONCLUSIONES

- Existen varios métodos para la realización de cruces subterráneos sin zanja, de los cuales el más utilizado en Colombia es el de perforación Horizontal Dirigida (PHD), debido a la longitud que se puede lograr, la aplicabilidad en diferentes tipos y condiciones de suelos, a la variedad de diámetros de ductos, que incluye los usualmente utilizados en el país y al bajo impacto ambiental que se causa en su ejecución.
- Los sistemas Ramming y Auger Boring pueden también ser utilizados para cruces subfluviales, pero, si bien se pueden realizar perforaciones de mayor diámetro, la longitud máxima que se puede lograr es de 270 metros.
- Los sistemas Topos y Tunnel Liner no son utilizados para cruces subfluviales, pero constituyen herramientas muy importantes para la instalación de redes de servicio en zonas urbanas, por su versatilidad y poca interacción con el medio ambiente.
- En la observación realizada, a pesar del poco tiempo permitido, se pudo constatar la magnitud y características tecnológicas especiales de las máquinas para la realización de estos cruces subfluviales, tan importantes en ese tipo de obras lineales.
- Se realizó una recopilación y posterior análisis de la información referente a cada método y se establecieron unas pautas para la elección de los mismos, basados en el tipo de suelo, en el diámetro del ducto a colocar y la longitud máxima que puede alcanzar.

- De la investigación de los diferentes métodos de perforación sin zanja, se puede concluir que los métodos pueden ser recomendados para cruces menores, especialmente en zonas urbanas, como el topos y el sistema ramming y para cruces subfluviales como el sistema ramming, el auger boring y la perforación horizontal dirigida.
- Los impactos ambientales ocasionados por los métodos de perforación sin zanja no son nulos, son mínimos comparados con los métodos tradicionales de perforaciones a cielo abierto, especialmente en zonas urbanas. Los impactos se generan durante el proceso constructivo y se deben a contaminación por ruido en la zona de trabajo y contaminación por movimientos de maquinaria y operarios, así como derrames de lodo y eventualmente tala de árboles.
- Igualmente se constató la importancia que tienen los estudios Geológicos-Geotécnicos en la definición del perfil estratigráfico del sitio para la ejecución del proyecto, así como la que tienen los estudios Hidrológicos e Hidráulicos en la evaluación de la socavación general en las avenidas y por consiguiente en la definición de la profundidad aconsejable del cruce.

BIBLIOGRAFÍA

CEGARRA PLANE, Manuel. Oleoductos y Gasoductos. Las tuberías. Bellisco ediciones, 1999. P.124-130.

RECURSOS ELECTRÓNICOS

- <http://www.tunelsubfluvial.gov.ar/Subpaginas/Historia.htm>
- <http://chenying8.es.b2b168.com/shop/supply/31764386.html>.
- http://www.osalan.euskadi.net/contenidos/libro/seguridad_201210/es_doc/adjuntos/Seguridad%20en%20zanjas.pdf
- <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro-4.PDF>.
- <http://perforacioneseingenieria.com>
- <http://www.geotecnia2000.com/files/publicaciones/BoletínATISAE28.pdf>
- <http://www.perforaciones.com/grundomat.html>
- ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-152-07.pdf
- <http://www.civilcoming.com/servicios.php>
- <http://www.corpacero.com/econtent/library/documents/DocNewsNo124DocumentNo150.PDF>
- <http://www.tecnovial.cl/fichas/tunnel-liner.pdf>
- <http://www.armcostaco.com.br/armco/Espanhol/detProduto.php?codproduto=1>
- <http://www.tecnovial.cl/fichas/tunnel-liner.pdf>
<http://www.tecnovial.cl/fichas/tunnel-liner.pdf>
- http://www.tecmeco.com/catalogo_productos.php?PIPERAMMING&CCOD=34
- <http://www.ainpro.com.co/ramming.php#>
- http://www.cruces.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=52:hincado&Itemid=64

- <http://www.solostocks.cl/venta-productos/equipo-industrial/compresores-aire/compresores-mdvn-974276>
- <http://www.profiledrilling.co.uk/augerboring.php>
- <http://www.istt.com/guidelines/auger-boring>
- <http://www.allenwatson.com/auger-boring.html>
- <http://www.catalanadeporforacions.com/Documents/mega-rig.PDF>
- http://www.catalanadeporforacions.com/sp/PHD_operacion_0.html
- http://www.montinpetrol.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=7&Itemid=9
- <http://construccionesroyma.com/perforacion-horizantal-dirigida.aspx>
- <http://www.sedapal.com.pe/Contenido/ambiental/ambiental/disco1/010%20CAPI%20TULO%209%20IDENTIFICACION%20Y%20EVALUACION%20DE%20IMPACTO.pdf>
- http://www.montinpetrol.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=8&Itemid=10