

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**“MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL”**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LA TEGNOLOGÍA DE  
PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (HORIZONTAL  
DIRECTIONAL DRILLING, HDD) COMO ALTERNATIVA A LA  
EXCAVACIÓN DE ZANJAS DE OBRAS DE SANEAMIENTO**

**AUTOR:**

**VÍCTOR BASTIDAS**

**Guayaquil - Ecuador**

**2022**

## RESUMEN

Los residuos de construcción son comunes y pueden ser reciclados, pero la generación de desechos, ruido y polvo son problemas significativos para los trabajadores y ciudadanos. La instalación sin zanja de tuberías tiene impactos ambientales como la generación de materiales de desalojo, ruido y alteración del suelo y por ello se busca incentivar el uso de nuevas tecnologías para la instalación de tuberías. Por eso se realizó un análisis comparativo entre dos métodos de instalación de tuberías: el método de excavación en zanja tradicional y el método de perforación horizontal dirigida. La metodología consistió en una simulación de la instalación una tubería PEAD de 315 mm en la avenida Benjamín Carrión Mora de la ciudad de Guayaquil, Ecuador, y se incluyó un análisis de impacto ambiental durante la ejecución de los métodos. La avenida fue elegida por ser una vía importante y concurrida de la ciudad que ha sido objeto de numerosas intervenciones en los últimos años. El análisis tomó en cuenta las actividades más importantes previas y durante la instalación de la tubería y no incluye los procesos posteriores de relleno y rehabilitación de las mismas. Se evaluó las consecuencias ambientales de ambos métodos, incluyendo la contaminación por rotura, excavación y desalojo, la contaminación auditiva y la contaminación del aire. Los resultados mostraron que el método sin zanja genera menos residuos y reduce el tiempo de ejecución de trabajos en un 98%. También reduce la exposición al ruido y la cantidad de material particulado en un 98% y 95% respectivamente, en comparación con el método con zanja. Se recomienda utilizar el método sin zanja para la instalación de tuberías y adoptar medidas preventivas para proteger la salud auditiva y respiratoria de los trabajadores y usuarios.

**Palabras claves:** zanja, perforación, avenida, tubería

## ABSTRACT

Construction waste is common and can be recycled, but the generation of waste, noise, and dust are significant problems for workers and citizens. Trenchless pipe installation has environmental impacts such as the generation of excavation materials, noise, and soil disturbance, which is why there is the initiative for the use of new technologies for pipe installation. That is the reason it was done a comparative analysis between two methods of pipeline installation: the traditional trench excavation method and the horizontal directional drilling method. The methodology consisted of a simulation of the installation of a 315mm PEAD pipe on Benjamin Carrión Mora Avenue in the city of Guayaquil, Ecuador, and included an analysis of environmental impact during the execution of the methods. The avenue was chosen because it is an important and busy road in the city that has been the target of numerous interventions in recent years. The analysis took into account the most important activities during the installation of the pipe and did not include the subsequent processes of backfilling and rehabilitation. The environmental consequences of both methods were evaluated, including pollution from breakage, excavation, and disposal, noise pollution, and air pollution. The results showed that the trenchless method generates less waste and reduces the execution time of work by 98%. It also reduces exposure to noise and the amount of particulate matter by 98% and 95%, respectively, compared to the trench method. It is recommended to use the trenchless method for pipeline installation and to adopt preventive measures to protect the health of workers and users.

**Keywords:** ditch, perforation, avenue, pipe

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a toda mi familia por creer en mi hasta el final. A mi club Argumentun por ser parte de mi vida y al circuito internacional de debate en español.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecido con la FCNM por aceptarme en el programa y por el apoyo en mi formación.

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación, me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.



---

Víctor Manuel Bastidas Martínez

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

NADIA MAGALY  
FLORES MANRIQUE

Firmado digitalmente por NADIA  
MAGALY FLORES MANRIQUE  
Fecha: 2023.10.16 18:32:52 -05'00'

---

MSc. NADIA FLORES MANRIQUE  
PRESIDENTE

FRANCESCA  
ELIZABETH  
ESCALA  
BENITES

Digitally signed by  
FRANCESCA  
ELIZABETH ESCALA  
BENITES  
Date: 2023.10.17  
12:57:34 -05'00'

---

MSc. FRANCESCA ESCALA BENITES  
TUTOR



Firmado electrónicamente por:  
JENNY MARIA VENEGAS  
GALLO

---

MSc. JENNY VENEGAS GALLO  
DOCENTE EVALUADOR

## ABREVIATURAS O SIGLAS

**HDD:** Horizontal Directional Drilling

**INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censos

**RCD:** Residuos de construcción y demolición

**OPS:** Organización Panamericana de la Salud

**UNICEF:** United Nations Children's Fund

**PHD:** Perforación Horizontal Dirigida

**PEAD:** Polietileno de Alta densidad

**ATM:** Autoridad de Tránsito Municipal

**SPT:** Standard Penetration Test

**OSHA:** Occupational Safety and Health Administration

**NIOSH:** National Institute for Occupational Safety and Health

**INRS:** Institut national de recherche et de sécurité

**EU-OSHA:** European Agency for Safety and Health at Work

**WHO:** World Health Organization

**HSE:** Health, Safety & Environment

**CDC:** Evaluation of Exposure to Respirable Crystalline Silica in Construction Tasks

**OIT:** Organización internacional del trabajo

# TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 .....	1
1.3 Objetivo General .....	2
1.4 Objetivos Específicos .....	3
1.5 Hipótesis .....	3
1.6 Alcance .....	3
CAPÍTULO 2 .....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 Contaminación al medio ambiente .....	4
2.2 Contaminación en obras de construcción civil .....	5
2.3 Obras de saneamiento y tratamiento de agua .....	6
2.4 Método tradicional de excavación con zanja .....	7
2.5 Método de Perforación Horizontal Dirigida o Horizontal Directional Drilling .....	9
3. METODOLOGIA .....	13
3.1 Aspectos ambientales de instalación tradicional de tuberías por excavación con zanja .....	15
3.1.1 Desechos por actividades de rotura, excavación y desalojo .....	15
3.1.2 Emisiones: ruido ambiente .....	17
3.1.3 Emisiones: material particulado .....	20
3.2 Aspectos ambientales de metodología de Perforación Horizontal Dirigida o Horizontal Directional Drilling .....	21
3.2.1 Desechos por actividades de rotura, excavación y desalojo .....	21
3.2.2 Emisiones: ruido ambiente .....	22
3.2.3 Emisiones: material particulado .....	23
CAPITULO 4 .....	24
4. Análisis de Resultados .....	24
5. Recomendaciones .....	30
6. Conclusiones .....	32
7. Referencias .....	32
APÉNDICE A .....	37
Tablas anexos .....	37
.....	38

## LISTADO DE FIGURAS

Ilustración 2-1 Esquema de relación de la contaminación de los tres vectores ambientales: aire, agua y suelo. Fuente: Encinas, 2011.....	4
Ilustración 2-2 Excavación en zanja. Fuente: Paniagua & Quispe, 2017.....	7
Ilustración 2-3 Mapa conceptual para procedimiento sin zanja. Fuente: Guía Colombiana 2022.....	11
Ilustración 2-4 Esquema para proceso de HDD. Fuente: Guía Colombiana 2022.....	11
Ilustración 4-1 Volumen total de excavación por método. Fuente: Propia.....	24
Ilustración 4-2 Volumen de desalojo de concreto por método. Fuente: Propia.....	24
Ilustración 4-3: Volumen de material a reponer por método. Fuente: Propia.....	25
Ilustración 4-4 Distribución de material desalojo y concreto en m <sup>3</sup> por método con zanja. Fuente: Propia.....	25
Ilustración 4-5 Distribución de material desalojo y concreto en m <sup>3</sup> por método PHD. Fuente: Propia.....	26
Ilustración 4-6 Tiempo de ejecución de trabajos de excavación y desalojo en horas por método. Fuente: Propia.....	26
Ilustración 4-7 Cantidad de material particulado en mg por método. Fuente: Propia.....	27

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Dimensiones y volumen total de excavación en zanja. Fuente: propia .....	15
Tabla 2 Volumen y tiempo total de excavación en zanja. Fuente: Propia.....	18
Tabla 3 Cantidad de ruido generado por retroexcavadora. Fuente: propia .....	18
Tabla 4 Volumen y tiempo total de rotura de pavimento rígido en zanja. Fuente: propia .	19
Tabla 5 Cantidad de ruido generado por rotura de pavimento rígido. Fuente: propia .....	19
Tabla 6: Cantidad de polvo generado rotura de pavimento rígido. Fuente: propia .....	20
Tabla 7 Dimensiones y volumen total de excavación de entrada. Fuente: Propia.....	21
Tabla 8 Dimensiones y volumen total de excavación de inicio. Fuente: Propia .....	21
Tabla 9 Dimensiones y volumen total de excavación de salida.....	22
Tabla 10 Volumen y tiempo total de excavación sin zanja Fuente: Propia.....	22
Tabla 11 Volumen y tiempo total de excavación sin zanja. Fuente: Propia.....	22
Tabla 12 Límites máximos permisibles de exposición al ruido. Fuente: IESS .....	29

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Las obras de construcción civiles representan un alto de grado riesgo para trabajadores y ciudadanos. Los riesgos más frecuentes son trabajos en altura, caída de materiales, instalación de equipos de trabajo, uso de herramientas, aseo del área y falta de equipos de protección personal. El porcentaje de ocurrencia de las caídas en altura son del 41,2%, seguido de las lesiones y cortes por herramientas con el 13,5% y finalmente fallas de equipos y descargas eléctricas con el 4,8% (Robledo, 2013).

Es obligación de contratistas, empresas constructoras y fiscalizadores designar un área de especialidad en seguridad, salud ocupacional y gestión ambiental para garantizar la aplicación de medidas y mejoras del comportamiento de los trabajadores para el control eficaz de los peligros, riesgos e impactos ambientales (Álvarez & Cuellar, 2020).

El proceso de Perforación Horizontal Dirigida, (Horizontal Directional Drilling, HDD) es una alternativa reciente al método tradicional de instalación por medio de la excavación de zanjas ya que están ocasionan desalojo de material de sitio e intervencionismo en áreas urbanas y ecosistemas. Este método consiste en la excavación de una zanja en el punto inicial del tramo de la tubería y mediante un proceso de taladro automatizado se traslada la tubería por debajo de la calzada o superficie, optimizando la ejecución de la obra en recursos, tiempo y las afectaciones al medio ambiente (Flores, 2019).

## **1.2 Descripción del problema**

Los residuos de construcción son desechos comunes de la instalación y rehabilitación de tuberías, estos son considerados inertes y no peligrosos pero que pueden llegar a ser aprovechables para ser transformados o reciclados (castaño, 2013). La generación de ruido es común debido a la maquinaria o equipos de trabajo y se lo define como un sonido no deseado que puede causar malestar o quejas por parte del ciudadano y cuyo impacto depende del nivel de intensidad y su duración (Lobos, 2008). El material particulado o polvo provocado por los materiales de construcción o la rotura de hormigón, entre otros, puede causar enfermedades respiratorias a trabajadores y transeúntes (Enshassi, Kochendoerfer & Rizq, 2014).

Los problemas de mayor impacto ambiental por parte de la instalación sin zanja son la generación de material de desalojo como hormigón, suelo y lodos producto de la rotura de la calzada y excavación, seguido de la generación de ruido y la alteración del suelo producto de la actividad de excavadoras y volquetas (Rosales, 2018).

Interagua que es administrada por Veolia, desde el año 2001 tiene una alianza con la Municipalidad de Guayaquil y Emapag hasta el año 2031 para llevar a cabo trabajos e iniciativas relacionadas con obras de instalación, tratamiento o saneamiento de agua. Desde el 2001 hasta el 2021 se han rehabilitado 787 kilómetros de tubería de distintos sistemas de agua en la ciudad. Es por ello que el número de obras de instalación o rehabilitación de tuberías de agua potable o servidas ha aumentado en los últimos años. (Diario EXTRA, 2022)

## **1.3 Objetivo General**

Evaluar los impactos ambientales del proceso perforación Horizontal Dirigida mediante el análisis multicriterio para obras de saneamiento de la ciudad de Guayaquil.

#### **1.4 Objetivos Específicos**

1. Contrastar el método HDD con el de excavación tradicional (con zanja) mediante el análisis de un caso de estudio.
2. Identificar los impactos ambientales del método HDD en obras de saneamiento.
3. Valorar los impactos ambientales del método HDD considerando la viabilidad económica respecto al método de excavación tradicional.

#### **1.5 Hipótesis**

El análisis multicriterio de ambos métodos a evaluar determinará que el proceso de Perforación Horizontal Dirigida (Horizontal Directional Drilling, HDD) tiene menor impacto ambiental que la excavación de zanjas en obras de saneamiento por su bajo nivel de intervencionismo en las áreas de trabajo, costos y afectaciones o reparaciones al medio ambiente.

#### **1.6 Alcance**

El proyecto comprende el análisis de costos, tiempos y evaluación de los impactos ambientales del proceso de la perforación Horizontal Dirigida en la instalación de una tubería en la Av. Benjamín Carrión en el sector de la Alborada en la ciudad de Guayaquil.

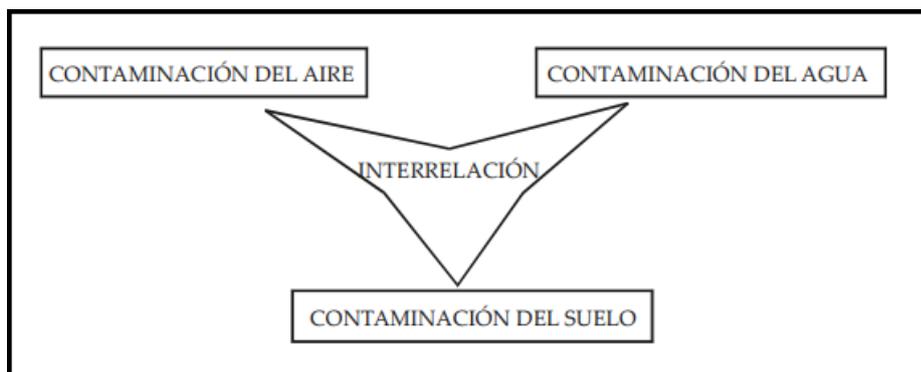
## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Contaminación al medio ambiente

El crecimiento económico y la globalización han ocasionado muchos beneficios y riesgos con respecto al medio ambiente. Se estima que en los países industrializados un 20% de la incidencia de las enfermedades se pueden atribuir a factores del medio ambiente. (Vargas, 2005)

La contaminación abarca la presencia de sustancias no deseables en el aire, agua y suelo afectando la salud de las personas y al uso respectivo de estos recursos que se encuentran relacionados entre sí, ya que las sustancias contaminantes pasan fácilmente de un medio al otro, lo cual dificulta la búsqueda de resoluciones efectivas para cada uno de ellos. (Encinas, 2011)



*Ilustración 2-1 Esquema de relación de la contaminación de los tres vectores ambientales: aire, agua y suelo. Fuente: Encinas, 2011*

En el Ecuador existen diversos problemas ambientales como: la deforestación, la contaminación por extracción petrolera y minera, entre otros; sin embargo, también se produce la erosión del suelo, la pérdida o afectaciones a la biodiversidad, la sobreexplotación irracional de recursos naturales como el agua, el déficit del manejo de desechos, el deterioro del ambiente en zonas urbanas, problemas de salud, sequías, afectación a las cuencas hidrográficas y los desastres naturales (Bermeo, 2003).

Guayaquil es la segunda ciudad más poblada del Ecuador con una proyección total de 2.7 millones de habitantes (INEC, 2011) y es considerada también un centro económico, industrial, comercial y como ecosistema urbano cuenta con sus respectivos subsistemas doméstico, portuario de transporte, entre otros más (Armijos & Montolio, 2008).

## **2.2 Contaminación en obras de construcción civil**

Todo proyecto que busca mejorar la vida de las personas tiene impactos positivos y negativos, por ello se planifica que estos sean sostenibles e incentivados por parte de los Gobiernos o Municipalidades. Estos proyectos comprenden producción más limpia, materiales reutilizables o reciclados, sistemas de gestión ambiental, arquitectura bioclimática y legislación ambiental (Mendoza & Vanga, 2020).

Los impactos al medio ambiente generados en obras de construcción civil son: desechos o residuos sólidos, ruido, polvo, y remoción de materia vegetal. Generalmente estas obras se ubican en las cercanías de zonas altamente pobladas por lo que pueden causar afectaciones a la salud de las personas por exposición al material particulado, vibración de maquinaria y el ruido (Enshassi, Kochendoerfer & Rizq, 2014).

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son de cantidad considerable y no existen datos confiables de lo que se genera anualmente. Esto se debe a que una gran parte de estos residuos no son controlados, por lo tanto, se producen y abandonan sin el menor registro. Sin embargo, el 75% pertenece a “escombros” y el 25% restante combina distintos materiales de origen múltiple y peligrosos (Monercillo, de Santos & García, 2013).

Los RCD son sobrantes que pueden proceder de:

- Canteras o puntos de extracción de áridos para la construcción
- Obras Civiles o nuevas edificaciones

- Obras de rehabilitación o restauración
- Reformas domiciliarias de áreas pequeñas
- Rechazos provenientes de la fabricación de materiales

### **2.3 Obras de saneamiento y tratamiento de agua**

Desde 1960 los gobiernos de países de América del sur y el caribe han realizado grandes esfuerzos para incrementar la cobertura de los servicios de saneamiento y agua potable. Acorde a las estimaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el 85% de la población de esta región dispone de servicios de agua potable a través del uso de conexiones domiciliarias o de accesos a una fuente pública y el 49% de la población cuenta con sistemas adecuados de alcantarillado. A nivel mundial, alrededor de 2200 millones de habitantes aún no tienen acceso a servicios de agua potable gestionados de manera sostenible y más de 4200 millones no cuentan con servicios de saneamiento (OMS/UNICEF, 2019).

En Ecuador según el INEC en el año 2020 el 90% de los 221 Municipios y 24 gobiernos provinciales tienen sistemas de tratamiento de agua para su consumo. También se han desarrollado proyectos de potenciación y rehabilitación de sistemas de saneamiento existentes.

Buscar el máximo potencial de las inversiones en los sistemas urbanos de saneamiento y agua potable es un reto complejo que comprende varios factores como la selección de la tecnología, el diseño apropiado y la socialización a la comunidad de cómo manejar estos sistemas. Cualquier iniciativa para crear mecanismos de apoyo como políticas publicas deberían impulsarse para potenciar el sector del agua dentro del sector rural (Pablo, 2022).

## 2.4 Método tradicional de excavación con zanja

A nivel mundial los sistemas de saneamiento de agua potable, alcantarillado y lluvias son indispensables para la población. Su objetivo es de conservar las condiciones de salubridad e higiene para evitar afectaciones a la salud de personas vulnerables. Para estos sistemas es vital realizar tareas de mantenimiento, potenciación o rehabilitación de los servicios de manera periódica para un óptimo funcionamiento (Assante & Ordinola, 2019).

Las instalaciones de diferentes tipos de tuberías para uso eléctrico, gas, fibra óptica, entre otras que por lo general atraviesan vías de transporte, generan problemas como la interrupción del tráfico debido a que para este tipo de obras se necesita de personal y equipos de trabajo. Ejecutar los procesos de instalación con zanjas implican tiempos y costos elevados. (Vera, 2013).

El método de excavación tradicional o en zanja consiste en un grupo de actividades que se llevan a cabo en terrenos naturales o en espacios urbanos, por lo general estas operaciones incluyen, pero no se limitan a excavación, carga, acarreo, descarga, entre otras (Paniagua & Quispe, 2017).

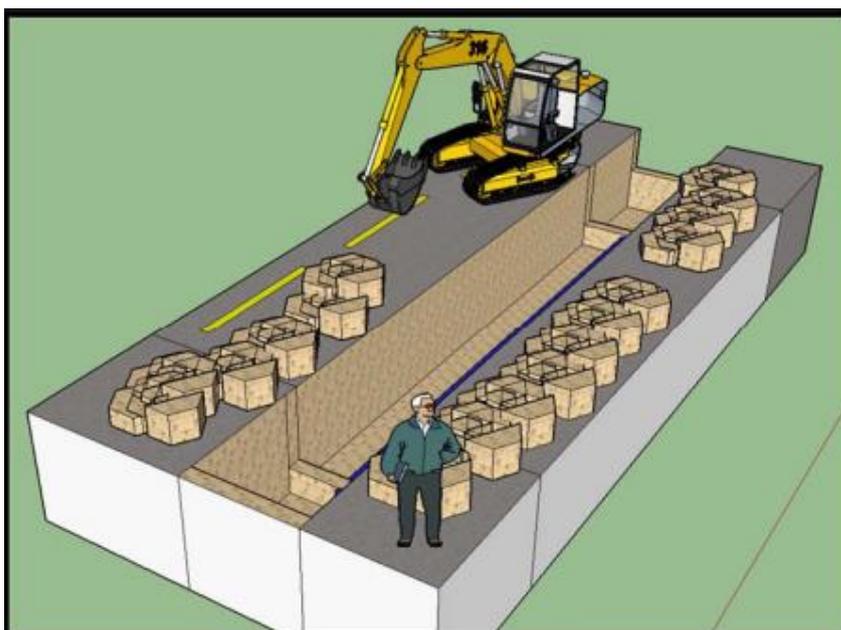


Ilustración 2-2 Excavación en zanja. Fuente: Paniagua & Quispe, 2017



Para los trabajadores de estas obras que involucran excavaciones, es indispensable aplicar medidas de control de riesgos para prevenir o proteger ante posibles daños o accidentes como fallas si se toman en cuenta la estabilidad de los taludes de excavación y el tipo de suelo. Para ello se aplican mecanismos desde la eliminación, sustitución, controles administrativos y el uso de implementos de equipo de protección personal (Quea, 2019).

Las intervenciones de rehabilitación o potenciación de redes de agua potable o servidas en espacios urbanos representan problemas como la generación de residuos, ruido y proliferación de polvo, los cuales deben enfrentarse las empresas constructoras y los organismos gubernamentales (Martínez, 2019).

## **2.5 Método de Perforación Horizontal Dirigida o Horizontal Directional Drilling**

En países desarrollados, el uso de tecnologías que no usan zanjas han probado ser herramientas sostenibles. Esto debido a que los métodos tradicionales requieren usualmente de la apertura o ruptura de cimientos en vías de tráfico vehicular, estructuras o áreas verdes, lo que generan impactos sociales y ambientales complejos de asumir por sus altos costos (Flores, 2019).

Parte de los beneficios ambientales que se destacan por el método de Perforación Horizontal Dirigida, es la protección de la calidad del agua del vertido y los ecosistemas terrestres y la reducción al mínimo del área natural que se interviene. Este método evita excavar zonas de grandes longitudes por medio del traslado de la tubería a profundidades entre 10 y 20 m (Calderón & Espinoza 2020).

El proceso común de esta tecnología PHD sin zanja consiste en la perforación en el terreno natural asistida con fluidos. El cabezal se empuja a través del terreno y el fluido se bombea en el interior de la tubería y retorna por un espacio entre la sarta y las paredes de perforación para repetir el proceso (Yepes, 2015).

Los siguientes pasos conforman el procedimiento:

1. Excavación de pozos para entrada y salida
2. Preparación de maquinaria
3. Instalación de los accesorios de corte y expansión
4. Instalación de la tubería nueva
5. Empalmes y acometidas

Entre las características y consideraciones del PHD es que los pozos ocasionan leves perturbaciones en las áreas de ejecución que suele ser de un metro cuadrado aproximadamente. Estos pozos pueden ser excavados a máquina o a mano dado el tamaño y por eso este método resulta ideal para ser aplicado en sitios de difícil acceso.

Este proceso es óptimo dependiendo de las características del suelo que pueden ser arcilla, limos, entre otros y factores como el nivel freático que pueden afectar las actividades de la maquinaria o la excavación del material para la instalación de la tubería (Carrera, 2017).

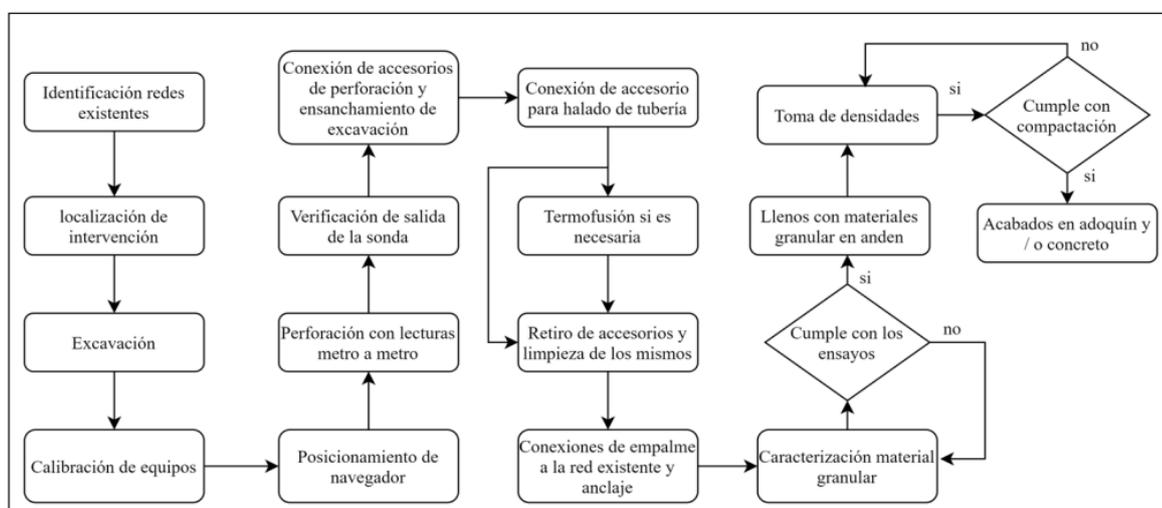


Ilustración 2-3 Mapa conceptual para procedimiento sin zanja. Fuente: Guía Colombiana 2022

La técnica para instalar los tubos o acometidas subterráneas es utilizando el taladro o torre de perforación. Aquí se proyecta un cable de perforación con un determinado ángulo no muy grande con respecto a la superficie para que pueda tener capacidad de dirección y se pueda seguir (Guía técnica Colombiana, 22).

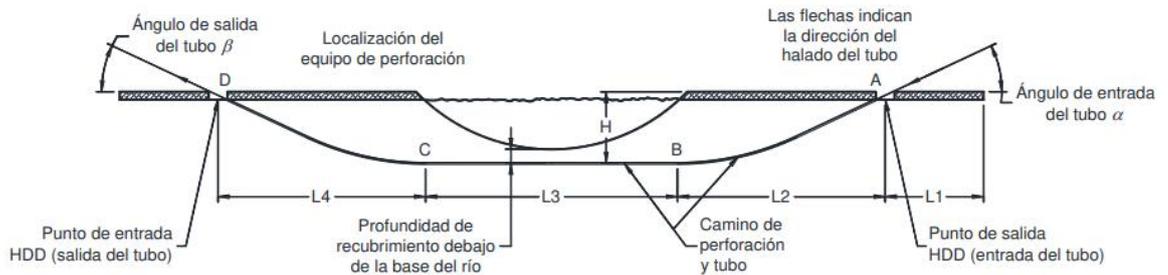


Ilustración 2-4 Esquema para proceso de HDD. Fuente: Guía Colombiana 2022



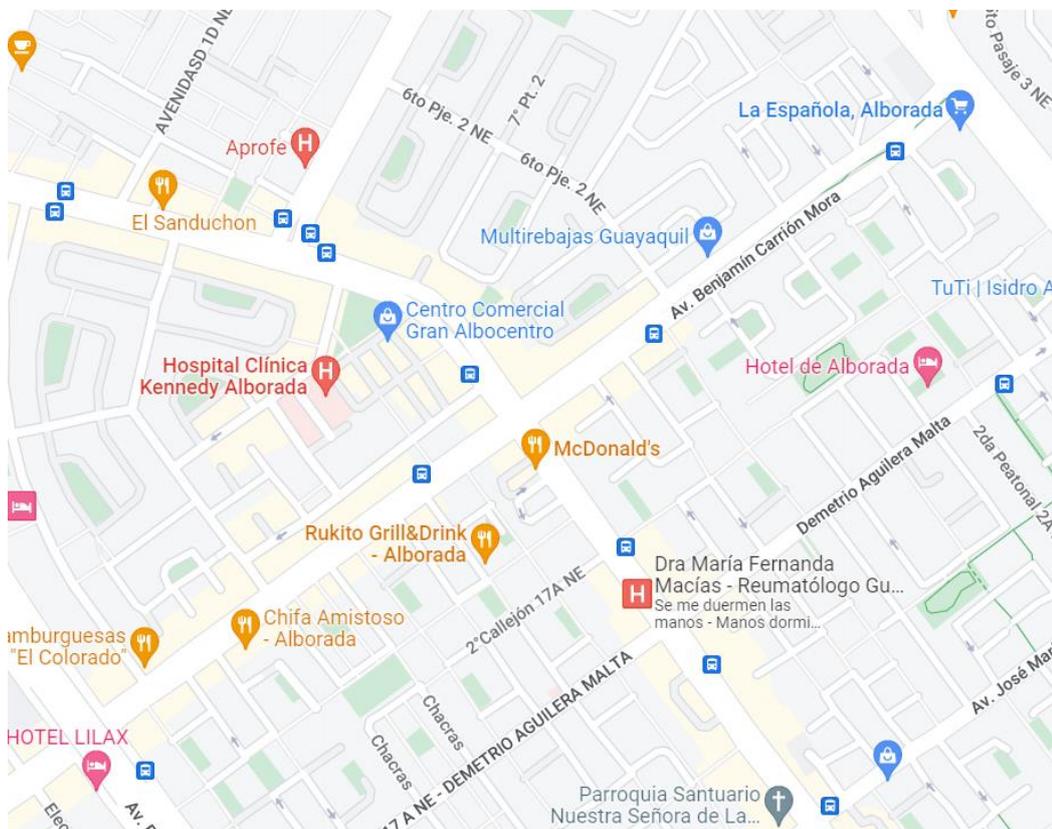
## CAPÍTULO 3

### 3. METODOLOGÍA

La metodología consiste en realizar un análisis comparativo del método de excavación en zanja tradicional para la instalación de una tubería y el método de perforación horizontal dirigida a través de la simulación de la instalación en una avenida concurrida e importante de la ciudad de Guayaquil, para posteriormente realizar un análisis de impacto ambiental de los métodos durante su ejecución y los resultados de los mismos.

El análisis tomará en cuenta las actividades previas y durante la instalación de la tubería como la rotura de pavimento rígido, excavación, desalojo e instalación de la tubería PEAD y no incluye los procesos posteriores como relleno y rehabilitación de vías.

La avenida Benjamín Carrión Mora se encuentra en el norte de la ciudad de Guayaquil entre los sectores de la Alborada y Saucés. Esta avenida comienza en la Av. Francisco de Orellana, es atravesada por la Av. Rodolfo Baquerizo Nazur y termina en la Av. Isidro Ayora.





Debido a los constantes trabajos de mejora y de adecuación de la vía por parte de los organismos gubernamentales, ha sido cerrada muchas veces afectando el transporte urbano y los servicios de más de 5 líneas de buses, lo cual es gestionado por la Agencia de Transito y Movilidad (ATM).

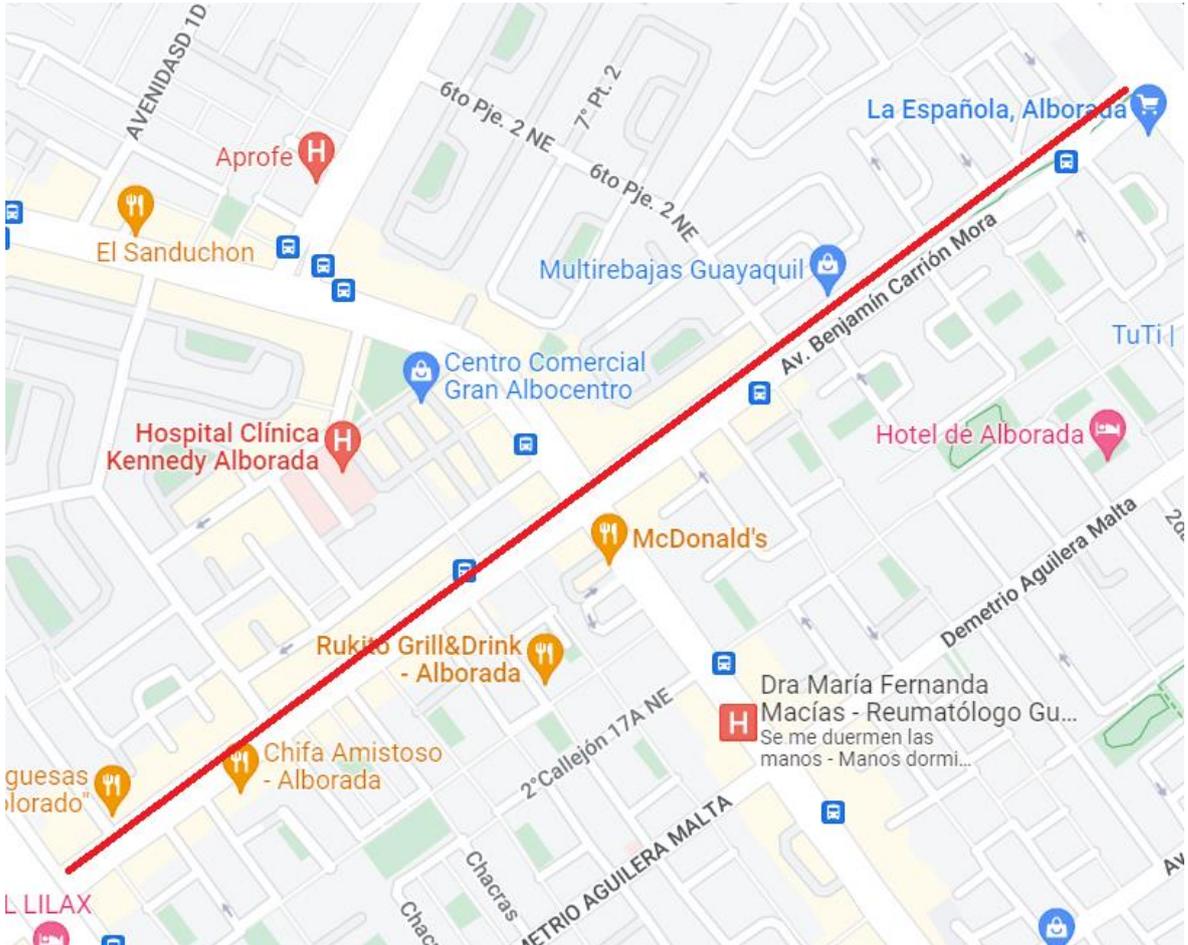


Ilustración 3-3 Trayecto de simulación de tubería PEAD. Fuente: Google Maps.

### 3.1 Aspectos ambientales de instalación tradicional de tuberías por excavación con zanja

#### 3.1.1 Desechos por actividades de rotura, excavación y desalojo

Para la instalación con zanja abierta de una tubería de PEAD de 700mm se deberá realizar una excavación de 1,8m de profundidad y 1,5m de ancho.

Tabla 1 Dimensiones y volumen total de excavación en zanja. Fuente: propia

Dimensiones	m
Ancho	1.5
Profundidad	1.8
Longitud	1200

Volumen (m3)	3240
--------------	------

Para el proceso de excavación para la instalación de tuberías en pavimentos rígidos se realizan los siguientes pasos:

- Perfilado de calzada
- Rotura de pavimento rígido
- Excavación de material
- Desalojo de material

La cantidad de desalojo de material es de 3240m<sup>3</sup>.

Se necesitarán 216 viajes de volquetas estándar de 15m<sup>3</sup> para poder desalojar todo el material.

Tomando en cuenta que el espesor de la calzada de pavimento rígido es 10cm, el material de concreto desalojado sería de 180m<sup>3</sup> y el resto 3060m<sup>3</sup>. Para la instalación con zanja abierta de una tubería de PEAD de 700mm se deberá realizar una excavación de 1,8m de profundidad y 1,5m de ancho.

### **3.1.2 Emisiones: ruido ambiente**

Para determinar este aspecto ambiental, es importante considerar el tiempo de trabajo total que requiere las máquinas para realizar el trabajo desde la rotura hasta la excavación.

Para la instalación de zanja abierta se usa una retroexcavadora que es un tipo de maquinaria esencial para realizar diferentes tipos de trabajos como movimiento de tierras y excavación de zanjas para tuberías. (Larrea & Pacheco)

En el sector los suelos predominantes son arcillas muy blandas con SPT entre 1 y 4 golpes a profundidades mayores a 2m (Bastidas, 2022). Dado que debido al tipo de suelo la eficiencia de la retroexcavadora es del 40%, el ciclo en el que está máquina realiza el trabajo de excavación y descarga es de 0,23 minutos, una capacidad de cucharón de 0,125m<sup>3</sup> (Chiriboga, 2017) y un factor de llenado del cucharón igual al 110%, esta máquina puede excavar y descargar 0,138m<sup>3</sup> en 0,37min que son equivalentes a 22.2 segundos para realizar cada ciclo de trabajo.

Tabla 2 Volumen y tiempo total de excavación en zanja. Fuente: Propia

	Volumen(m3)	Tiempo (min)	Tiempo (hora)
Ciclo	0.138	0.37	0.01
Total	3240	23564	392.73

Se necesitarán de 392.73 horas de trabajo por parte de la retroexcavadora para desalojar todo el material.

Tabla 3 Cantidad de ruido generado por retroexcavadora. Fuente: propia

Fuente	Modelo de retroexcavadora	Nivel de ruido (dB)
Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2011). Control of Hazardous Noise	John Deere 310SK	86
National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (1999). Criteria for a Recommended Standard: Occupational Noise Exposure.	Caterpillar 426C	96
Institut national de recherche et de sécurité (INRS). (2003). Conduite d'engins de chantier mobiles : engins de terrassement (R 372m).	Case 580L	96-102
European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). (2011). Expert forecast on emerging chemical risks related to occupational safety and health.	JCB 3CX	96-102
World Health Organization (WHO). (2011). Burden of disease from environmental noise	Komatsu WB93R-5	87-95

Considerando que el modelo común usado en este tipo de proyectos es el de Caterpillar y comparando con los valores de otros modelos, el nivel de ruido generado por la retroexcavadora es 96 dB en 392.73 horas de trabajo. e necesitarán de 392.73 horas de trabajo por parte de la retroexcavadora para desalojar todo el material.

Para el proceso de rotura se utiliza el martillo hidráulico, herramienta la cual se usa para perforación de materiales como piedras o pavimento rígido y tiene una productividad entre 19 a 46 m<sup>3</sup> en un periodo de 8 horas de una jornada de trabajo (Caterpillar, 2012).



Ilustración 3-4 Martillo hidráulico. Fuente: Propia

Tabla 4 Volumen y tiempo total de rotura de pavimento rígido en zanja. Fuente: propia

	Volumen(m <sup>3</sup> )	Tiempo (hora)
Jornada	32.5	8
Total	180	44

Se necesitarán de 44 horas de trabajo por parte de la retroexcavadora con martillo hidráulico para la rotura del pavimento rígido de todo el trayecto de tubería.

Tabla 5 Cantidad de ruido generado por rotura de pavimento rígido. Fuente: propia

Fuente	Nivel de ruido (dB)	Promedio
OSHA (EE. UU.)	95-115	105
HSE (Reino Unido)	90-110	100
Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social (España)	99-103	101
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España)	100-110	105
Federación Internacional de Hormigón (IFC, por sus siglas en inglés)	100-110	105

Considerando que el modelo común usado en este tipo de proyectos es el de Caterpillar y comparando con los valores de otras fuentes de datos, el nivel de ruido generado por la retroexcavadora con el martillo hidráulico es 105dB durante 44 horas de trabajo.

### 3.1.1 Emisiones: material particulado

Es común que durante tareas regulares como cortar, perfilar o taladrar se genere material particulado o polvo de sílice que se encuentra comúnmente en materiales de construcción como el hormigón y el mortero (ACCIÓN, 2020).

Para la actividad de rotura del pavimento rígido para la instalación con zanja, los operadores, trabajadores y pobladores estarán expuestos a material particulado por 44 horas.

Dado que el límite de exposición permisible para la sílice respirable es de 0,05mg/m<sup>3</sup> por hasta 10 días/hora durante una semana de trabajo común de 40 horas (NIOSH, 1996), en el peor escenario el tiempo de exposición por parte de los trabajadores a este material rebasa por 4 horas el límite.

*Tabla 6: Cantidad de polvo generado rotura de pavimento rígido. Fuente: propia*

Fuente	Cantidad de polvo generado	Promedio
"Evaluation of Exposure to Respirable Crystalline Silica in Construction Tasks" (CDC)	5-10 mg/m <sup>3</sup>	7.5
"Construction Dust: Scabbling and Grinding" (HSE)	10-50 mg/m <sup>3</sup>	30
"Silica Exposure during Concrete Demolition and Grinding" (Environmental Health Perspectives)	3-10 mg/m <sup>3</sup>	6.5
"Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al polvo de sílice"	1-10 mg/m <sup>3</sup>	5.5
"Polvo de sílice en el lugar de trabajo" (OIT)	5-20 mg/m <sup>3</sup>	12.5

Tomando en cuenta lo anterior obtenemos que producto de la actividad de rotura se generan 6.5mg/m<sup>3</sup>, lo que significa que en total se generarían 1170mg de polvo o material particulado en total.

### **3.2 Aspectos ambientales de metodología de Perforación Horizontal Dirigida o Horizontal Directional Drilling**

#### **3.2.1 Desechos por actividades de rotura, excavación y desalojo**

Para la instalación con PHD de una tubería de PEAD de 700mm se deberá realizar dos excavaciones cada 500m y una excavación entre cada tramo. La primera excavación o excavación de entrada es aquella por donde se comienza el paso de las barras con un ángulo de entrada entre 30 y 45 grados hasta llegar al tramo de inicio donde el trayecto de tubería es paralelo a la calzada. Estas barras de metal tienen longitudes entre 3 y 6m y están conectadas entre si para permitir el halado de la tubería desde la excavación de salida.

*Tabla 7 Dimensiones y volumen total de excavación de entrada. Fuente: Propia*

Dimensiones	m
Ancho	1.5
Profundidad	1
Longitud	5
Volumen (m <sup>3</sup> )	7.5

La segunda excavación o excavación de inicio es aquella por donde comienza el tramo de tubería a instalar.

*Tabla 8 Dimensiones y volumen total de excavación de inicio. Fuente: Propia*

Dimensiones	m
Ancho	1.5
Profundidad	1.8
Longitud	3
Volumen (m <sup>3</sup> )	8.1

La tercera excavación o excavación de salida es aquella por donde se engancha la tubería para el proceso de halado. Esta excavación tiene también la función de ser la excavación de salida del 2do tramo dado que se encuentra en la parte central del trayecto total de la tubería.

*Tabla 9 Dimensiones y volumen total de excavación de salida*

Dimensiones	m
Ancho	2
Profundidad	2
Longitud	6
Volumen (m3)	24

La cantidad de desalojo de material es de 55,2 m<sup>3</sup>. Se necesitarán 4 viajes de volquetas de 15 m<sup>3</sup> para poder desalojar todo el material. Tomando en cuenta que el espesor de la calzada de pavimento rígido es 10 cm el material de concreto desalojado sería de 3,6 m<sup>3</sup> y el resto 51,6 m<sup>3</sup>.

### 3.2.2 Emisiones: ruido ambiente

*Tabla 10 Volumen y tiempo total de excavación sin zanja Fuente: Propia*

	Volumen(m3)	Tiempo (min)	Tiempo (hora)
Ciclo	0.138	0.37	0.01
Total	55.2	401	6.69

Se necesitarán de 6.69 horas de trabajo por parte de la retroexcavadora para desalojar todo el material.

*Tabla 11 Volumen y tiempo total de excavación sin zanja. Fuente: Propia*

	Volumen(m3)	Tiempo (hora)
Jornada	32.5	8
Total	3.6	2

Se necesitarán de 2 horas de trabajo por parte de la retroexcavadora con martillo hidráulico para la rotura del pavimento rígido de todas las excavaciones del proceso sin zanja.

### **3.2.3 Emisiones: material particulado**

Para la actividad de rotura del pavimento rígido para las excavaciones del proceso sin zanja, los operadores, trabajadores y pobladores estarán expuestos a material particulado por 2 horas.

Dado que el límite de exposición permisible para la sílice respirable es de 0,05 mg/m<sup>3</sup> por hasta 10 días/hora durante una semana de trabajo común de 40 horas (NIOSH, 1996), en el peor escenario el tiempo de exposición por parte de los trabajadores a este material está dentro del rango con apenas el 5% de exposición.

Tomando en cuenta que producto de la actividad de rotura se generan 6.5 mg/m<sup>3</sup> de polvo, se obtiene que se generan 23.4 mg de polvo o material particulado en total.

## CAPITULO 4

### 4. Análisis de Resultados

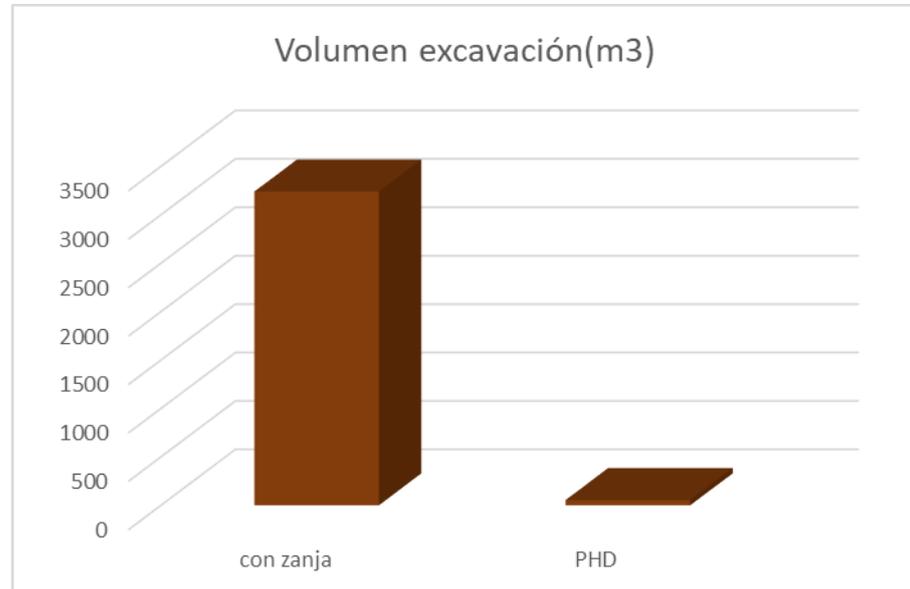


Ilustración 4-1 Volumen total de excavación por método. Fuente: Propia

Los residuos de demolición y construcción (RCD) totales generados del método de instalación tradicional con zanja son de 3240 metros cúbicos superando los 55.2 metros cúbicos generados por el método de perforación horizontal dirigida.

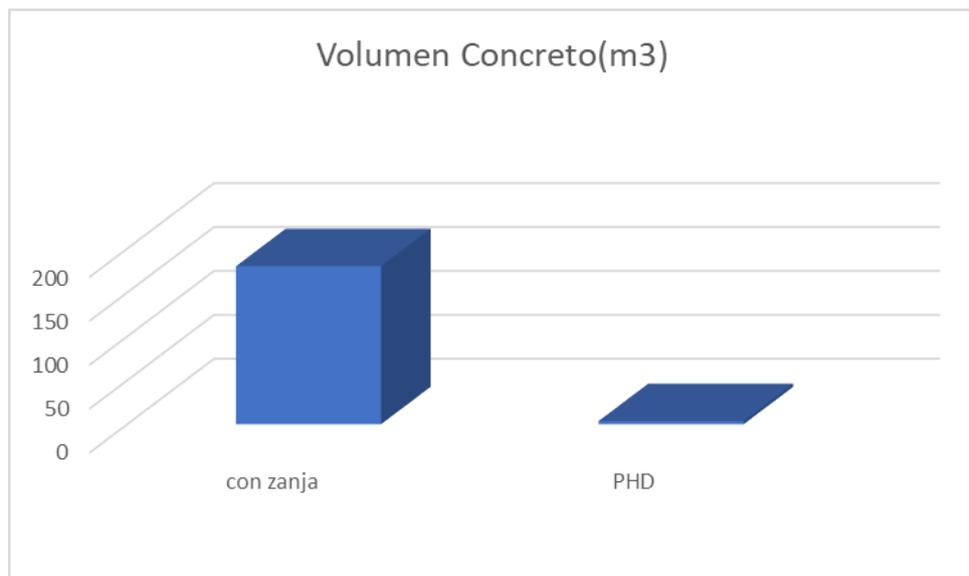


Ilustración 4-2 Volumen de desalojo de concreto por método. Fuente: Propia

Los residuos de demolición de concreto de desalojo generados del método con zanja son de 180 metros cúbicos superando los 3.6 metros cúbicos generados por el método PHD sin zanja.

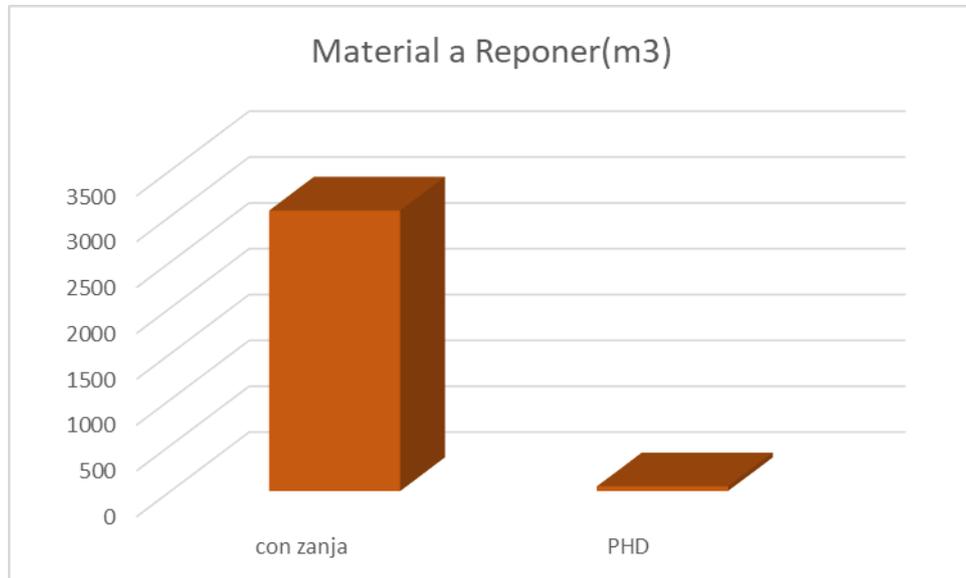


Ilustración 4-3: Volumen de material a reponer por método. Fuente: Propia

El material que se debe reponer producto del método sin zanja es de 3060 metros cúbicos, mientras que el del método PHD sin zanja es de 51.6 metros cúbicos.



Ilustración 4-4 Distribución de material desalojo y concreto en m3 por método con zanja. Fuente: Propia

La distribución de los RCD del método con zanja con respecto al material de desalojo y el concreto que deben ser desechados es del 94% y 6% respectivamente.

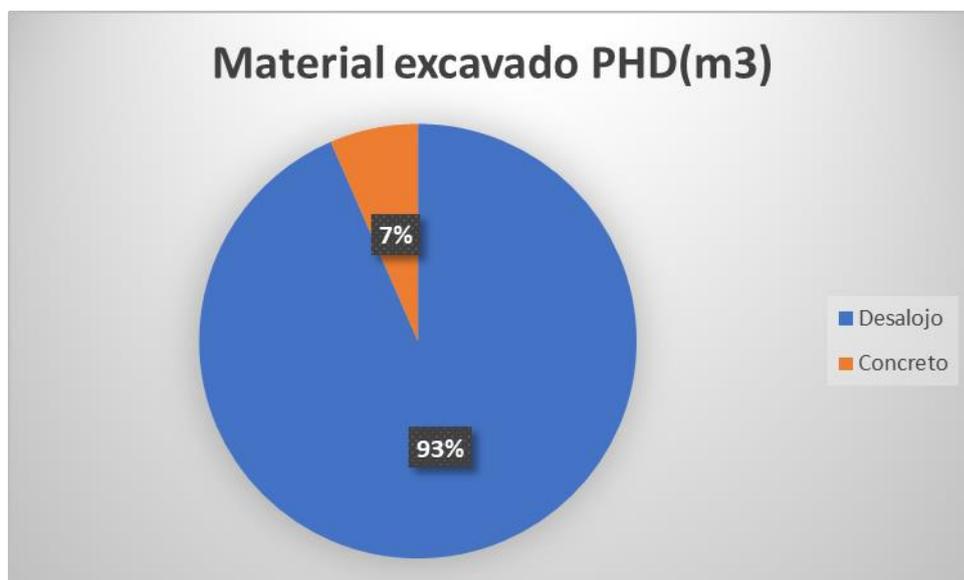


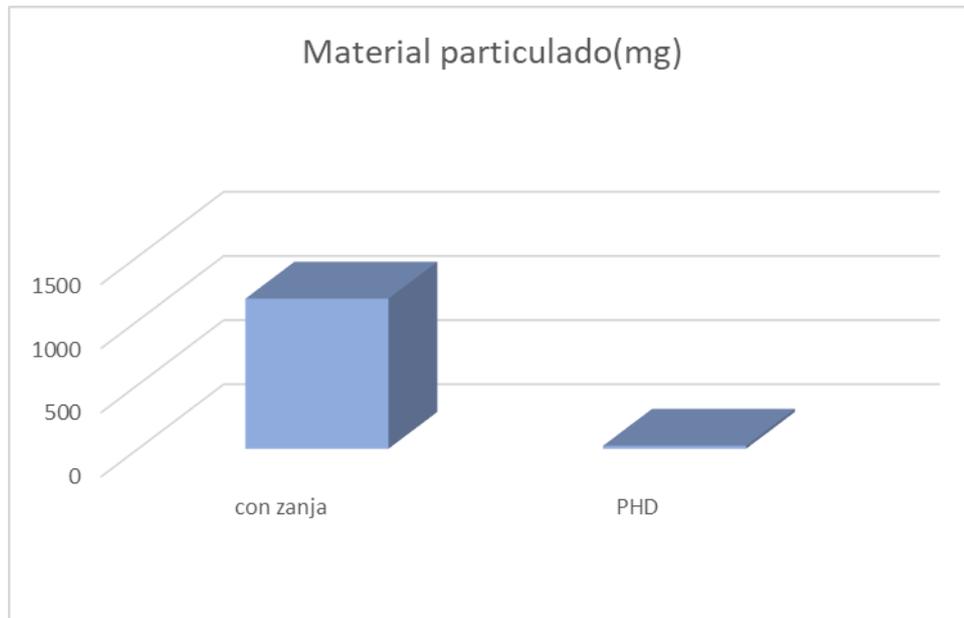
Ilustración 4-5 Distribución de material desalojo y concreto en m3 por método PHD. Fuente: Propia

La distribución de los RCD del método PHD sin zanja con respecto al material de desalojo y el concreto que deben ser desechados es del 94% y 7% respectivamente.



Ilustración 4-6 Tiempo de ejecución de trabajos de excavación y desalojo en horas por método. Fuente: Propia

El tiempo total que tomaría la excavación y desalojo del RCD del método con zanja es de 392.73 horas, mientras que en el método de PHD sin zanja sólo tomaría 6.69 horas.



*Ilustración 4-7 Cantidad de material particulado en mg por método. Fuente: Propia*

La cantidad de material particulado o polvo sílice generado producto de la demolición del pavimento rígido mediante el uso de un martillo hidráulico por el método con zanja es de 1170 mg, mientras que por el método PHD con zanja es de 23.4 mg.

Tanto trabajadores como residentes de los alrededores estarán expuestos al ruido y a la proliferación de material particulado por 392.73 horas durante la ejecución del método con zanja, mientras que durante el método PHD sin zanja la exposición es de 6.69 horas.

El tiempo total que tomaría la excavación y desalojo del RCD del método con zanja es de 392.73 horas, mientras que en el método de PHD sin zanja sólo tomaría 6.69 horas.

La cantidad de material particulado o polvo sílice generado producto de la demolición del pavimento rígido mediante el uso de un martillo hidráulico por el método con zanja es de 1170 mg, mientras que por el método PHD con zanja es de 23.4 mg.

Tanto trabajadores como residentes de los alrededores estarán expuestos al ruido y a la proliferación de material particulado por 392.73 horas durante la ejecución del método con zanja, mientras que durante el método PHD sin zanja la exposición es de 6.69 horas.

De acuerdo al autor los tiempos regulares de rotura de pavimento rígido en obra antes de la excavación son de 2 horas aproximadamente y considerando que el nivel de ruido generado por el martillo hidráulico es de 105 db y el trabajador usando tapones de seguridad obtiene un decrecimiento de 30 db, la exposición al ruido del trabajador es de 65 db, valor que se encuentra dentro del rango permisible.

Considerando un periodo de trabajo 2 horas para la actividad de rotura de pavimento rígido, se necesitan de 197 días en horario laboral para completar el trabajo de instalación con zanja y evitar afectaciones a la salud auditiva de los trabajadores y usuarios.

Para el proceso de instalación con el método de PHD sin zanja y un periodo de 2 horas de trabajo, se necesitan sólo de 4 días para la actividad de rotura de pavimento rígido.

De acuerdo al autor los tiempos regulares de excavación en obra antes de la instalación de la tubería son de 4 horas aproximadamente (medio día) y que el nivel de ruido generado por la retroexcavadora es de 96 db y el trabajador usando tapones de seguridad obtiene un decrecimiento de 30 db, la exposición al ruido del trabajador es de 35 db, valor que se encuentra dentro del rango permisible.

Considerando un periodo de trabajo 4 horas para la actividad de excavación y desalojo, se necesitan de 99 días en horario laboral para completar el trabajo de instalación sin zanja y evitar afectaciones a la salud auditiva de los trabajadores y usuarios.

Para el proceso de instalación con el método de PHD sin zanja, considerando un periodo de 4 horas de trabajo, se necesitan sólo de 2 días para la actividad de excavación y desalojo.

Dado que el límite de exposición permisible para la sílice respirable es de 0,05 mg/m<sup>3</sup> en el peor escenario durante el proceso de rotura de pavimento rígido de la metodología con zanja la exposición de los trabajadores a este material rebasa por 4 horas el límite permisible, mientras con la metodología sin zanja la rotura sólo causa apenas el 5% de exposición al polvo durante todo el proyecto.

*Tabla 12 Límites máximos permisibles de exposición al ruido. Fuente: IESS*

Exposición horas	Ruido (db)
8	85
4	90
2	95
1	100
0.25	110
0.125	115

## **CAPITULO 5**

### **5. Recomendaciones**

Para el proceso de instalación o rehabilitación de tramos o sistemas de tuberías de saneamiento de agua usar el proceso de perforación horizontal dirigida, debido a que genera menos de desechos o RCD, menos proliferación de material particulado o sílice, menos exposición al ruido, menos jornadas de trabajo en actividades como excavación y rotura.

Usar el método de PHD en tramos de tubería uniformes y extensos debido a que se necesitan de grandes excavaciones para poder realizar el paso de las barras y halado de la tubería, lo que dificultaría y ampliaría el intervencionismo del método.

Usar el método de PHD en sectores con presencia alta de urbanismo para evitar afectaciones a los usuarios que habitan en los alrededores del sitio.

Es recomendable el uso del PHD en áreas protegidas o sectores de flora y fauna para así evitar el uso de la excavación con zanja y no intervenir en la alteración del ecosistema.

Para los procesos de rotura de pavimento rígido en la metodología de PHD sin zanja dado que los tiempos de ejecución son menores y la exposición al polvo es mínima se puede aumentar los ciclos de trabajo hasta duplicarlos sin sufrir afectaciones o riesgos a la salud de los trabajadores.

Se recomienda hacer estudios de pre factibilidad o factibilidad previo a proyectos de redes de saneamiento de agua en los Gobiernos autónomos o seccionales para el uso de la tecnología de perforación horizontal dirigida.



## 6. Conclusiones

El método de Perforación horizontal dirigida a comparación del método tradicional con zanja tiene muchas ventajas como, menor tiempo de ejecución siendo un 98% más rápido por lo que su intervencionismo urbano es reducido.

En obras de saneamiento los impactos ambientales del método de PHD son la generación de residuos de construcción, ruido constante por el uso de maquinarias como la retroexcavadora y el martillo hidráulico y la proliferación de material particulado. Estos impactos ambientales son comparativamente menores que el método de zanja y son tolerables dentro de los límites máximos permisibles.

El método de PHD tiene rubros o actividades que se reducen significativamente como perfilado y rotura de pavimento rígido, excavación, desalojo y reposición de material o de pavimento rígido, lo que lo convierte en un proceso económicamente más rentable.

## 7. Referencias

*Piqueras, V. (2016). Aspectos generales de la perforación horizontal dirigida. Obtenido de Curso de Postgrado Especialista en Tecnologías sin Zanja.*

*Flores Castañeda, A. A. (2019). Aplicación del método de perforación horizontal dirigida, para incrementar la productividad de la instalación de líneas de agua en el proyecto de saneamiento Nicolás de Piérola, Santa Clara Sur.*

*Chávez Calderón, A. R., & Huaila Espinoza, B. R. (2020). Estudio de la perforación horizontal dirigida para la mitigación del impacto ambiental del proyecto planta de tratamiento de aguas residuales de Pachacútec, Ventanilla durante el periodo 2020.*

Vera Ruiz, L. E. (2013). *Instalación de tubería bajo vía en servicio mediante perforación horizontal dirigida (PHD)*.

Paniagua Carty, A. A., & Quispe Serpa, H. E. (2017). *Estudio comparativo entre el método de excavación sin zanja y el método de excavación tradicional para el cambio de tuberías de agua potable y desagüe*.

Tito Quea, J. (2019). *“Evaluación de riesgos de Seguridad en la Ejecución de Excavación de Zanjas para Construcción en la Ciudad de Juliaca”*.

BAJAÑA LAURIDO, L. J. (2016). *VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENTRE EL MÉTODO TRADICIONAL (CON ZANJA) Y EL MÉTODO MODERNO (SIN ZANJA) EN LA REHABILITACION DEL ALCANTARILLADO EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL (CASCO COMERCIAL) (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas Carrera de Ingeniería Civil)*.

Martínez, O. J. (2019). *Análisis técnico y factibilidad económica, sistema pipe bursting vs sistema a zanja abierta para renovación de redes de alcantarillado y acueducto*.

Assante Alfaro, D., & Ordinola Allauca, P. F. (2019). *Deficiencias en la instalación de redes colectoras de alcantarillado frente al uso del método tradicional e instalación sin zanja, Zárate, SJL, 2019*.

Carrera Clerque, H. C. (2017). *Perforación horizontal dirigida, en pasos de líneas de conducción de agua potable bajo vías de primer orden (Bachelor's thesis, Quito: UCE)*.

DE PERFORACIÓN, G. P. E. U., DE, M. D. P. I., BAJO, T. O. C. D. P., & OBSTÁCULOS, I. C. D. R. (2012). *GUÍA TÉCNICA GTC COLOMBIANA 231*.

*Buitrago Montañez, W. A. Análisis de la efectividad de los métodos sin zanja (pipe bursting y perforación horizontal dirigida phd) para renovación de redes y cruces viales de redes de acueducto y alcantarillado en Bogotá DC.*

*Vargas Marcos, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. Revista española de salud pública, 79, 117-127.*

*Lezama, J. L. (2001). El medio ambiente como construcción social: reflexiones sobre la contaminación del aire en la Ciudad de México. Estudios Sociológicos, 325-338.*

*Noboa, A. B. (2003). Desarrollo sustentable en la República del Ecuador. Quito: Ministerio de Medio Ambiente.*

*Encinas Malagón, M. D. (2011). Medio ambiente y contaminación.*

*Armijos, M. M., & Montolío, T. S. (2008). Ecosistema Guayas (Ecuador), Medio ambiente y Sostenibilidad. Revista Tecnológica-ESPOL, 21(1).*

*Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. Revista ingeniería de construcción, 29(3), 234-254.*

*Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. Física y sociedad, 13, 30-33.*

*Lockwood, H. (2002). Mecanismos de apoyo institucional para los sistemas rurales de agua potable y saneamiento manejados por las comunidades en América Latina. Environmental Health Project (EHP), Washington, DC (disponible en Internet: [http://www.ehproject.org/PDF/Strategic\\_papers/EHP%20SR-6SPANISH.pdf](http://www.ehproject.org/PDF/Strategic_papers/EHP%20SR-6SPANISH.pdf)).*

*Robledo, F. H. (2013). Riesgos en la construcción. Ecoe Ediciones.*

*Álvarez Londoño, L. J., & Cuellar Castaño, M. A. (2020). Diseño de una guía metodológica facilitadora para el personal de seguridad y salud en el trabajo encargado de la ejecución del plan estratégico de seguridad vial en empresas de la construcción de obras de infraestructura vial (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios).*

*Flores Castañeda, A. A. (2019). Aplicación del método de perforación horizontal dirigida, para incrementar la productividad de la instalación de líneas de agua en el proyecto de saneamiento Nicolás de Piérola, Santa Clara Sur.*

*Álvarez Londoño, L. J., & Cuellar Castaño, M. A. (2020). Diseño de una guía metodológica facilitadora para el personal de seguridad y salud en el trabajo encargado de la ejecución del plan estratégico de seguridad vial en empresas de la construcción de obras de infraestructura vial (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios).*

*Rosales Aquino, J. L. (2018). Análisis comparativo de excavación sin zanjas y excavación convencional para un sistema de red alcantarillado, Calle los Manzanos, San Isidro, 2018.*

*Castaño, J. O., Misle Rodríguez, R., Lasso, L. A., Gómez Cabrera, A., & Ocampo, M. S. (2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. Tecnura, 17(38), 121-129.*

*Suárez, E., & Valdebenito, I. (2008). Evaluación del ruido ambiental en la ciudad de Puerto Montt. In VI Congreso Iberoamericano de Acústica FIA. Buenos Aires, Argentina.*

*Villacís, B., Carrillo, D., & Martínez, A. G. (2011). Estadística demográfica en el Ecuador: diagnóstico y propuesta. Quito: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 1-74.*

*Pablo, M. M. F., & Alvarez, J. L. D. (2022). Rural Renaissance: Acción, promoción y resiliencia. ARANZADI/CIVITAS.*

<https://www.guayaquil.gob.ec/se-habilita-la-av-benjamin-carrion-mora/>

<https://www.expreso.ec/guayaquil/anuncia-nuevo-cierre-avenida-benjamin-carrion-diez-dias-129372.html>

[\*Interaqua rehabilitará 600 kilómetros de tuberías en Guayaquil \(extra.ec\)\*](#)

<https://www.un.org/es/global-issues/water#:~:text=Los%20Desaf%C3%ADos%20Del%20Agua>

## **APÉNDICE A**

### **Tablas anexos**

Material	Factor de llenado (porcentaje de la capacidad colmada del cucharón)
Marga mojada o arcilla arenosa	A — 100-110%
Arena y grava	B — 95-110%
Arcilla dura y compacta	C — 80-90%
Roca bien fragmentada por voladura	60-75%
Roca mal fragmentada por voladura	40-50%

**MANUAL DE RENDIMIENTO DE CATERPILLAR-39**

Modelo	307C	308D CR	308D CR SB	311D LRR	312D, 312D L	315D L	319D L, 319D LN	M312, M313C, M315C, M313D, M315D	M315, M316C, M316D	M318C, M318D	M322C, M322D
Tamaño del cuch.	L 280 yd <sup>3</sup> 0,37	220 0,30	220 0,30	450 0,59	520 0,68	520 0,68	800 1,05	610 0,80	750 0,98	900 1,18	1050 1,37
Tipo de suelo	Tierra compactada						Arena/Grava				
Profundidad de excavación	m 1,5 pies 5'0"	1,8 6'0"	1,8 6'0"	1,5 5'0"	1,8 6'0"	3,0 10'0"	3,0 10'0"	3,0 10'0"	3,0 10'0"	3,0 10'0"	3,0 10'0"
Carga del cucharón	min 0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,09	0,05	0,06	0,06	0,08
Giro con carga	min 0,05	0,03	0,03	0,06	0,06	0,08	0,09	0,05	0,05	0,06	0,06
Descarga del cucharón	min 0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Giro sin carga	min 0,06	0,06	0,08	0,05	0,05	0,06	0,07	0,04	0,04	0,05	0,05
Tiempo total del ciclo	min 0,22	0,21	0,22	0,21	0,21	0,24	0,28	0,17	0,18	0,20	0,23

Modelo	320D	320D RR, 321D CR, 323D	324D	328D LCR	329D	336D	345D	365C L	385C
Tamaño del cuch.	L 800 yd <sup>3</sup> 1,05	800 1,05	1000 1,31	N/A	1100 1,44	1400 1,83	2400 3,0	1900 2,5	3760 5,0
Tipo de suelo					Arcilla dura				
Profundidad de excavación	m 2,3 pies 8	2,3 8	3,2 10	N/A	3,2 10	3,4 11	4,0 13	4,2 14	5,6 18
Carga del cucharón	min 0,09	0,09	0,09	N/A	0,09	0,09	0,13	0,10	0,19
Giro con carga	min 0,06	0,06	0,06	N/A	0,06	0,07	0,07	0,09	0,06
Descarga del cucharón	min 0,03	0,03	0,04	N/A	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03
Giro sin carga	min 0,05	0,05	0,06	N/A	0,06	0,07	0,06	0,07	0,07
Tiempo total del ciclo	min 0,23	0,23	0,25	N/A	0,25	0,27	0,28	0,30	0,35

TABLA 4.4 Tiempos de ciclo  
(CATERPILLAR, 2010)

Activar V  
Ve a Confia