

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO
DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA PARA
SISTEMAS DE AGUA POTABLE UTILIZANDO
TUBERÍAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD**

PRESENTADO POR:

AGUILUZ PÉREZ, JONATHAN EFRAIN

OSORIO PÉREZ, WILLIAM SAMUEL

SOTO BONILLA, ANDREA SOPHIA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO(A) CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2026

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

M.Eng.Ing. CARLOS ALBERTO ESCOBAR FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Grado Modalidad Trabajo de Investigación, previo a la opción

de:

INGENIERO(A) CIVIL

Título:

**EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE
PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA PARA SISTEMAS DE
AGUA POTABLE UTILIZANDO TUBERÍAS DE POLIETILENO DE
ALTA DENSIDAD**

Presentado por:

AGUILUZ PÉREZ, JONATHAN EFRAIN

OSORIO PÉREZ, WILLIAM SAMUEL

SOTO BONILLA, ANDREA SOPHIA

Trabajo de Grado Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. LEDY MARISELA ESQUIVEL DE VALDEZ

San Salvador, enero 2026

Trabajo de Investigación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. LEDY MARISELA ESQUIVEL DE VALDEZ

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecemos a Dios, quien nos ha guiado como equipo en cada etapa de este proceso, dándonos la sabiduría, el entendimiento y la fortaleza necesaria para llegar a la culminación de nuestro trabajo de grado.

Agradecemos profundamente a nuestras familias, quienes con esfuerzo, apoyo y sacrificio nos han permitido llegar hasta este día tan significativo, sin su respaldo incondicional, este logro no habría sido posible.

De manera muy especial, expresamos nuestro sincero agradecimiento a nuestra asesora, Ingeniera Ledy Esquivel, por su paciencia, orientación y acompañamiento durante este largo y exigente proceso de aprendizaje, su apoyo y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

También queremos reconocer a nuestros compañeros, amigos y a todas aquellas personas que han marcado una huella importante en nuestras vidas, siendo inspiración y ejemplo a seguir en este camino académico y personal.

Este logro no es un final, sino el inicio de una nueva etapa llena de retos y metas por alcanzar, confiamos en que cada uno de nosotros sabrá enfrentar con valentía y dedicación los desafíos venideros, y nos deseamos mutuamente los mejores éxitos en el futuro.

DEDICATORIA

Primeramente, dedico este logro a Dios, quien me ha guiado y cuidado en cada paso de mi vida, permitiéndome llegar hasta este día tan especial.

Con todo mi corazón, lo dedico también a mi familia, que con esfuerzo y sacrificio me brindó la oportunidad de cumplir este sueño, elevo mi mirada al cielo en gratitud a una mujer que dedicó su vida a forjar la mía, y cuyo recuerdo vive en cada uno de mis logros; este triunfo es, sin duda, un galardón más en su honor.

De manera muy especial, agradezco a mi esposa, Diana Sorto, quien siempre creyó en mí y me inspira día a día a ser una mejor persona y un mejor profesional.

Finalmente, expreso mi sincero agradecimiento a mis compañeros y amigos, quienes han sido parte fundamental de este camino. Juntos hemos enfrentado pruebas, problemas y dificultades, y gracias a su apoyo el recorrido ha sido más llevadero y enriquecedor.

Jonathan Aguiluz.

DEDICATORIA

En primer lugar, expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. Su presencia me ha dado la sabiduría, la serenidad y la determinación necesarias para superar los desafíos que surgieron a lo largo de mi formación profesional. Sin Su voluntad, este logro no habría sido posible.

A mi abuela y a mi madre, quienes ya no se encuentran físicamente conmigo, pero viven en mi corazón y en mis pensamientos, sus enseñanzas, amor y ejemplo de esfuerzo y dedicación han sido el pilar que me ha sostenido, cada página de este trabajo representa también su legado y el fruto de los valores que me transmitieron a lo largo de todo el tiempo que compartieron conmigo.

A mi tía Sonia, quien ha sido como una segunda madre, le agradezco de todo corazón su cariño, comprensión y apoyo incondicional, su presencia ha sido un faro en los momentos de incertidumbre, brindándome siempre ánimo, apoyo y confianza para seguir adelante.

A mi hermano y a mi hermana, por su acompañamiento constante, sus palabras de aliento y su fe en mis capacidades, han sido un soporte fundamental a lo largo de esta etapa, y su cercanía me ha recordado que los logros son más valiosos cuando se comparten con quienes amamos, a Ingrid Ramírez por la compañía a lo largo de todos los años de estudio por su apoyo incondicional que me otorgo en etapas difíciles de mi vida

A todos, gracias por ser parte de este logro que hoy celebro con gratitud y humildad.

William Pérez.

DEDICATORIA

Dios, gracias por tu amor, tu bondad, y por permitirme sonreír al alcanzar este logro que solo ha sido posible con tu ayuda. Gracias por acompañarme en cada paso del desarrollo de esta tesis.

A mi familia, mi pilar más fuerte, gracias por su apoyo incondicional. Sin ustedes, este triunfo no habría sido posible. A mis queridos Mami Violeta y a mi Papi Roberto, gracias por animarme a no rendirme y por estar presentes en cada momento, brindándome siempre su apoyo moral. A mi hermana Alejandra y a mi sobrino Alejandro, gracias por sus palabras de aliento y por desearme siempre lo mejor. A mi abuelita Marta Alicia, por su constante preocupación, sus oraciones y su amor incondicional. Y a mis perritos Terry y Nala, por acompañarme en las largas noches de desvelo, dándome compañía y alegría. Gracias, mi bella familia, por el amor y el respaldo que me han brindado a lo largo de todo este camino, hasta el día de hoy.

A mis amigos y compañeros de tesis, gracias de corazón. Sé que atravesamos momentos difíciles, pero supimos apoyarnos mutuamente, animarnos y mantenernos firmes en nuestro objetivo. Hoy celebramos juntos este gran logro: hemos culminado nuestras carreras.

Andrea Soto.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	V
DEDICATORIA JONATHAN AGUILUZ.....	VI
DEDICATORIA WILLIAM PÉREZ.....	VII
DEDICATORIA ANDREA SOTO	VIII
INTRODUCCIÓN	XIX
CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	1
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3. OBJETIVOS	8
1.3.1 OBJETIVO GENERAL:.....	8
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	8
1.4. ALCANCES.....	9
1.5. LIMITACIONES.....	10
1.6. JUSTIFICACIÓN	11
CAPÍTULO II.....	12
MARCO TEÓRICO	12
2.1 MÉTODOS DE INSTALACIÓN DE TUBERÍAS PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE	13
2.2 MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO PARA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE AGUA POTABLE.....	37
2.2.1 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	40
2.2.2 PERSONAL NECESARIO	49
2.2.3 TIPOS DE TUBERÍAS QUE SE PUEDEN UTILIZAR.....	52
2.2.4 NORMATIVA PARA MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO.....	54
2.2.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO	55
2.3 MÉTODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA	58
2.3.1 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	64
2.3.2 PERSONAL NECESARIO	79

2.3.3 TIPOS DE TUBERÍAS QUE SE PUEDEN UTILIZAR.....	82
2.3.4 NORMATIVA PARA EL MÉTODO DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA.....	83
2.3.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA.....	86
CAPÍTULO III.....	90
PROCESO CONSTRUCTIVO	90
3.1 MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO.....	91
3.1.1 ESTUDIOS PRELIMINARES	91
3.1.1.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.....	93
3.1.1.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	96
3.1.1.3 ESTUDIOS DE SUELOS	99
3.1.2 TERRACERÍA.....	101
3.1.3 TRAZO DE ZANJA	104
3.1.4 DEMOLICIÓN Y EXCAVACIÓN	105
3.1.4.1 ZONAS URBANIZADAS.....	108
3.1.4.2 ZONAS NO URBANIZADAS.....	109
3.1.4.3 ACOPIO Y DESALOJO DE MATERIAL	110
3.1.5 INSTALACIÓN DE TUBERÍAS	110
3.1.5.1 TENDIDO Y UNIÓN DE TUBERÍAS.....	110
3.1.5.2 PRUEBA DE HERMETICIDAD Y PRESIÓN	123
3.1.6 DESINFECCIÓN DE TUBERÍA	124
3.1.7 RESTAURACIÓN DEL TERRENO.....	128
3.1.7.1 RELLENO Y COMPACTACIÓN	129
3.1.7.2 RECARPETEO Y HABILITACIÓN DEL PASO.....	130
3.1.8 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRA TERMINADA	131
3.2 MÉTODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA	132
3.2.1 ESTUDIOS PRELIMINARES.....	132
3.2.1.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	132
3.2.1.2 ESTUDIOS DE SUELOS.....	133
3.2.1.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	137

3.2.2 DISEÑO DE LÍNEA DE PERFORACIÓN	138
3.2.3 REPLANTEO DE LÍNEA DE PERFORACIÓN.	142
3.2.4 PERFORACIÓN	143
3.2.4.1 PERFORACIÓN PILOTO	143
3.2.4.2 EXPANSIÓN DE PERFORACIÓN PILOTO	147
3.2.5 INSTALACIÓN DE TUBERÍAS	150
3.2.6 PRUEBA DE HERMETICIDAD Y PRESIÓN	157
3.2.7 DESINFECCIÓN DE TUBERÍA	158
3.2.8 RESTAURACIÓN DEL TERRENO	161
3.2.8.1 RELLENO Y COMPACTACIÓN	161
3.2.8.2 RECARPETEO Y HABILITACIÓN DEL PASO.....	163
3.2.9 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRA TERMINADA.....	164
CAPÍTULO IV COMPARACIÓN DE MÉTODOS A TRAVÉS DE UN CASO DE ESTUDIO.....	166
4.1 DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	167
4.2 ANÁLISIS DEL MÉTODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA	168
4.2.1 ESTUDIOS PRELIMINARES.....	169
4.2.2 DISEÑO DE LA PERFORACIÓN	176
4.2.3 REPLANTEO DE LÍNEA DE PERFORACIÓN	177
4.2.4 PERFORACIÓN PILOTO	178
4.2.5 INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	181
4.2.6 PRUEBA DE HERMETICIDAD Y PRESIÓN	185
4.2.7 DESINFECCIÓN DE TUBERÍA	186
4.2.8 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRA TERMINADA.....	187
4.2.9 RESTAURACIÓN DEL TERRENO.....	188
4.3 ANALISIS DEL MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO	189
4.3.1 ESTUDIOS PRELIMINARES.....	190
TERRACERÍA	191
TRAZO DE ZANJA.....	191

4.3.4 DEMOLICIÓN Y EXCAVACIÓN DE ZANJA A CIELO ABIERTO	195
4.3.5 INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO (PVC).....	198
4.3.6 PRUEBA DE HERMETICIDAD Y PRESIÓN	202
4.3.7 RESTAURACIÓN DEL TERRENO	203
4.3.8 DESINFECCIÓN DE TUBERÍA	205
4.3.9 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRA TERMINADA.....	205
4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO Y PLAZO DE EJECUCIÓN.....	206
4.4.1 MÉTODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA.....	206
4.4.1.1 PRESUPUESTO	206
4.4.1.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	208
4.4.2 MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO	209
4.4.2.1 PRESUPUESTO	209
4.4.2.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	211
4.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO Y EL MÉTODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA	212
4.5.1 PROCESO CONSTRUCTIVO	212
4.5.2 COSTOS Y PLAZOS DE EJECUCIÓN	215
4.5.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS PARA AMBOS MÉTODOS	217
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	219
5.1 CONCLUSIONES	220
5.2 RECOMENDACIONES	221
REFERENCIAS	222
ANEXOS	231

ÍNDICE DE TABLAS

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Tabla 1	Tipos de tuberías y procedimientos de instalación utilizadas con el método de zanjas a cielo abierto	16
Tabla 2	Clases de suelo empleado en la instalación de tuberías	18
Tabla 3	Características técnicas del método de instalación de tuberías por medio Microtuneladora	24
Tabla 4	Características técnicas del método de instalación de tuberías por medio de la Perforación Horizontal Dirigida.....	26
Tabla 5	Características técnicas del método de instalación de tuberías por medio de topes neumáticos.....	28
Tabla 6	Características técnicas del método de instalación de tuberías por medio de Tornillo sin - fin.....	33
Tabla 7	Tipos de tubería que se pueden utilizar con el Método de Zanjas a Cielo Abierto	52
Tabla 8	Clasificación de maquinaria para el método PHD	60
Tabla 9	Tipo de tubería que se pueden utilizar en el método PHD	82
Tabla 10	Normas que atienden aspectos de la PHD en México	83
Tabla 11	Ventajas y desventajas del método PHD.....	86
Tabla 12	Diámetro, ancho de zanja y profundidad para excavación de tuberías de agua potable	106
Tabla 13	Valores aproximados de empuje en accesorios en una línea de tubos PVC por cada kg/cm ² de presión hidráulica.....	122
Tabla 14	Valores de resistencia admisible de diversos tipos de terreno	123
Tabla 15	Número de tabletas de hipoclorito de calcio de 5 g necesarias para una dosis de 25 mg/L.....	125
Tabla 16	Cloro necesario para producir una concentración inicial de 25 mg/L en 100 pies (30,5 m) de tubería por diámetro.....	127

Tabla 17 Condiciones del suelo y capacidad de adecuación de la perforación horizontal dirigida.....	135
Tabla 18 Resultados obtenidos con estudio de laboratorio por medio del ensayo SPT para la instalación de tubería de impelencia de Condominios “Las Nubes”	171
Tabla 19 Resumen de excavaciones de trincheras	189
Tabla 20 Ancho de zanja y profundidad de excavación para diferentes diámetros de tuberías.....	192
Tabla 21 Calculo de volumen total de demolición de pavimento.....	197
Tabla 22 Calculo de volumen de excavación para zanja.....	198
Tabla 23 Valores aproximados de empuje en accesorios en una línea de tubos PVC por cada kg/cm ² de presión hidráulica.	200
Tabla 24 Resumen de presupuesto del método de la perforación horizontal dirigida	206
Tabla 25 Resumen de presupuesto del método de zanjas a cielo abierto	209
Tabla 26 Cuadro comparativo general del proceso constructivo del método de perforación horizontal dirigida y zanjas a cielo abierto.....	212
Tabla 27 Cuadro comparativo de equipos utilizados en el método de la perforación horizontal dirigida y el método de zanjas a cielo abierto	213
Tabla 28 Cuadro comparativo de consideraciones técnicas	214
Tabla 29 Principales actividades involucradas en el método de perforación horizontal dirigida y zanjas a cielo abierto	216
Tabla 30 Equipos y recursos necesarios para el método de la perforación horizontal dirigida y zanjas a cielo abierto	217
Tabla 31 ventajas y desventajas del método de la perforación horizontal dirigida y zanjas a cielo abierto	218

ÍNDICE DE FIGURAS

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Figura 1	Métodos de instalación de tuberías para sistemas de agua potable.	13
Figura 2	Procedimiento manual para la excavación de zanja a cielo abierto..	15
Figura 3	Utilización de retroexcavadora para excavar zanja a cielo abierto ...	16
Figura 4	Esquema de excavación con microtuneladora.....	23
Figura 5	Ilustración del Método de la Perforación Horizontal Dirigida.....	26
Figura 6	Equipo de instalación de tubería mediante topes neumáticos	28
Figura 7	Instalación de tubería por medio de topes neumáticos	29
Figura 8	Esquema de paso por debajo de una calle con excavación utilizando topo neumático	30
Figura 9	Esquema general del trazado y de la excavación con tornillo sin fin	32
Figura 10	Equipo del método de instalación de tuberías por medio hincado horizontal de camisas de acero	35
Figura 11	Máquina pala excavadora	41
Figura 12	Máquina retroexcavadora	42
Figura 13	Minicargador (BobCat).....	43
Figura 14	Máquina Zanjadora	44
Figura 15	Camión Volquete Pequeño 14M ³	44
Figura 16	Compactadora manual (Bailarina)	45
Figura 17	Herramienta Azadón	46
Figura 18	Herramienta Piocha	47
Figura 19	Herramienta Pala	47
Figura 20	Herramienta Pala Excavadora	48
Figura 21	Carretilla.....	49
Figura 22	Fase de perforación piloto.....	64
Figura 23	Fase de ensanchamiento del túnel	64

Figura 24 Fase de instalación de tubería	65
Figura 25 Perforadora Horizontal Dirigida Vermeer D24X40	65
Figura 26 Perforadora Horizontal Dirigida D24X40	66
Figura 27 Esquema ilustrativo del sistema de seguimiento de la cabeza de perforación desde la superficie	66
Figura 28 Rastreador y localizador	67
Figura 29 Piloto de plataforma PHD Perforación (Housing).....	69
Figura 30 Tipos de paleta de perforación.....	70
Figura 31 Escariador.....	71
Figura 32 Tipos de paleta de escariadores	72
Figura 33 Máquina soldadora de electrofusión	76
Figura 34 Máquina de termo fusión.....	77
Figura 35 Equipo para realizar levantamiento topográfico	97
Figura 36 Levantamiento topográfico.....	99
Figura 37 Trazado de zanja	104
Figura 38 Demolición de concreto en una zona urbanizada	105
Figura 39 Pasos para la unión de tuberías de PVC-O	112
Figura 40 Pasos para la unión de tuberías de PEAD por electrofusión	115
Figura 41 Pasos a seguir para la unión de tuberías de PEAD por termofusión	117
Figura 42 Pasos a seguir para la unión de tuberías de PEAD por accesorios mecánicos.....	119
Figura 43 Diferentes tipos de anclajes	120
Figura 44 Proceso de levantamiento topográfico y levantamiento de obstáculos	133
Figura 45 Realización de prueba de penetración estándar SPT	135
Figura 46 Esquema de levantamiento de obstáculos superficiales y subterráneos	139

Figura 47 Perfil longitudinal de línea de perforación y obstáculos subterráneos	141
Figura 48 Esquema que muestra los equipos necesarios en la perforación piloto	144
Figura 49 Máquina perforadora en posición de perforación y localización de sonda con localizador (Digitrak).....	145
Figura 50 Localización de transmisor para guiar perforación.....	146
Figura 51 Finalización de perforación piloto	146
Figura 52 Esquema de expansión de la perforación piloto	148
Figura 53 Reamer conectado para iniciar expansión de perforación piloto... ..	149
Figura 54 Máquina hidráulica para termofusión, RITMO Delta 500 Tráiler ...	151
Figura 55 Termofusión de tubería de 20"	152
Figura 56 Esquema de los tiempos del proceso de soldadura.....	153
Figura 57 Termofusión de puller con tubería completa	155
Figura 58 Proceso de acoplar la tubería en Reamer para proceder al halado e instalación de la tubería	155
Figura 59 Tubería instalada en trinchera de salida	156
Figura 60 Ubicación del Proyecto CONDOMINIO "LAS NUBES", en carretera a Comasagua, Distrito de Comasagua, La Libertad Sur	168
Figura 61 Colocación de puntos en el levantamiento topográfico en calle a Comasagua.....	170
Figura 62 Excavación de trinchera de entrada.....	178
Figura 63 Introducción de máquina perforadora en la trinchera de entrada para perforación piloto	179
Figura 64 Localizador Dirgitrak monitoreando en tiempo real la perforación guía	180
Figura 65 Expansión de tuberías utilizando el reamer	181
Figura 66 Proceso de unión de tuberías por el método de termofusión para tuberías de 6" y 4"	183

Figura 67 Proceso de unión de tuberías de PEAD a través del método de electrofusión.....	184
Figura 68 Halado de tubería PEAD para su instalación de 6”	185
Figura 69 Estado actual de carretera que conduce a Comasagua	194
Figura 70 Trazo proyectado para la realización de zanjas a cielo abierto.....	195
Figura 71 Corte en carretera que conduce a Comasagua donde se aprecia el espesor del pavimento.....	196
Figura 72 Corte en pavimento con máquina especialidad para corte de concreto y pavimento.....	197
Figura 73 Realización de prueba de presión a tubería.....	203
Figura 74 Esquema de compactación inicial de la zanja con tubería instalada	204
Figura 75 Cronograma de trabajo del método de la perforación horizontal dirigida	208
Figura 76 Cronograma de trabajo del método de zanjas a cielo abierto	211

INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua potable es esencial para el desarrollo social y económico, pero la creciente urbanización y la antigüedad de las redes hidráulicas plantean grandes retos para su modernización, en El Salvador, el método tradicional de instalación de tuberías mediante zanjas a cielo abierto ha sido la técnica más utilizada, aunque genera impactos negativos como afectaciones al tráfico, altos costos de restauración, tiempos prolongados de ejecución e impactos ambientales significativos.

En este contexto, la Perforación Horizontal Dirigida surge como una alternativa innovadora dentro de las tecnologías sin zanja, ya que permite instalar tuberías subterráneas con mínimas afectaciones a la superficie, al combinarse con tuberías de Polietileno de Alta Densidad, caracterizadas por su resistencia, flexibilidad y durabilidad, se logra una solución más eficiente y sostenible para la conducción de agua potable en áreas urbanas y rurales. Sin embargo, en el país aún existe escasa documentación técnica que sistematice la aplicación de este método en proyectos de infraestructura hidráulica.

El presente trabajo de investigación evalúa de manera integral la implementación de la PHD frente al método tradicional de zanjas a cielo abierto, mediante el análisis técnico, económico y constructivo de ambos procesos. A través de un caso de estudio real, se comparan costos, tiempos de ejecución, ventajas y limitaciones, con el fin de aportar información relevante que sirva como base técnica para proyectistas, instituciones y empresas constructoras. De esta manera, la investigación busca fomentar la adopción de métodos modernos que contribuyan a la sostenibilidad y eficiencia en el desarrollo de los sistemas de agua potable en El Salvador.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

La instalación de tuberías para agua potable a lo largo del tiempo se ha desarrollado por el método tradicional, cuya aplicación consiste en la excavación de una zanja a lo largo de la línea de instalación, donde se coloca la tubería, la que posteriormente se rellena con tierra u otro material para la protección de la tubería instalada.

El rápido crecimiento poblacional y urbanístico en los distintos países del mundo ha incrementado la demanda de servicios públicos, especialmente en lo referente a la instalación de nuevas redes de tuberías y las renovaciones de las mismas. Entre tanto, los impactos urbanos, sociales y ambientales derivados de la ejecución de obras de infraestructura como las redes de agua potable, son cada vez menos tolerados por la ciudadanía; esto ha hecho que la tendencia de aplicar técnicas constructivas no invasivas entre las cuales se encuentran las tecnologías sin zanja, aumente cada día (ABAUNZA, 2011).

La Perforación Horizontal Dirigida PHD (HDD, de su acrónimo en inglés Horizontal Directional Drilling) es un método que utiliza una tecnología sin zanja que se basa en instalar las tuberías de manera subterránea mediante un sistema orientado. Resulta sorprendente que Leonardo da Vinci inventó, en el siglo XV, la primera máquina de perforación horizontal que servía para introducir tuberías de madera. La primera instalación con PHD se realizó en 1971 con una tubería de acero de 180 mm para cruzar el río Pájaro cerca de Watsonville, California (Piqueras, 2015)

La PHD es un método ampliamente conocido en países desarrollados como Japón, Estados Unidos, Alemania, Brasil, entre otros, los cuales iniciaron utilizando el método para diferentes fines como, por ejemplo, Estados Unidos en 1946 realizaba la construcción de túneles para el transporte de gas y petróleo a través de una serie de topes que lograban pasar por debajo de carreteras, ríos y

ferrocarriles. Esta necesidad de transportar gas y petróleo fue quizás lo que más estimuló el uso de estas técnicas en los Estados Unidos (ABAUNZA, 2011).

En Latinoamérica la PHD inició a principios de los años noventa con el auge de la introducción de las telecomunicaciones en las principales ciudades de la región. En Sudamérica, Brasil es uno de los países que tiene más proyectos desarrollados en el área de saneamiento, control de residuos peligrosos y utilizando el método de tecnología sin zanja, al igual que países como Chile y Argentina con proyectos de reemplazo y rehabilitación de redes de infraestructura subterránea enfocados en el sector minero, acueducto y alcantarillados, otros países que se pueden mencionar con la utilización de esta tecnología son Venezuela y Colombia (Castañeda, 2019).

En El Salvador el método más común que se utiliza para la instalación de tuberías de agua potable es el método tradicional de excavación de zanjas a cielo abierto, en cuanto al método de instalación utilizado históricamente se puede mencionar que, entre los años 1965 a 1975 se trabajó con materiales difíciles de manejar, como cañería de junta de plomo, galvanizada y de cobre para ajustar una cañería era necesario cortar sus partes con cincel y almádana; y mientras que para hacer las zanjas los únicos recursos fueron palas y piochas. En 50 años se pasó de excavar pozos y zanjas únicamente con pala y piocha a complejas construcciones a través de maquinaria moderna.

La introducción de la PHD en El Salvador es probable que ocurriera a finales de los 90 y principios de los 2000, por la creciente urbanización y la necesidad de abastecer a más población, mejorando los sistemas de abastecimiento, se inició a adoptar esta nueva tecnología (Castañeda, 2019), sin embargo; es importante aclarar que, esta técnica no es utilizada solo para la instalación de tuberías en sistemas de abastecimiento de agua potable, tal es el caso de la empresa INTREC que en el año 2016 realizó la perforación de 24,000 metros lineales para anclajes en el proyecto TORRE PRESIDENTE en la zona

metropolitana de San Salvador y en el 2018 hizo 10 perforaciones en un talud con una longitud promedio de 93 metros, como parte de obras de mitigación en la acumulación de agua en taludes, trabajo realizado para el FOVIAL, en la Carretera de Oro (INTREC, 2024).

En cuanto a la aplicación de esta técnica en proyectos de agua potable, existen algunos registros de los cuales se pueden mencionar, el caso de la empresa F.V. Underground que en 2021 instaló 1,000 metros de tubería de 6" de polietileno de alta densidad, como línea de impelencia para Plaza Millenium ubicada entre la 71 av. sur hasta la 75 av. Norte (FV UNDERGROUND, 2016).

El Proyecto de Perforación e Instalación de tuberías destinadas para línea de aducción y de impelencia, para agua potable en condominio Las Nubes en Carretera que conduce al Puerto de La Libertad en dirección hacia calle a Comasagua (FV UNDERGROUND, 2016).

Aunque el método de PHD ya se está utilizando en el país, existe muy poca documentación con información de los proyectos realizados; además de carecer de documentación que describa la aplicación del método en cuanto a procedimiento, materiales, ventajas y desventajas, factibilidad y costos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En El Salvador, especialmente en las grandes ciudades como San Salvador, la infraestructura hidráulica subterránea para abastecimiento de agua potable en algunas zonas es muy antigua, además del hecho que, hay una combinación entre diferentes tipos de materiales que conforman las redes, tales como “Hierro Fundido, Acero, Policloruro de Vinilo (PVC), Policloruro de Vinilo Orientado (PVCO), Polietileno de Alta Densidad, Hierro Galvanizado” (ANDA, 2014). Esto obedece a que, con el paso de los años se ha ido dando una sustitución parcial de tuberías, priorizando las zonas más críticas identificadas por el principal prestador del servicio (ANDA); pese a esto, aún no se migra por completo a un sistema donde todas sus tuberías sean recientes y de un material que ofrezca una mayor eficiencia al sistema, las razones pueden ser varias; pero se puede inferir que una de ellas es el hecho que los trabajos necesarios para migrar a un sistema mucho más eficiente (instalando tuberías nuevas y de un material adecuado hidráulicamente hablando), utilizando el método tradicional por zanjas a cielo abierto, trae una serie de complicaciones cuando se desea realizar en zonas urbanizadas, tales como, impacto ambiental, mayores costos y tiempo de ejecución, tráfico vehicular, riesgos para la seguridad de los trabajadores, deficiencias en la calidad del trabajo, reubicación de servicios existentes, restauración del terreno y demolición de tramos de calles, avenidas y carreteras entre otros.

La alta densidad poblacional en las ciudades de El Salvador, generada por un crecimiento muchas veces desordenado, que de acuerdo a datos de (Oficina Nacional de Estadística y Censos, 2007) “presenta una tasa anual de crecimiento del 3.5%”, esto representa desafíos significativos para el desarrollo y mantenimiento eficiente de los servicios de agua potable, debido a que la huella urbana sigue creciendo, lo que conlleva a una mayor demanda de agua potable

y por ende, genera la necesidad de instalar nuevas tuberías para suplir esta necesidad de la población.

De acuerdo a lo anterior, en un entorno donde el crecimiento urbano es rápido y la densidad poblacional crece exponencialmente, minimizar las interrupciones durante la instalación de infraestructura subterránea se vuelve crucial para garantizar la continuidad de los servicios y mantener la calidad de vida de los residentes.

Es evidente que El Salvador afronta un problema crítico en cuanto a la infraestructura subterránea existente para agua potable, ya que en algunas zonas se encuentra en mal estado por el poco mantenimiento y antigüedad de las mismas, lo que se deriva en pérdidas significativas de agua potable y aumento en los costos de mantenimientos, debido a que esto favorece la frecuente ruptura de tuberías, trayendo incomodidades a los ciudadanos debido a los daños físicos en calles y avenidas, así como a la interrupción del servicio mientras se hacen las reparaciones necesarias.

Según los boletines estadísticos de la ANDA la autónoma en 2020 produjo 423.4 millones de metros cúbicos de agua. Solo en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) ascendió a 205.8 millones, 9.7 % más que en 2020, sin embargo, de los más de 400 millones de metros cúbicos producidos en el año 2020, y a pesar de los nuevos proyectos, la ANDA solo facturó 145.5 millones. Esto significa que perdió el 65.7 % en aguas no facturadas. (ANDA, 2020)

La ausencia de la aplicación de tecnologías modernas para la instalación de tuberías contribuye a que no se haya dado una solución efectiva a la problemática actual de pérdidas e ineficiencia en el sistema de las redes existentes de agua potable.

El uso de los métodos de instalación tradicionales, como la zanja a cielo abierto, causan interrupciones severas en las áreas urbanas densamente pobladas, generando molestias significativas para los residentes locales, por la ruptura de calles, la generación de polvo y ruido, entre otros; así como también, afectaciones negativas al medio ambiente por la excavación extensiva y la disposición de grandes volúmenes de suelo. Debido a lo anterior, las soluciones que se implementan se enfocan a ser paliativas y no a solucionar el problema de raíz, para generar la menor cantidad de molestias posibles a la población además de un aparente menor costo de inversión a corto plazo.

La PHD ofrece una solución viable, tanto para la sustitución de tuberías existentes, como para la instalación de sistemas nuevos, al permitir la instalación de tuberías subterráneas con una mínima excavación. Esta tecnología no solo reduce los tiempos de construcción y los costos asociados, sino que también minimiza el impacto ambiental y social al mantener intacta la superficie terrestre y reducir la necesidad de reubicación de servicios existentes.

La utilización del método de perforación horizontal dirigida (PHD) surge como una solución tecnológica decisiva para abordar estos desafíos debido a sus ventajas en términos de impacto ambiental, costo, eficiencia, reducción de interrupciones en las comunidades y tiempos de ejecución, promoviendo además un enfoque más sostenible y eficiente para la instalación de tuberías.

En El Salvador, el uso del método de PHD es una práctica que ya se está utilizando, a pesar que existe muy poca documentación técnica al respecto, esto dificulta su implementación generalizada y estandarizada en el país, por lo que en esta investigación se presenta el método PHD y se compara con el método tradicional de zanja a cielo abierto como una alternativa innovadora para la instalación de tuberías en sistema de agua potable.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la implementación del método de perforación horizontal dirigida para la instalación de tuberías aplicado a sistemas de agua potable como una nueva alternativa utilizando tuberías de polietileno de alta densidad.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Definir las diferencias y similitudes que existen entre el método tradicional de zanjas a cielo abierto y el método de perforación horizontal dirigida para la instalación de tuberías en sistemas de agua potable.
- Realizar el análisis técnico de la implementación del método de perforación horizontal dirigida para la instalación de tuberías, aplicado a sistemas de agua potable.
- Comparar el presupuesto entre el método tradicional de zanjas a cielo abierto y el método de perforación horizontal dirigida para la instalación de tuberías en sistemas de agua potable.

1.4 ALCANCES

- Se presenta el método de perforación horizontal dirigida para la instalación de tuberías en sistemas de agua potable, no se incluyen otros sistemas hidráulicos.
- El análisis técnico que se realiza a la implementación del método de perforación horizontal dirigida tiene un enfoque específico en el proceso constructivo, por lo que no se incluye la etapa de diseño hidráulico.
- En esta investigación se hace una comparación del proceso constructivo, entre el método de perforación horizontal dirigida y el método tradicional de zanjas a cielo abierto, aplicado únicamente a sistemas de agua potable.
- Se realiza una comparación económica y de tiempo de ejecución entre el método tradicional de zanjas a cielo abierto y el método de perforación horizontal dirigida.
- Se define cuál de los dos sistemas presentados es más viable económicamente y en tiempo de ejecución, para un caso de estudio en específico, en la instalación de nuevas tuberías de agua potable.

1.5 LIMITACIONES

- La instalación de tuberías mediante el proceso de perforaciones horizontales dirigidas está orientado solamente a tuberías de polietileno de alta densidad para líneas primarias como por ejemplo líneas de impelencia y cruces de calles primarias y secundarias.
- En El Salvador existen muy pocos trabajos de investigación previa acerca del método de la perforación horizontal dirigida.
- En algunas empresas que utilizan este método tienen el acceso restringido a la información de la implementación del método de perforación horizontal dirigida.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación está orientada a la evaluación del método de la perforación horizontal dirigida para la instalación de tuberías aplicado a sistemas de agua potable, con el objetivo de presentar las múltiples ventajas que conlleva la implementación de este método, a través de una comparación con el método tradicional de excavación de zanjas a cielo abierto y con el fin de hacer un aporte de tipo técnico que permita generar información de relevancia acerca de este método de instalación de tuberías.

La implementación del método de perforación horizontal dirigida combinado con el uso de tuberías de polietileno de alta densidad: Minimizan el Impacto Ambiental, reduce las perturbaciones del entorno natural significa minimizar los impactos negativos que las actividades humanas tienen sobre el medio ambiente durante la ejecución de los proyectos, reduce impacto social que producen los procesos constructivos tradicionales por su naturaleza invasiva, se reduce la interrupción en la vida diaria de las comunidades cercanas, además de ofrecer eficiencia económica, ya que al comparar los costos y beneficios a largo plazo de la PHD frente a los métodos tradicionales se evidencian potenciales ahorros en tiempo, mano de obra y recursos entre otros beneficios.

La investigación detallada sobre la aplicación de la perforación horizontal dirigida en El Salvador de un caso de estudio exitoso proporciona evidencia concreta sobre la eficiencia del método, facilitando la comparación entre la PHD y los métodos constructivos tradicionales en términos de costos y procesos. Esta información proporcionar una base sólida para la toma de decisiones de proyectistas, al ofrecer una base técnica fundamentada que respalda la adopción de tecnologías modernas, contribuyendo así al desarrollo sostenible y a la modernización de las técnicas constructivas en el contexto nacional.

CAPÍTULO II

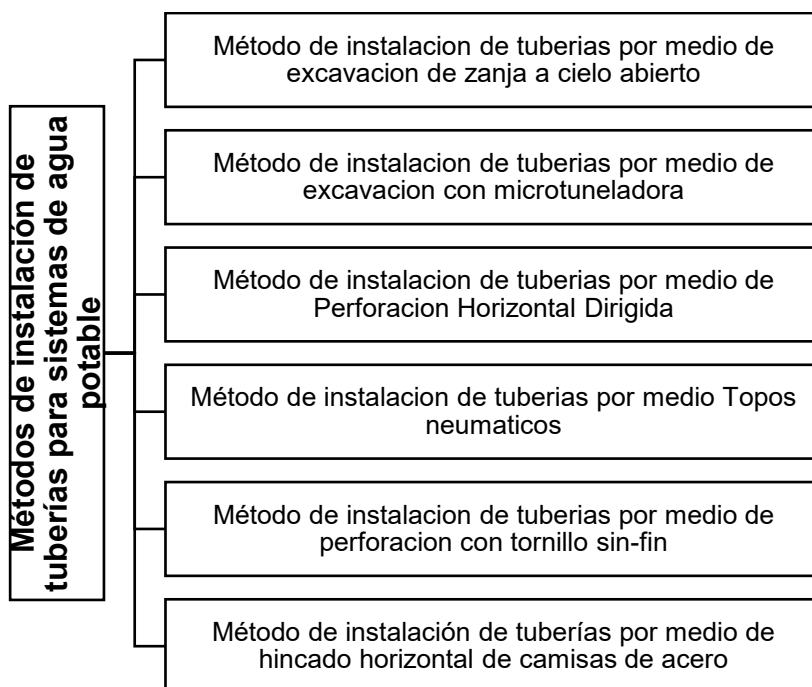
MARCO TEÓRICO

2.1 MÉTODOS DE INSTALACIÓN DE TUBERÍAS PARA SISTEMAS DE AGUA POTABLE

La instalación de tuberías para sistemas de agua potable es el proceso de colocar y conectar las tuberías que transportarán agua limpia desde la fuente de suministro hasta los puntos de consumo, como hogares, edificios, industrias, etc. Existen diversos métodos para la instalación de tuberías en sistemas de agua potable, cada uno adecuado para diferentes condiciones del terreno, el entorno y los requerimientos del proyecto. A continuación, se describen algunos de estos métodos:

Figura 1

Métodos de instalación de tuberías para sistemas de agua potable



Nota: Adaptada de Métodos de excavación sin zanja [Métodos de instalación de tuberías para sistemas de agua potable], de Mínguez Santiago, 2015, https://oa.upm.es/37225/1/Tesis_master_Felicidad_Minguez_Santiago.pdf

MÉTODO DE INSTALACIÓN DE TUBERIAS POR MEDIO DE EXCAVACIÓN DE ZANJA A CIELO ABIERTO

La excavación de zanjas a cielo abierto es un método constructivo que consiste en abrir zanjas en la superficie terrestre a lo largo de la línea de instalación de tuberías. Estas excavaciones permiten colocar las tuberías a la profundidad requerida y posteriormente se rellenan con tierra u otro material para su protección.

Es un método versátil que puede aplicarse en cualquier tipo de suelo, aunque se recomienda realizar un estudio previo para determinar la mejor manera de intervenir el terreno. Este procedimiento, común tanto en áreas urbanas como rurales, facilita el acceso directo para la instalación, inspección y conexión de las tuberías.

Se mencionan dos procedimientos para la excavación de zanjas a cielo abierto:

Procedimiento manual consiste en remover el material del terreno, utilizando herramientas como palas, picos, barras de acero y carretillas ver *Figura 2*, ideal para zanjas poco profundas (menos de 2 metros) o en áreas de difícil acceso para maquinaria. El proceso incluye señalar el área, cortar el terreno manualmente hasta la profundidad requerida y disponer el material extraído a 1 metro del borde o trasladarlo con carretillas. En terrenos blandos, se usan taludes o apuntalamientos para evitar deslizamientos.

Figura 2

Procedimiento manual para la excavación de zanja a cielo abierto



Nota: Fuente Propia

Procedimiento mecánico: utiliza maquinaria pesada como retroexcavadoras ver **Figura 2** para remover el terreno con rapidez y eficiencia. El proceso inicia con un replanteo topográfico que verifica las dimensiones, alineamiento y cotas del proyecto según los planos. Una vez validado el trazo, se procede a la remoción mecanizada del terreno, garantizando el cumplimiento de profundidades, pendientes y anchos definidos en el diseño

La excavación se lleva a cabo removiendo el suelo en capas hasta alcanzar la profundidad requerida. El material extraído se carga en volquetas o camiones de carga para su transporte a sitios de disposición o reutilización. En terrenos inestables, se instala apuntalamiento temporal para prevenir deslizamientos y garantizar la seguridad.

Figura 3

Utilización de retroexcavadora para excavar zanja a cielo abierto



Nota: Fuente Propia

Tabla 1:

Tipos de tuberías y procedimientos de instalación utilizadas con el método de zanjas a cielo abierto.

Tipo de Tubería	Diámetros Comunes	Unión	Procedimiento de Instalación
Tuberías de PVC (Policloruro de vinilo)	2" a 36"	Campana y espiga con juntas de goma, pegamento PVC	Se cortan las tuberías a la longitud requerida, luego se ensamblan con las juntas de goma y pegamento PVC para asegurar una unión estanca. La instalación se realiza con excavaciones manuales o mecánicas.

Tipo de Tubería	Diámetros Comunes	Unión	Procedimiento de Instalación
Tuberías de PEAD (Polietileno de Alta Densidad)	2" a 48"	Termofusión, unión de electrofusión	La tubería de PEAD puede ser unida fuera de la zanja por el método de termofusión con el uso de equipo especializado y luego ser colocado dentro de la zanja o se puede realizar uniones de tramo dentro de la zanja mediante uniones de electrofusión que es cuando se unen mediante calor por electricidad
Tuberías de Hierro Dúctil	4" a 48"	Conexión empuje: Campana espiga, junta mecánica, unión brida	Las tuberías se colocan en zanja y se unen mediante conexión empuje, mediante bridas o junta mecánica. Se requiere el uso de herramientas para asegurar la unión y evitar filtraciones.

Nota. Tomado y adaptado de S.A, Nicoll Peru, (2006), Association, N/A, INTERNATIONAL, N/A, HOLCIM,[Tabla], <https://tutupaca.com/overall/app/productos/TUBERIAS%20DE%20PVC%20OK/MANUAL%20DE%20INSTALACION.pdf>

Cuando se instala una tubería de agua potable, el siguiente paso es realizar la prueba de presión para garantizar la hermeticidad del sistema y verificar que la tubería se encuentre en buen estado. Una vez que la prueba se ha completado con éxito y se confirma que no existen fugas, se procede con el proceso de relleno y restauración. Este paso tiene como objetivo proteger la tubería, asegurar la estabilidad del terreno circundante y devolver el área intervenida a su estado original.

Prueba de presión: Es un proceso para asegurarse que la tubería no tiene fugas y puede soportar la presión para la que fue diseñada.

Para realizar la prueba de presión, primero, se sellan los extremos de la tubería utilizando tapones, tapaderas ciegas o válvulas para evitar que escape el

agua durante la prueba, luego, se llena completamente la tubería con agua. Una vez llena, se aplica presión con una bomba o compresor, aumentándola hasta alcanzar un nivel superior al que la tubería trabajará normalmente. Después, se deja la tubería bajo presión durante un tiempo determinado, 30 minutos para observar si la presión se mantiene estable, si la presión disminuye, es indicio de que existe una fuga. En ese caso, se inspecciona toda la tubería para localizar posibles fugas, como goteras o burbujas de aire, y se procede a repararlas. Finalmente, si la presión se mantiene constante y no se detectan fugas, la tubería pasa la prueba y está lista para su uso. Este proceso asegura que la instalación sea segura y funcione correctamente.

Relleno de la Zanja

Para el relleno compactado sobre tuberías de agua potable es posible utilizar suelo que cumpla con las características de acuerdo a la **Tabla 2** adaptada de la norma ASTM D2321-11 “Práctica estándar para las instalaciones de tubos termoplásticos para drenaje y otras aplicaciones de flujo a gravedad”.

Tabla 2

Clases de suelo empleado en la instalación de tuberías

Clase de suelo	Clases de suelo empleando ASTM D2321-11				
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
Grupo de suelo	Los materiales de clase I proporcionan la máxima estabilidad y soporte de la tubería para un porcentaje	Los materiales de Clase II, al compactarse, proporcionan un nivel relativamente alto de soporte	Los materiales de Clase III proporcionan un soporte para un porcentaje de compactación dado	Los materiales de Clase IV requieren una evaluación geotécnica antes de su uso. El contenido de	Los materiales de clase V deben excluirse del empotramiento en la zona de la tubería.

Clases de suelo empleando ASTM D2321-11					
Clase de suelo	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
	de compactación determina do gracias a su bajo contenido de arena y finos.	para tuberías	que los materiales de Clase I o Clase II.	humedad debe ser casi óptimo para minimizar el esfuerzo de compactación y lograr el porcentaje de compactación requerido	
Base	Apropiado como encamado y para reemplazar sobre excavaciones y fondos de zanja inestables.	Apropiado como encamado y para reemplazar sobre excavaciones y fondos de zanja inestables. Colocar y compactar en capas no mayores a 30 cm.	Apropiado para reemplazar sobre excavaciones en el fondo de la zanja. Colocar y compactar en capas no mayores a 15 cm.	Apropiado para reemplazar sobre excavaciones en el fondo de la zanja. Colocar y compactar en capas no mayores a 15 cm.	No aceptables Como materiales de relleno en zanjas.
Compactación del material de relleno	A volteo.	85% Proctor Std.	90% Proctor Std.	95% Proctor Std.	

Nota. Adaptada de norma ASTM D2321-11 “Práctica estándar para las instalaciones de tubos termoplásticos para drenaje y otras aplicaciones de flujo a gravedad”.

El relleno es esencial para proporcionar un desempeño estructural adecuado a la tubería, para el relleno inicial deben colocarse desde el lomo hasta 30 cm por encima del tubo en diámetros de hasta 42 pulgadas, y hasta 60 cm sobre el lomo para diámetros de 48 y 60 pulgadas, con el fin de garantizar la rigidez necesaria del sistema suelo-tubo. Para este relleno, se pueden utilizar materiales clase I, II, III o IV, incluyendo el material producto de excavación siempre que cumpla con las especificaciones de estas clases. La compactación del relleno inicial se realiza con equipo ligero, como pisón de mano, en el relleno final se permite el uso de maquinaria como la bailarina, en capas máximas de 30 cm para las clases I y II, y de 15 cm para las clases III y IV. Los niveles de compactación requeridos, según la prueba Proctor, son: clase I sin compactación, clase II al 85%, clase III al 90% y clase IV al 95% del Proctor Estándar, asegurando un contenido óptimo de humedad para lograr la estabilidad y resistencia necesarias. (ASTMD2321-11)

Restauración del terreno:

La restauración superficial del terreno es crucial después de la instalación de una tubería de agua potable, busca devolver el área intervenida a su estado original o mejorarlo, garantizando la funcionalidad, estética y sostenibilidad ambiental. A continuación, se detalla cómo se realiza este proceso en zonas urbanas y rurales.

La restauración superficial del terreno en áreas urbanas implica devolver el área intervenida a su estado original o mejorarlo. En primer lugar, se reconstruyen las aceras y cordones cuneta, asegurando que cumplan con los

estándares de accesibilidad y diseño urbano, finalmente, se revisa y restaura el sistema de drenaje superficial para garantizar su correcto funcionamiento, evitando así la acumulación de agua y posibles inundaciones que puedan afectar la infraestructura o la seguridad de la zona. Al final se realiza la pavimentación, utilizando materiales similares a los originales, como asfalto, concreto o adoquines, para reconstruir calles, aceras o áreas pavimentadas afectadas por la excavación.

La restauración superficial del terreno en áreas rurales o naturales se enfoca en recuperar la vegetación y prevenir la erosión del suelo. Para ello, se siembra césped, plantas o árboles nativos.

Ventajas del método de instalación de tuberías por medio de excavación de zanja a cielo abierto de acuerdo a (Flores Castañeda, 2019)

- Es un método ampliamente conocido y utilizado, por lo que existe mucha experiencia y conocimiento técnico disponible.
- No requiere tecnología avanzada ni equipos especializados, lo que lo hace accesible en áreas con recursos limitados.
- Bajo Costo Inicial, las zanjas a cielo abierto suelen tener costos iniciales más bajos, especialmente en proyectos pequeños o de corta distancia.
- Al estar la tubería expuesta durante la instalación, es más fácil inspeccionarla y realizar reparaciones o ajustes antes de rellenar la zanja.

Desventajas del método de instalación de tuberías por medio de excavación de zanja a cielo abierto de acuerdo a (Flores Castañeda, 2019)

- La excavación de zanjas altera el terreno, afectando la vegetación, el suelo y, en algunos casos, los ecosistemas locales.
- En áreas urbanas, el método de zanjas a cielo abierto puede generar múltiples inconvenientes, como molestias por el ruido y el polvo durante la

excavación, así como la interrupción del tráfico vehicular y peatonal, lo que afecta la movilidad y el acceso a servicios públicos como electricidad, gas o telecomunicaciones. Además, requiere la implementación de desvíos y señalización

- Mayor tiempo de ejecución, comparado, el proceso de excavación, instalación y restauración puede ser más lento, especialmente en áreas con infraestructura compleja.
- La excavación de zanjas profundas puede ser peligrosa para los trabajadores, con riesgos de derrumbes o colapsos si no se toman las medidas de seguridad adecuadas.
- No es adecuado para cruzar ríos, carreteras muy transitadas o áreas con infraestructura crítica, ya que la excavación sería demasiado invasiva o costosa.
- Las lluvias intensas o condiciones climáticas adversas pueden dificultar la excavación y aumentar los riesgos de erosión o inundación en la zanja.

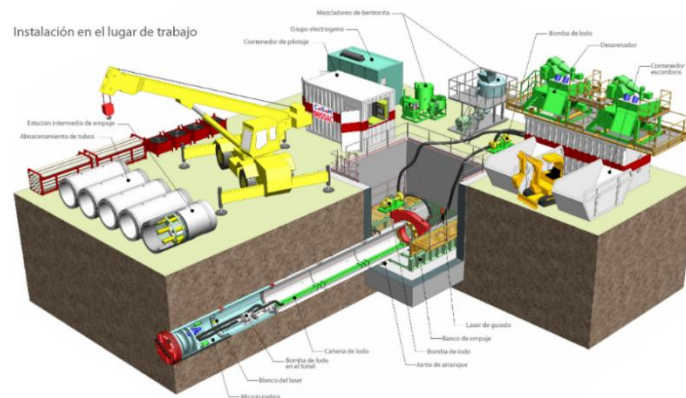
MÉTODO DE INSTALACIÓN DE TUBERÍAS MEDIANTE MICROTUNELADORA

La instalación de tuberías mediante microtuneladora utiliza un sistema de excavación mecanizado diseñado para crear túneles (ver Figura 4 Esquema de excavación con microtuneladora) con diámetros entre 1,000 y 2,500 mm. Este método es parte de las tecnologías sin zanja, lo que significa que minimiza el impacto en la superficie y el entorno. La máquina realiza de manera continua las tareas de arranque, carga, transporte y sostenimiento del túnel mientras instala los tubos prefabricados.

La Microtuneladora tienen aplicaciones en proyectos cortos, con longitudes generalmente menores a 500 m, llegando incluso a tramos de 50 m en pasos bajo carreteras o ríos. La profundidad suele ser menor o igual a 20 m, lo que implica atravesar terrenos geológicamente variados, como macizos rocosos sanos y alterados. (Mínguez Santiago, 2015)

Figura 4

Esquema de excavación con microtuneladora



Nota. Adaptada de evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá, Esquema de excavación con microtuneladora, JORGE ANDRÉS PINZÓN ABAUNZA, 2011, <https://apidspace.javeriana.edu.co/server/api/core/bitstreams/9d6254a9-73ad-4298-9510-def7d29ac1d5/content>

Las tuberías empleadas en el proceso de instalación mediante microtuneladora son de materiales como hormigón, acero, hierro dúctil con diámetros que varían entre 1,000 mm y 2,500 mm. Estas tuberías están diseñadas para soportar las condiciones del terreno y servir como sostenimiento estructural del túnel.

Las tuberías utilizadas son prefabricadas y empujadas desde el pozo de entrada mediante un bastidor hidráulico. Este método asegura una instalación continua y precisa, mientras que las juntas de las tuberías se diseñan

específicamente para garantizar la estanqueidad del sistema y mantener la resistencia estructural necesaria para soportar el túnel.

La instalación comienza con la construcción de pozos de lanzamiento y recepción, que permiten introducir y extraer la microtuneladora. Durante la excavación, la máquina avanza a través del terreno utilizando su cabezal cortador para remover el material, que se extrae mediante bombas de succión o vagones en rieles. Paralelamente, los tubos prefabricados son empujados desde el pozo de entrada para formar el sostenimiento estructural del túnel.

La compactación y relleno de los espacios entre la tubería y el túnel, si quedan huecos, se realiza con morteros fluidos o lechadas de cemento para garantizar estabilidad. No se realiza compactación directa sobre la tubería, ya que el túnel circundante proporciona soporte estructural. Los pozos de lanzamiento y recepción estos se rellenan y compactan en capas de 20-30 cm, utilizando maquinaria como compactadores vibratorios o rodillos.

Tabla 3

Características técnicas del método de instalación de tuberías por medio

Microtuneladora

Características Técnicas para tuberías de hierro	
Diámetros de Trabajo (mm)	150 mm – 1500mm (5 plg – 60 plg)
Aplicación	Para Abastecimiento, Alcantarillados, cables de TV o Teléfono, Gasoductos
Longitud típica de Instalación (m)	Hasta 60 m generalmente

Nota. Tomado de ABAUNZA, (2011)

Ventajas de acuerdo a (ABAUNZA, 2011)

- La perturbación e impacto al suelo es mínimo.
- Se reduce el impacto social, al no intervenir la superficie de manera importante.

- El método funciona muy bien en suelos cohesivos y no cohesivos de comportamiento estable.

Desventajas de acuerdo a (ABAUNZA, 2011)

- El método no funciona con guía
- Se requiere de una previa investigación del terreno debido a que la máquina no aplica a cualquier tipo de suelo.
- Las instalaciones son cortas y los diámetros son pequeños

MÉTODO DE INSTALACION DE TUBERIAS POR MEDIO DE PERFORACION HORIZONTAL DIRIGIDA

La Perforación horizontal dirigida, conocida también como PHD, se basa en instalar tuberías de manera subterránea mediante un sistema orientado, para ello utiliza maquinaria especializada de perforación y un sistema de guiado de tipo electromagnético, compuesto por sonda, receptor en superficie y sensor emisor remoto.

El proceso de instalación de una tubería mediante PHD comienza con estudios preliminares de la zona, los cuales determinan las condiciones del medio y espacio de trabajo y adicionalmente se incluyen aspectos fundamentales a considerar por la naturaleza del proceso y el trazado de la trayectoria de perforación para la línea de conducción deseada (Piqueras, 2015). En general, este método se utiliza fundamentalmente con tuberías de polietileno.

La PHD utiliza varios equipos clave que trabajan en conjunto para garantizar un proceso eficiente y preciso. El equipo principal es la perforadora, que inicia el túnel mediante una broca o cabeza perforadora, controlada por un sistema hidráulico que ajusta la dirección de la perforación. La cabeza perforadora, es guiada mediante una sonda de localización que envía datos de posición y dirección al operador para mantener la trayectoria deseada. Las tuberías de perforación, fabricadas en acero, conectan la perforadora con la

cabeza, transmitiendo rotación, empuje y fluidos de perforación. Estos fluidos, una mezcla de bentonita y agua, son preparados en una tanqueta y transportados mediante una bomba de lodos hacia la perforación para lubricar, estabilizar el túnel y remover el material excavado ver *Figura 5*.

Figura 5

Ilustración del Método de la Perforación Horizontal Dirigida



Nota. Adaptado de Perforación Horizontal Direccional en obstáculos urbanos, ilustración del método de la perforación horizontal dirigida, Fernando Sánchez García, 2019,

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/17148/3/Tesis.pdf>

Tabla 4

Características técnicas del método de instalación de tuberías por medio de la Perforación Horizontal Dirigida

Características Técnicas para tuberías de PEAD	
Diámetros de Trabajo (mm)	102mm – 1000mm (4 plg – 48 plg)
Aplicación	Abastecimiento, Tuberías de gas, cables eléctricos y telefonía, sistemas de riego, etc.

Características Técnicas para tuberías de PEAD	
Tipo de solución	Estructural
Vida Útil	50 años
Longitud típica de Instalación (m)	Mayores a 500 metros.

Nota. Tomada de ABAUNZA, (2011)

Ventajas de acuerdo a (ABAUNZA, 2011)

- Minimiza el impacto ambiental y social.
- Ideal para áreas urbanas, cruces de carreteras, y cuerpos de agua.

Desventajas de acuerdo a (ABAUNZA, 2011)

- Requiere equipos especializados
- Costos iniciales más altos

MÉTODO DE INSTALACION DE TUBERIAS POR MEDIO DE TOPOS NEUMATICOS

El método de topes neumáticos es utilizado para instalar tuberías o cables, principalmente bajo aceras, carreteras u otras estructuras superficiales, sin causar daños significativos. Este sistema emplea un topo o máquina de golpeo que, mediante impactos sucesivos (alrededor de 100 por minuto), avanza a través del terreno con alta productividad, dejando una cavidad circular o túnel a lo largo de la trayectoria en la cual se instala posteriormente el tubo requerido, este método puede ser empleado en suelos ideales de perforación como los son las arcillas y limos.

Dado que los topes tienen un manejo direccional limitado, es crucial planificar previamente la ubicación exacta de la tubería, asegurándose de no interferir con otras redes subterráneas. Aunque el sistema no cuenta con control direccional completo, puede complementarse con herramientas como niveles,

miras topográficas y equipos de monitoreo para garantizar alineación (ver *Figura 6*), profundidad y avance adecuados.

Figura 6

Equipo de topo neumático



Nota. Adaptada de El topo para la instalación de acometidas sin zanjas [Fotografía], por Interempresas, 2019, <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/240273-El-topo-para-la-instalacion-de-acometidas-sin-zanjas.html>

Tabla 5

Características técnicas del método de instalación de tuberías por medio de topos neumáticos

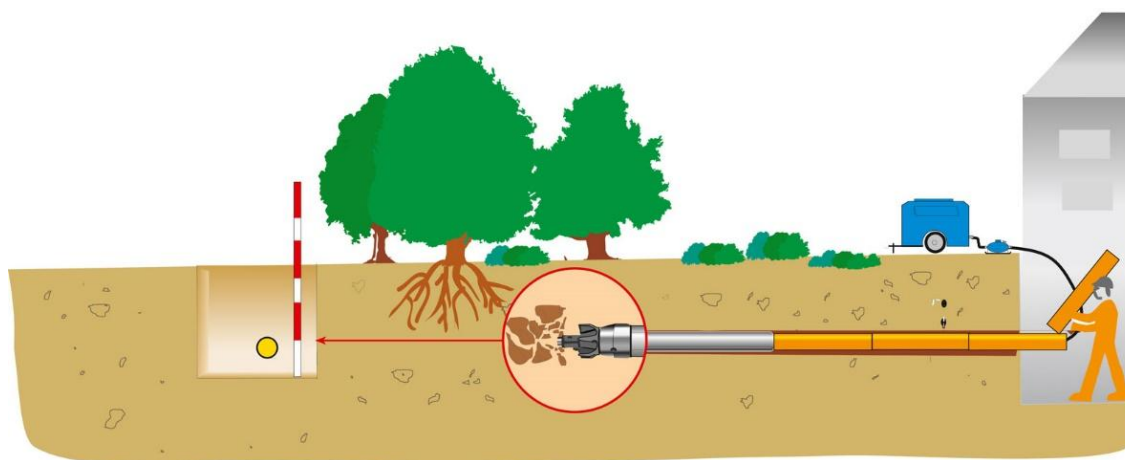
Características Técnicas	
Diámetros de Trabajo	57 mm – 108 mm (2 plg – 4 plg)
Aplicación	Abastecimiento, Tuberías de gas, cables o sistemas de riego
Tipo de solución	Estructural
Vida Útil	50 años
Longitud típica de Instalación (m)	300 m – 1500 m

Nota. Tomado de ABAUNZA, (2011)

El proceso inicia con el posicionamiento del topo neumático en el punto de partida de la perforación. Una vez en funcionamiento, el equipo avanza de manera recta a través del terreno mediante golpes repetitivos, desplazando el suelo alrededor y creando un túnel en el que luego se instala la tubería (ver *Figura 7* y *Figura 8*) generalmente entre 57 mm y 108 mm. Es fundamental definir previamente la profundidad y la alineación de la perforación para evitar interferencias con otras infraestructuras subterráneas.

Figura 7

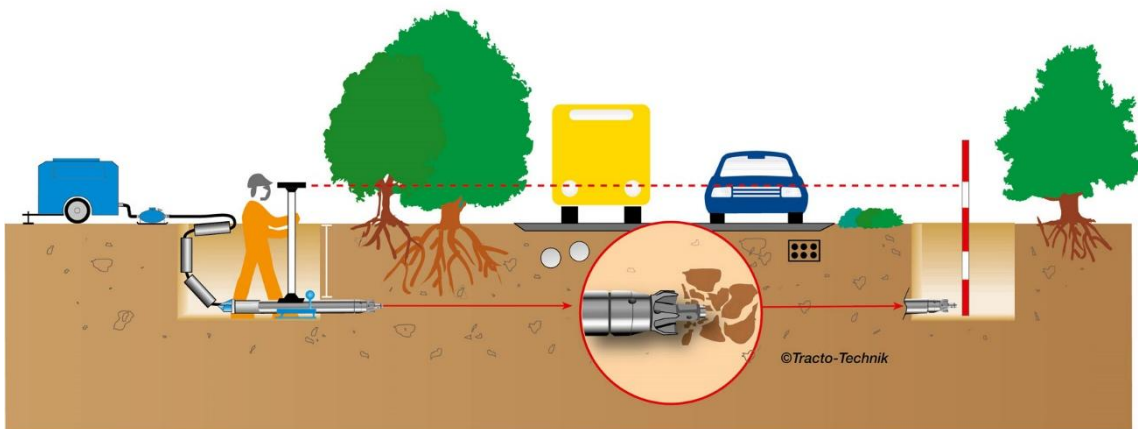
Instalación de tubería por medio de topos neumáticos



Nota. Adaptada de El topo para la instalación de acometidas sin zanjas [Instalación de tubería por medio de topos neumáticos], por Interempresas, 2019, <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/240273-El-topo-para-la-instalacion-de-acometidas-sin-zanjas.html>

Figura 8

Esquema de paso por debajo de una calle con excavación utilizando topo neumático



Nota. Adaptada de El topo para la instalación de acometidas sin zanjas [Instalación de tubería por medio de topos neumáticos], por Interempresas, 2019, <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/240273-El-topo-para-la-instalacion-de-acometidas-sin-zanjas.html>

Dado que este método no requiere zanjas a cielo abierto, el volumen de material excavado es mínimo y no se requiere un proceso extenso de relleno. El espacio alrededor de la tubería instalada puede ser compactado con el mismo material o material granular. En carreteras o aceras, las reparaciones se limitan a los puntos de acceso donde el equipo fue introducido o retirado. Estas zonas son niveladas y reparadas con concreto o asfalto, según corresponda, para garantizar que la superficie quede en condiciones similares a las originales, permitiendo la continuidad del tránsito peatonal o vehicular.

Ventajas de acuerdo a (ABAUNZA, 2011)

- Estos sistemas brindan una buena opción para lugares confinados y con poco margen de error
- Sus diseños los hace simples de usar, simples de colocar y simples de mantener.

- Es un método que por la facilidad en su aplicación no requiere de personal experto.
- Es un método que se encuentra entre los más productivos y versátiles a la hora de instalar tuberías y cables de rango pequeño y mediano.
- Con este método el impacto ambiental y social por perturbación a la superficie es mínimo.

Desventajas de acuerdo a (ABAUNZA, 2011)

- Aunque el método es versátil en la mayoría de suelos, cuando se trata de roca maciza el método no aplica.
- Tiene un rango de aplicación limitado.
- Las longitudes de aplicación no son consideradas como largas.
- Si la operación es inadecuada, y además hay cambios bruscos del terreno es posible cierta desviación de los topos.
- Los topos manejan una mínima opción de giro, por tanto, es importante definir la línea a perforar e igualmente realizar un estudio previo de redes existentes.

MÉTODO DE INSTALACION DE TUBERIAS POR MEDIO DE PERFORACIÓN CON TORNILLO SIN-FIN

La perforación horizontal con tornillo sin-fin, es una tecnología sin zanja, que se utiliza para instalar tuberías metálicas o de hormigón de diámetros entre 100 y 1500 mm en terrenos blandos.

El método comienza con la construcción de un pozo de entrada, cuya profundidad se determina según un estudio previo que identifica la existencia de redes subterráneas. Posteriormente, se instala y configura el sistema digital de guiado para controlar el avance de la perforación. Mediante una grúa, se

desciende el cuerpo de la tuneladora equipada con un tornillo sin fin, verificando su correcto funcionamiento antes de iniciar las operaciones (ver *Figura 9*) Los escombros generados durante la perforación son evacuados a través del tornillo sin fin hacia un vagón de acopio, que los transporta hacia el pozo de entrada para su disposición.

Este proceso se repite de manera continua hasta que la tuneladora alcanza el pozo de salida, donde se desconecta y se extrae nuevamente a la superficie con ayuda de una grúa. Paralelamente, se bajan uno a uno los segmentos prefabricados de tubería, que son instalados e hincados en el terreno mediante el empuje generado por las bases y los gatos hidráulicos ubicados en el pozo de entrada. Se utilizan juntas herméticas, como empaques de goma, para asegurar la estanqueidad y evitar fugas.

Figura 9

Esquema general del trazado y de la excavación con tornillo sin fin



Nota. Adaptada de Métodos de excavación sin zanja [Esquema general del trazado y de la excavación con tornillo sin fin], de Mínguez Santiago, 2015, https://oa.upm.es/37225/1/Tesis_master_Felicidad_Minguez_Santiago.pdf

Una vez instaladas las tuberías, el proceso de relleno comienza con la colocación de material granular limpio, Este material se coloca en capas uniformes y se compacta manualmente para tener una superficie plana y resistente para el equipo a utilizar, este proceso se realiza únicamente en los pozos de inicio y fin del tramo mas no en la línea de instalación la tubería.

Posteriormente, se compacta el resto del material de relleno utilizando equipos mecánicos como planchas vibratoras o rodillos, aplicando capas. El grado de compactación se define según las especificaciones del proyecto y el tipo de suelo, asegurando la estabilidad del terreno.

La restauración de la superficie implica devolverla a su estado original o mejorado. En carreteras, se aplican capas de pavimento que incluyen subbase, base y asfalto; en zonas verdes, se añade tierra vegetal y se restituye la vegetación; y en entornos urbanos, se reparan aceras u otras infraestructuras afectadas. Finalmente, se limpia el área de trabajo y se realiza una verificación final para garantizar que no queden daños en el entorno.

Tabla 6

Características técnicas del método de instalación de tuberías por medio de Tornillo sin - fin

Características Técnicas	
Diámetros de Trabajo (mm)	102mm – 1500 mm (4 plg – 60 plg)
Aplicación	Abastecimiento, alcantarillado y acueducto
Tipo de solución	Estructural
Vida Útil	50 años
Longitud típica de Instalación (m)	Hasta 200 m generalmente

Nota. Tomado de ABAUNZA,(2011)

Ventajas de acuerdo a (ABAUNZA, 2011)

- El método es eficiente en roca y en suelo mixto.
- El método es direccionable
- Maneja un sistema guiado
- Los operarios no requieren de un entrenamiento riguroso y de fondo.

- Los discos cortadores tienen una larga vida y pueden rotarse para optimizar su desgaste

Desventajas de acuerdo a (ABAUNZA, 2011)

- No aplica para uso bajo el nivel freático
- Necesita de un pozo de arranque grande
- Se requiere de un estudio de redes existentes, previo a realizar la perforación.

MÉTODO DE INSTALACIÓN DE TUBERÍAS POR MEDIO DE HINCADO HORIZONTAL DE CAMISAS DE ACERO

El hincado horizontal de camisas de acero, o pipe ramming, es un método de instalación de tuberías sin zanja que permite colocar tuberías de acero bajo infraestructuras como carreteras o vías férreas sin excavaciones abiertas. Se emplea un martillo de impacto (hammer) que golpea la tubería (ver *Figura 10*), hincándola en el suelo. Luego, un compresor de aire a alta presión limpia el interior de la tubería, eliminando residuos. Este método es ideal para terrenos inestables o con cantos rodados, y se utiliza acero debido a su resistencia y ductilidad, lo que permite absorber los impactos sin comprometer la estructura de la tubería.

Las tuberías de acero empleadas en este método suelen tener diámetros que varían desde 4 hasta 84 pulgadas (aproximadamente 102 a 2134 mm).

Figura 10

Equipo del método de instalación de tuberías por medio hincado horizontal de camisas de acero



Nota. Adaptada de evaluación y perspectivas de la utilización de tecnologías sin zanja en redes de alcantarillado de Bogotá, [Fotografía], JORGE ANDRÉS PINZÓN ABAUNZA, 2011, <https://apidspace.javeriana.edu.co/server/api/core/bitstreams/9d6254a9-73ad-4298-9510-def7d29ac1d5/content>

El proceso de hincado de tuberías inicia con la excavación de dos pozos en los puntos de entrada y salida, permitiendo el acceso de la maquinaria y la tubería al terreno, Luego la tubería de acero, previamente soldada y protegida, se coloca en el pozo de entrada y se alinea con el eje y la pendiente del proyecto para que a continuación un martillo neumático, ubicado en la parte posterior de la tubería, aplica golpes repetitivos (entre 180 y 420 por minuto) para introducirla en el terreno hasta la distancia requerida durante este proceso, el material del

suelo puede ingresar a la tubería por lo que una vez finalizado el hincado se realiza una limpieza completa de su interior para eliminar cualquier residuo.

Se retiran los equipos y materiales utilizados en los pozos de entrada y salida se rellenan con el material excavado o con material adecuado, compactándolo en capas para asegurar la estabilidad del terreno, finalmente se restaura la superficie al estado original o según las especificaciones del proyecto, ya sea repavimentando en áreas urbanas o reforestando en zonas rurales.

Ventajas de acuerdo a (ABAUNZA, 2011)

- Este sistema involucra un menor tiempo de puesta en marcha debido a la versatilidad del procedimiento.
- El método funciona en suelos difíciles donde existan pequeños y medianos fragmentos de roca.
- Gracias a los compresores de alta potencia es posible retirar el 100 por ciento material residual que este en la tubería.
- No hay necesidad de estaciones intermedias de empuje.
- Puede operar desde un pozo de apertura o desde la superficie terrestre.
- El impacto a la superficie es mínimo.

Desventajas de acuerdo a (ABAUNZA, 2011)

- Este método está condicionado exclusivamente para tubería de acero.
- Las longitudes que se instalan no son consideradas como largas.
- Se necesitan de camisas de acero.

2.2 MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO PARA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE AGUA POTABLE

Las excavaciones a cielo abierto son aquellas que se realizan encima de la superficie terrestre, en oposición a las excavaciones subterráneas que se hacen debajo de esta. Es un proceso ampliamente utilizado en la minería, la construcción y otros sectores industriales para obtener recursos naturales o para ejecutar proyectos de ingeniería. Implica el movimiento de grandes cantidades de tierra y roca, y sus características principales incluyen el uso de maquinaria pesada para extraer material, una mayor visibilidad y una planificación exhaustiva para garantizar la eficiencia y la protección del entorno circundante.

Esta clase de excavaciones se llevan a cabo bajo condiciones óptimas de ventilación, iluminación y drenaje, empleando técnicas y recursos adecuados para obtener el material deseado. Para realizar excavaciones a cielo abierto, es esencial considerar la estabilidad del suelo, clasificándolo según su tipo y utilizando métodos específicos para cada situación.

En terrenos rocosos o duros, se recurre al uso de explosivos, mientras que en zonas de tránsito se emplean medios mecánicos para excavar. Cuando se encuentran suelos más compactos, la excavación se efectúa manualmente, mientras que, en terrenos fangosos, se utilizan medios de transporte especiales o se procede a desecar la zona (Construcciones Vale S. L., 2023).

Excavación manual para la instalación de tuberías

Es un método tradicional en la que se realiza la remoción de tierra y otros materiales del suelo utilizando herramientas manuales, como palas, piochas, barras y carretillas, en lugar de maquinaria pesada. Este método se emplea principalmente en proyectos pequeños, en áreas de difícil acceso para maquinaria o donde se requiere precisión para evitar daños a servicios subterráneos existentes.

Ventajas:

- Es útil en espacios reducidos o de difícil acceso donde no se puede utilizar maquinaria pesada.
- Permite una mayor precisión en trabajos pequeños o en zonas con obstáculos.

Desventajas:

- Es muy lenta y físicamente exigente.
- No es eficiente para terrenos duros o de gran volumen, y aumenta el riesgo de lesiones por esfuerzo físico.

Usos comunes: Se utiliza principalmente para pequeñas reparaciones, proyectos de baja escala o cuando hay limitaciones de espacio para maquinaria.

Excavación mecánica

Descripción: En este tipo de excavación se emplean máquinas pesadas como retroexcavadoras, excavadoras de oruga, cargadoras o minicargadores bobcat para remover el material del terreno.

Ventajas:

- Mucho más rápida y eficiente que la excavación manual.
- Adecuada para terrenos de tamaño medio a grande y con materiales relativamente suaves.
- Se puede utilizar para diferentes tipos de suelos, desde tierra hasta rocas blandas.

Desventajas:

- En terrenos muy rocosos o duros puede ser necesario usar equipos más especializados.
- Puede generar más impacto ambiental debido al uso de maquinaria pesada.
- Las excavaciones no son muy precisas y requieren de perfilado manual para lograr el ancho requerido.
- Existe un aumento en los volúmenes de excavación y compactación por sobre anchos.

Usos comunes: Es el tipo de excavación más común en proyectos de instalación de tuberías a gran escala en terrenos accesibles.

Excavación mecánica con maquinaria especializada.**Excavación con zanjadora.**

Una zanjadora es una máquina especializada diseñada específicamente para excavar zanjas de manera rápida y eficiente. Se utiliza comúnmente en la instalación de tuberías, cables, drenajes y otros sistemas subterráneos, Tiene una cuchilla o cortadora rotativa que corta el terreno mientras lo va removiendo a continuación se detallan las ventajas y desventajas de utilizar una zanjadora:

Ventajas:

- Permite realizar zanjas con paredes laterales más limpias y precisas, lo que facilita la colocación de las tuberías y minimiza la necesidad de refuerzos.
- Es especialmente útil en proyectos que requieren zanjas largas y rectas, como la instalación de tuberías de agua, gas o fibra óptica.
- Permite el movimiento rápido y controlado del material excavado.

Desventajas:

- La máquina puede ser costosa de alquilar y operar.
- Aunque algunas zanjadoras pueden trabajar en suelos rocosos, su eficiencia disminuye y puede requerir accesorios especiales, lo que aumenta los costos.
- Las zanjadoras tienen limitaciones en la profundidad de excavación, por lo que no son ideales para proyectos que requieren zanjas muy profundas y que el terreno sea material blando o arenoso.

Excavación con una combinación de excavación manual y excavación mecánica

En áreas urbanas o en terrenos pequeños, donde no se puede usar maquinaria pesada de manera continua o en todo el terreno (debido a obstáculos, aceras, edificios, cables o estructuras subterráneas), resulta conveniente usar una combinación entre métodos manuales y mecánicos

En estos casos, se puede utilizar maquinaria pesada (retroexcavadoras o zanjadoras) para excavar en las zonas donde el espacio lo permita, y luego recurrir a la excavación manual en los lugares más restringidos o de difícil acceso, como alrededor de los obstáculos.

Ventajas:

- Aprovechar la rapidez de la maquinaria en áreas más amplias.
- Permitir la precisión y el control en áreas donde la maquinaria no puede operar eficientemente.

2.2.1 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

A continuación, se presentan los tipos de maquinaria más comunes utilizados en excavación:

1. Excavadoras

Las excavadoras son máquinas versátiles y potentes que se utilizan para excavar terrenos y cargar materiales. Cuentan con una cabina giratoria y un brazo articulado que les permite alcanzar y excavar a diferentes profundidades. Además, su pala frontal les permite cargar y transportar los materiales a otros lugares de la obra, para el método de excavación de zanjas a cielo abierto la retroexcavadora se utiliza para la apertura de zanjas lo cual lo puede realizar con la pala mecánica o se puede ser equipada con martillos hidráulicas en caso que el terreno sea rocoso, se utiliza también para despejar el material excavado y dejar una zona en condiciones óptimas de trabajo y posteriormente puede ser utilizada para colocar el material de relleno en la zanja que ha sido excavada.

Figura 11

Máquina pala excavadora



Nota. Adaptado de CATERPILLAR [Fotografía], CATERPILLAR, 2025, https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/excavators/medium-excavators.html

2. Retroexcavadoras

Las retroexcavadoras son máquinas que combinan las funciones de una excavadora y un cargador frontal. Tienen una pala frontal para cargar y transportar materiales, y un brazo articulado en la parte trasera para excavar. Son especialmente útiles en trabajos de excavación en espacios reducidos o en proyectos que requieren movimientos constantes entre la excavación y el

transporte de materiales. Esta maquinaria cumple dos funciones una es que puede excavar zanjas con la excavadora para la instalación y también con su cargador frontal se facilita el movimiento de tierras ya sea para el desalojo del material del área de trabajo o para el relleno de la zanja excavada.

Figura 12

Máquina retroexcavadora



Nota. Adaptado de CATERPILLAR [Fotografía], CATERPILLAR, 2025, https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/excavators/medium-excavators.html

3. Minicargador (BobCat)

El minicargador BobCat es una máquina muy versátil y útil por su tamaño compacto y por tener una variedad de accesorios que pueden ser incorporados al equipo de acuerdo a la necesidad que se tenga, este equipo se puede utilizar para mover material de un lugar a otro, colocar material para el relleno de las zanjas excavadas, transporte de material dentro del proyecto.

Figura 13

Minicargador (BobCat)



Nota. Adaptado de CATERPILLAR [Fotografía], CATERPILLAR, 2025, https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/excavators/medium-excavators.html

4. Zanjadora

La máquina zanjadora es un equipo especializado diseñado para excavar zanjas de manera eficiente y precisa. Este tipo de maquinaria es comúnmente utilizada en la construcción, y puede ser una máquina independiente o un accesorio que se puede instalar a una retroexcavadora o minicargadores BobCat, este equipo puede ser utilizado para la instalación de cables, tuberías, sistemas de drenaje y para otros proyectos en los que se necesiten zanjas de dimensiones específicas.

Las zanjadoras suelen tener una rueda de corte o cadena de corte que se coloca en el frente de la máquina. Esta rueda o cadena está equipada con dientes de acero resistentes que pueden perforar el suelo, removiendo tierra y escombros para crear la zanja

Figura 14 Máquina Zanjadora



Nota. Adaptado de Vermeer [Fotografía], Vermeer México, 2025, <https://vermeermexico.com/segmentos/urbanizacion/zanjadora-de-tuberia/>

6. Camiones volquete pequeño

Los camiones volquete son esenciales en la excavación, ya que se encargan de transportar los materiales excavados desde el lugar de trabajo hasta su destino final. Estos camiones cuentan con una caja basculante que permite descargar fácilmente los materiales en el lugar deseado y así mismo pueden ser utilizados para transportar materiales al proyecto.

Figura 15

Camión Volquete Pequeño 14M³



Nota. Adaptado de Equirec [Fotografía], Equipos Recolectores S.A. DE C.V., 2025, <https://www.equposrecolectores.com/>

A continuación, se presentan los tipos de herramientas más comunes utilizados en excavación:

7. Compactadora manual (Bailarina)

Una compactadora manual, también conocida como *bailarina*, es una herramienta utilizada en la construcción. Su función principal es compactar suelos, grava, arena u otros materiales similares, para hacerlos más sólidos y estables.

En cuanto a su aspecto, la bailarina es generalmente pequeña y portátil. Cuenta con una base rectangular o cuadrada de metal que se coloca sobre el material a compactar. Esta base se mueve hacia arriba y hacia abajo mediante

Figura 16

Compactadora manual (Bailarina)



Nota. Adaptado de RENTAMAX [Fotografía], RENTAMAX, 2025, <https://rentamax.com.ni/categoria-producto/equipos-para-compactacion/> un sistema manual, generalmente una palanca o un manillar. El operario, al mover el manillar hacia arriba y hacia abajo, provoca que la base de la compactadora golpee el suelo repetidamente, logrando la compactación del terreno

8. Azadón

Los azadones son herramientas de excavación de zanjas eficientes y de mango largo con una cara de metal vertical que puede ser utilizada por zanjadoras de todos los niveles de experiencia. Estas herramientas manuales de excavación de zanjas se utilizan para cortar la suciedad y están diseñadas para arrastrar escombros y tierra suelta.

Figura 17

Herramienta Azadón



Nota. Adaptado de AGRIEXPO [Fotografía], AGRIEXPO, 2025, <https://www.agriexpo.online/es/>

9. Piocha

Las piochas cuentan con una cabeza de metal con un extremo puntiagudo y un extremo plano, esta herramienta de excavación de zanjas se utiliza para romper y eliminar piedras, pavimento y concreto, se puede distinguir por su cuchilla ancha y plana que sirve para hacer excavaciones de zanjas y otra puntiaguda similar a un cincel la cual sirve para romper rocas, suelos duros o rocosos, es muy útil para realizar el perfilado de las excavaciones.

Figura 18*Herramienta Piocha*

Nota. Adaptado de AGRIEXPO [Fotografía], AGRIEXPO, 2025, <https://www.agriexpo.online/es/>

10. Pala Plana

Una pala es una herramienta que consiste en una placa de metal con un borde afilado unida a un mango largo, generalmente de madera. Los bordes afilados facilitan la excavación en el suelo. Dado que la placa de metal tiene poca deformación del arado, el suelo no se puede levantar con el arado.

Es una herramienta de mano utilizada para excavar y remover tierra de donde sea necesario.

Figura 19*Herramienta Pala*

Nota. Adaptado de AGRIEXPO [Fotografía], AGRIEXPO, 2025, <https://www.agriexpo.online/es/>

11. Pala Redonda

Una pala es una herramienta que se utiliza para levantar tierra excavada. Es similar a una pala, pero la diferencia entre una pala y una pala es el borde de ataque. La curvatura de la placa de metal de una pala es generalmente más alta que la de una pala, lo que facilita agarrar y levantar la tierra. La pala también se puede utilizar para excavar en suelo blando o arena.

Figura 20

Herramienta Pala Excavadora



Nota. Adaptado de AGRIEXPO [Fotografía], AGRIEXPO, 2025, <https://www.agriexpo.online/es/>

12. Carretillas

La carretilla es una herramienta para transportar diferentes materiales o herramientas, se utiliza para trasportar material como tierra, los escombros en dado caso que se realice una demolición de pavimento o aceras y el trasporte de herramienta que se requiere en la obra.

Figura 21*Carretilla*

Nota. Adaptado de Vaqueiros Ferreteros [Fotografía], Vaqueiros Ferreteros, 2025, <https://www.vaqueiros.mx/>

2.2.2 PERSONAL NECESARIO

Ingeniero Residente

- **Responsabilidad:** supervisar la planificación y ejecución del proyecto, asegurando el cumplimiento de las normativas y estándares vigentes también coordina al personal de trabajo.
- **Habilidades:** Conocimiento técnico planificación, control del proyecto, normativas, control de calidad, capacidad de gestión y coordinación.

Maestro de obra

- **Responsabilidades:** Coordinar el trabajo de los obreros asegurando que se sigan los planos se encarga de la planificación de las actividades de campo diarias y organizar la logística del trabajo en el sitio y la asignación de recursos, el maestro de obra sirve de enlace entre el propietario del proyecto, arquitectos.
- **Habilidades:** Conocimientos Técnicos para el conocimiento de los planos de construcción, procesos constructivos, asignación de recursos (mano de obra) para la ejecución de las actividades.

- **Liderazgo:** Capacidad para liderar equipos de trabajo, motivar a los obreros y manejar conflictos que puedan surgir en el lugar.
- **Organización:** Habilidad para planificar, organizar y gestionar múltiples tareas de manera efectiva.
- **Comunicación:** Buenas habilidades de comunicación para interactuar con el equipo de trabajo y otros interesados en el proyecto.

Cuadrilla Topográfica

- **Responsabilidades:** Realizar mediciones de campo, manejo de equipamiento, registrar y documentar datos recolectados.
- **Habilidades:** Manejo de equipos como estaciones totales, niveles, teodolitos, GPS y drones, entre otros, Manejo de software como AutoCAD, Civil 3D y realización de planos topográficos.

Técnicos de Instalación de Tuberías:

- **Responsabilidades:** Ejecutar la instalación de tuberías, asegurando que se cumplan las especificaciones técnicas y de calidad.
- **Habilidades:** Experiencia en la instalación de tuberías, conocimientos técnicos sobre tipos de tuberías, métodos de conexión y pruebas de presión.

Operadores de Excavadora o Maquinaria Pesada:

- **Responsabilidades:** Excavar las zanjas para la instalación de tuberías, manejar equipos como excavadoras, retroexcavadoras y cargadores.
- **Habilidades:** experiencia en la operación de maquinaria pesada, movimiento de tierra y conocimientos en seguridad operativa.

Trabajadores de Excavación y Zanjas (Auxiliares de obra)

- **Responsabilidades:** Realizar la excavación manual cuando sea necesario, preparar el terreno para la instalación.

- **Habilidades:** Experiencia en trabajos manuales de excavación, conocimientos en técnicas de excavación segura.

Soldador o Técnico de Soldadura (si es necesario):

- **Responsabilidades:** Soldar y unir tramos de tuberías si se requiere este tipo de conexión.
- **Habilidades:** Habilidad en soldadura, conocimientos de los tipos de soldaduras necesarias para tuberías.

Personal de Seguridad:

- **Responsabilidades:** Supervisar las prácticas de seguridad en el sitio, garantizar que se cumplan las normativas de seguridad y que el equipo use el equipo de protección personal (EPP) adecuado.
- **Habilidades:** Conocimiento en normativas de seguridad laboral y prácticas preventivas.

Ayudantes de Construcción:

- **Responsabilidades:** Asistir en diversas tareas relacionadas con la instalación de tuberías, desde la preparación del sitio hasta la manipulación de materiales.
- **Habilidades:** Versatilidad en trabajos manuales, capacidad para seguir instrucciones.

Ingeniero de Control de Calidad:

- **Responsabilidades:** Verificar que la instalación cumpla con lo establecido en planos constructivos, especificaciones técnicas del proyecto y los estándares de calidad a través de la realización de inspecciones, y documentar los procesos.
- **Habilidades:** Conocimientos en control de calidad y procedimientos de inspección.

Coordinador de Tráfico y Señalización:


- **Responsabilidades:** Manejar la señalización y el desvío del tráfico en áreas donde se realizan excavaciones, para garantizar la seguridad de los trabajadores y el flujo de vehículos.
- **Habilidades:** Conocimientos en señalización y control de tráfico.

2.2.3 TIPOS DE TUBERÍAS QUE SE PUEDEN UTILIZAR

A continuación, se presentan los diferentes tipos de tubería que se pueden utilizar en la instalación de tuberías a través del método de zanjas a cielo abierto.

Tabla 7

Tipos de tubería que se pueden utilizar con el Método de Zanjas a Cielo Abierto

Material	Característica	Imagen
Policloruro de Vinilo Orientado (PVCO)	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia al impacto. • Resistencia hidrostática a largo y corto plazo. • Resistencia a la corrosión. • Mayor capacidad hidráulica. • Flexibilidad. • Excelente comportamiento frente al golpe de ariete. • Eficiencia energética. • Menos necesidad de materias primas. 	

Material	Característica	Imagen
Polietileno de alta densidad	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia a ataques químicos. • Resistente. • Duradero. • Ligero. • Flexible. • Costo de producción y procesamiento bajo. 	
Cloruro de polivinilo (PVC)	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia a la intemperie. • Económico. • Ligero. • Duradero. • Versátil. • Rígido. <p>No son propensas a la corrosión.</p>	
Acero	<ul style="list-style-type: none"> • Fuertes. • Firmes. • Duraderos. • Resistentes a cambios extremos de temperatura. • Resistentes a la presión y elementos destructivos. 	
Hierro Fundido Dúctil	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia a la corrosión. • Fácil montaje. • Elasticidad. • Alta elongación. • Resistencia a la tracción. • Tenacidad. <p>Perfecta unión entre tuberías.</p>	

Nota. Las imágenes y la información que conforma esta tabla han sido tomadas de: (*Home | Molecor*, s. f.) , s. f.; (*Gardeneas*, 2017), (*Fichas Técnicas - Durman CAM*, 2023), («*Tubería • Delpin*», s. f.), (*Hierro Dúctil – AquaWorks*, s. f.).

2.2.4 NORMATIVA PARA MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO

- ADMINISTRACION NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS ANDA, NORMAS TECNICAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADOS DE AGUAS NEGRAS.
- ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS ANDA, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA ALCANTARILLADO SANITARIO.
- ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS DE AGUA POTABLE (MATERIALES COMO PVC, HIERRO GALVANIZADO, POLIETILENO, ETC.).
- REQUISITOS PARA LA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL.
- NORMAS INTERNACIONALES ADOPTADAS

En algunos casos, se adoptan normas internacionales como referencia, especialmente cuando no existe una normativa local específica. algunas de las más utilizadas son:

- NORMAS ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS): PARA MATERIALES Y PRUEBAS DE TUBERÍAS.
- NORMAS ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION): PARA SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

- NORMAS ANSI (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE): PARA DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DE TUBERÍAS.
- CRITERIOS PARA CONEXIONES DOMICILIARES Y REDES DE DISTRIBUCIÓN.
- ASTM D638: MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN DEL POLIETILENO.
- ASTM D256: MÉTODO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO.
- ASTM D3350: ESPECIFICACIONES PARA EL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) UTILIZADO EN APLICACIONES COMO TUBERÍAS.

2.2.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO

Ventajas

- Costo inicial bajo, en general la excavación de zanjas a cielo abierto suele ser más económica que otros métodos de instalación con maquinaria especializada. La razón es que no requiere equipos tan complejos y el trabajo es relativamente directo.
- Al ser un proceso abierto, permite fácil acceso a la zanja para trabajos de instalación, mantenimiento y reparaciones. Esto facilita que los operarios puedan ver y acceder rápidamente a las tuberías en caso de necesidad.
- Este método puede aplicarse en una variedad de terrenos y tipos de tuberías. Además, puede ser útil en áreas de fácil acceso donde la maquinaria pesada puede operar sin problemas
- Se requiere bajos niveles de habilidad en los trabajadores.
- Se acomoda a cualquier condición de alineamiento y pendiente del terreno.
- Generan la utilización de más mano de obra no calificada (mayor generación de empleo).

Desventajas

- Las zanjas a cielo abierto pueden causar interrupciones significativas en el tráfico y afectar las actividades diarias de las personas, especialmente en áreas urbanas. Esto puede generar molestias, además de la necesidad de desviar rutas o cerrar carreteras.
- Las condiciones meteorológicas como lluvias intensas pueden dificultar la excavación y complicar el proceso de instalación. Esto puede retrasar el trabajo y aumentar los costos.
- Las zanjas abiertas pueden presentar riesgos de seguridad si no se implementan medidas adecuadas para prevenir desmoronamientos o caídas. Esto puede poner en peligro a los trabajadores o a las personas que pasen cerca del área de trabajo.
- Las zanjas a cielo abierto suelen necesitar una mayor área de trabajo. En áreas urbanas densas o en terrenos limitados, esto puede ser un desafío, ya que la excavación y la ubicación de la maquinaria requieren un espacio considerable.
- Después de la instalación de las tuberías, el área excavada debe ser restaurada a su estado original. Esto incluye el relleno de la zanja, nivelación del terreno y repavimentación si es necesario. Este proceso puede generar costos adicionales y tiempo extra.
- Los grandes volúmenes de tierra requeridos por las obras implican un alto costo de transporte y mano de obra para excavar y mover el material.
- Los costos sociales y económicos de los grandes proyectos de zanjas a cielo abierto como, por ejemplo:

Tipos de costos económicos asociados a la instalación de tubería por el método de excavación a cielo abierto

Costo de la excavación y materiales:

La excavación de la zanja, así como el uso de maquinaria, la compra y transporte de los materiales necesarios (tuberías, material de préstamo para rellenos, maquinaria, etc.), son costos directos asociados a la obra. Dependiendo del tipo de terreno y las condiciones, la excavación puede ser más cara (por ejemplo, en terrenos rocosos o con agua subterránea)

Costo de mano de obra:

La mano de obra es uno de los costos principales en este tipo de instalaciones. Se requiere personal especializado para operar las máquinas, realizar la excavación, instalar las tuberías y restaurar la superficie después de la obra.

Costo por daños en infraestructura existente:

Durante la excavación, pueden dañarse otras infraestructuras subterráneas (como cables eléctricos, drenajes, tuberías de agua potable, etc.), lo cual conlleva costos adicionales para reparar estos daños imprevistos

Costos sociales

Interrupción de la vida diaria y actividades económicas:

Las zanjas a cielo abierto afectan a la comunidad, especialmente en zonas urbanas, al interrumpir el tránsito vehicular y peatonal. Esto puede generar retrasos en los desplazamientos y afectar negativamente la calidad de vida de los habitantes debido a la necesidad de desviar rutas, aumentar el tiempo de transporte y el uso de señalización o barreras de seguridad.

Contaminación y ruidos:

La maquinaria pesada utilizada en la excavación genera ruidos molestos, polvo y vibraciones. Estos impactos afectan tanto a los residentes cercanos como a los comercios y empresas en la zona. En algunos casos, los ruidos y la contaminación pueden generar conflictos sociales al ser demasiado excesivos.

Costos por medidas de seguridad para reducir riesgos para los transeúntes:

Las zanjas abiertas representan un riesgo para la seguridad pública si no están adecuadamente señalizadas. Los accidentes pueden ocurrir debido a caídas en la zanja o contacto accidental con la maquinaria, lo cual puede generar costos sociales relacionados con la salud y seguridad.

Destrucción de áreas verdes o ecosistemas:

En algunos casos, la excavación de zanjas puede afectar áreas naturales, como parques, jardines o zonas ecológicas, lo que impacta negativamente en la calidad del entorno. La alteración de los ecosistemas puede tener efectos negativos a largo plazo, tanto en la biodiversidad como en el bienestar de la comunidad.

Desplazamiento de servicios públicos:

Cuando las zanjas afectan a servicios públicos existentes (agua potable, electricidad, telecomunicaciones), puede ser necesario desplazarlos temporalmente, lo cual genera interrupciones y afecta a los usuarios de estos servicios.

Reacción social y oposición local:

Las obras pueden generar oposición en la comunidad, especialmente si las interrupciones son prolongadas o no se manejan adecuadamente. Los residentes y comerciantes pueden quejarse de los inconvenientes y esto puede generar tensiones sociales, incluso protestas. Las autoridades locales pueden enfrentar desafíos en cuanto a la gestión de estas demandas.

2.3 MÉTODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA

El método de perforación horizontal dirigida (PHD), también conocido como perforación horizontal controlada o perforación dirigida, es una técnica

utilizada para instalar tuberías o cables subterráneos sin necesidad de excavar zanjas largas y profundas. Este método es muy utilizado en proyectos de infraestructura urbana y en la construcción de redes de servicios públicos, como agua, gas, electricidad y telecomunicaciones.

Es una técnica que se utiliza ampliamente en los Estado Unidos de América, la perforación horizontal dirigida (PHD) fue originalmente desarrollada para la industria petrolera en la década de 1970 aunque sus inicios se remontan al siglo XV donde se tiene registro que Leonardo Davinchi invento la primera máquina de perforación horizontal dirigida para la introducción de tuberías de madera. Yepes, 2016. El método se puede describir como un proceso en dos etapas.

En primer lugar, se realiza un sondeo piloto a lo largo de una trayectoria planificada usando tanto el empuje en la plataforma de perforación, como la rotación de las varillas de perforación para avanzar poco a poco en esa dirección. La perforación piloto se va monitorizando y maniobrando por un detector que va recibiendo la señal por una sonda que se encuentra instalada en un portasonda ubicado en la parte de atrás de la broca. Ésta se va guiando de acuerdo a un diseño realizado con anterioridad, y le da los datos necesarios para realizar el cruce sin afectar ningún servicio público existente en el sitio del cruce. El sondeo piloto se perfora con un diámetro de 2.5 a 12.5 cm a lo largo de la línea central del diseño propuesto.

En la segunda etapa del proceso, tras completarse la perforación piloto, se une un retro ensanchador o escarificador, al extremo del agujero de la perforación, seguida del tubo flexible o semi flexible que quiere instalarse. Pueden ser necesarias varias pasadas sucesivas de escarificador o ensanchadores de diferentes tamaños, para instalar la tubería deseada. El tubo se instala a lo largo de una vía que contiene fluido de perforación que se va vertiendo a medida que pasa el ensanchador. El fluido de perforación actúa como

lubricante facilitando el paso de la tubería. Se realiza un seguimiento tanto de la perforación piloto como del proceso de ensanchamiento mediante una sonda de radio que está alojada dentro de la cabeza de perforación. (Mínguez Santiago, 2015).

De manera general, todas las máquinas perforadoras poseen tres funciones principales: rotación (torque), fuerza de empuje y fuerza de tracción. La clasificación estandarizada de estos equipos normalmente se basa en su capacidad de tracción expresada en libras-fuerza, aunque en algunas ocasiones se hace mayor énfasis en su capacidad de torque, expresada en libras-pie. (CASTRO Y GUADARRAMA, 2007).

Actualmente existe una gran variedad de máquinas. Mediante la siguiente clasificación, Yepes 2016, da un estimado de los rangos de parámetros de interés en los que trabajan comúnmente las máquinas perforadoras en los procedimientos PHD.

Tabla 8

Clasificación de maquinaria para el método PHD

Clasificación de máquinas por operatividad y tamaño				
Tipo	Fuerza máxima de tracción/ empuje (lb)	Torque (lb- ft)	Peso (t)	Bombeo (gpm)
Mini	> 40,000	> 4,000	<10	<75
Midi	40,000 – 100,000	4,000 – 20,000	10 – 25	50 – 200
Maxi	>100,000	>20,000	25 – 60	> 200

Nota: Adaptada de Perforación Horizontal Direccional en Obstáculos Urbanos, por Fernando Sánchez García (2019),

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/17148/3/Tesis.pdf>

El método de la perforación horizontal dirigida se divide en tres sub categorías, perforación de pequeño diámetro (mini- HDD), perforación de mediano diámetro (midi- HDD) perforación de gran diámetro (maxi – HDD)

Maxi-HDD:

- **Descripción:** Esta categoría se refiere a los proyectos de perforación más grandes y complejos. Utiliza equipos de perforación con alta capacidad para manejar grandes diámetros de tuberías y distancias largas.
- **Aplicaciones:** Ideal para cruces de grandes ríos, autopistas, y tramos largos en terrenos difíciles. También se usa para proyectos de infraestructura de gran escala, como oleoductos y gasoductos.
- **Características:** Los equipos Maxi-HDD tienen mayor potencia de perforación, capacidad de carga y sofisticación tecnológica. Pueden perforar distancias que superan los 1,000 metros y en algunos casos hasta 3,000 metros o más.

Midi-HDD:

- **Descripción:** Esta categoría se sitúa entre el Mini-HDD y el Maxi-HDD. Los equipos Midi-HDD son versátiles y se utilizan para proyectos de tamaño mediano.
- **Aplicaciones:** Adecuado para instalaciones de tuberías y cables en áreas urbanas, cruces de carreteras y otros terrenos moderadamente difíciles. Puede ser utilizado para instalaciones de servicios públicos como agua, alcantarillado y telecomunicaciones.
- **Características:** Los equipos Midi-HDD tienen una capacidad de perforación intermedia. Generalmente, pueden perforar distancias de hasta 600 a 1,000 metros y manejar diámetros de tuberías medianos.

Mini-HDD:

- **Descripción:** Se refiere a los equipos de perforación más pequeños, adecuados para proyectos de perforación menos exigentes y de menor escala.
- **Aplicaciones:** Ideal para instalaciones de tuberías o cables en áreas residenciales, caminos pequeños y proyectos de telecomunicaciones. Es útil en entornos urbanos densos donde el espacio es limitado.
- **Características:** Los equipos Mini-HDD son compactos y maniobrables, permitiendo perforaciones de distancias cortas y diámetros pequeños, típicamente hasta 100-300 metros, y con diámetros de tubería que varían según el proyecto.

El método de la perforación horizontal dirigida se puede describir como un proceso de cuatro etapas.

a) Estudio previo de la zona de trabajo:

Según Piqueras, 2015 el proceso HDD comienza con un análisis inicial de la zona de trabajo con el fin de seleccionar las características del equipo y materiales. Dado que ningún terreno es similar, se requiere un estudio de suelos a nivel topográfico y geotécnico. Asimismo, se requiere tener conocimiento de posibles interferencias en el subsuelo, utilizando planos, geo-radares u otros para analizar desvíos o trayectos alternos. Finalmente, se deben preparar las zonas de entrada y salida de la perforación, adecuando y asegurando la zona de trabajo de los equipos, en esta etapa inicial existen 2 aspectos principales a considerar:

1. Las condiciones particulares del procedimiento HDD:
 - El tipo de formación del terreno y su integración al modelo de perforación.
 - Los trabajos de mantenimiento constante durante el desarrollo de la perforación.

- El plan de retiro del material de terreno producto de la perforación.
2. La trayectoria de la perforación HDD, debe considerar condiciones hidrológicas y geotécnicas del terreno. Además de definir los ángulos de curvatura y esfuerzos permitidos del equipo de perforación.

b) Perforación piloto o guía:

La perforación piloto o guía, es una perforación de diámetro pequeño que la cual se efectúa por un camino proyectado que ha sido trazado mediante el estudio de suelos y el levantamiento de obstáculos y por donde pasara la tubería, el objetivo de la perforación piloto es determinar la trayectoria que seguirá la tubería al momento de ser instalada.

c) Ensanchado del túnel:

Finalizada la perforación piloto y como muestra la Figura 20, se desmonta el cabezal de perforación y en su lugar se coloca un cono escariador para aumentar el diámetro del túnel de la perforación. Este proceso se realizará en sentido inverso, es decir por tracción, con lo que se progresa en el ensanche la perforación anterior hasta alcanzar el diámetro deseado (Flores Castañeda, 2019).

d) Instalación de la tubería:

Una vez que se haya logrado el diámetro del túnel deseado, se procede a la introducción de la tubería, la cual ya está previamente soldada en su longitud total. Como indica la Figura 22, la tubería alineada se acopla al soporte de perforación introducida en el túnel. A partir de aquí, la perforadora HDD atrae el varillaje a través del túnel, haciendo que la tubería entre poco a poco en el hasta llegar al extremo final de túnel excavado (Flores Castañeda, 2019).

2.3.1 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

En la actualidad existen muchos fabricantes de maquinaria para el método de la perforación horizontal dirigida y en diferentes tamaños de acuerdo a la exigencia del trabajo a realizar y de la sub categoría del método, maxi – HDD, midi – HDD o mini – HDD, en las cuales los equipos van desde las que pueden perforar 70 metros de longitud y 10 centímetros de diámetro hasta maquinaria que puede perforar más de 1 kilómetro de longitud e instalar tuberías de más de 1 metro de diámetro.

Todas las máquinas para el método HDD poseen un soporte que empuja la broca de perforación para la perforación guía para luego efectuar el ensanchamiento de la perforación guía y el halado de la tubería así mismo la maquinaria cuenta con un motor que hace girar la broca de perforación.

Figura 22

Fase de ensanchamiento del túnel

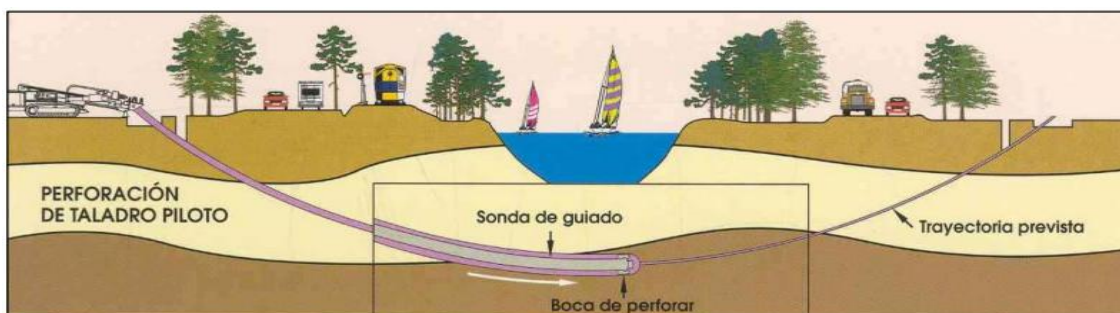


Figura 23

Fase de perforación piloto.

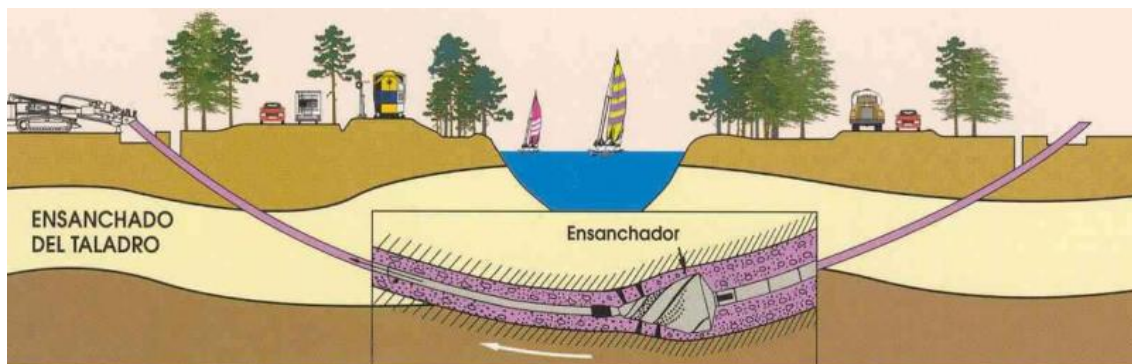


Figura 24

Fase de instalación de tubería



Nota. Adaptado de 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, Fases de instalación de tubería por el método de Perforación Horizontal Dirigida, Flores Castañeda,(2019), https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3313/Aldo%20Flores_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Equipos Principales:

Figura 25

Perforadora Horizontal Dirigida Vermeer D24X40



Nota. Figura 25 adaptada de MANUAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PERFORACIONES HORIZONTALES DIRIGIDAS [Fotografía], AGUILAR, A., & RODRIGUEZ, C. (2022)

Equipos de perforación

Figura 26

Perforadora Horizontal Dirigida D24X40



Nota. Figura 26 adaptada de MANUAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PERFORACIONES HORIZONTALES DIRIGIDAS [Fotografía], AGUILAR, A., & RODRIGUEZ, C. (2022)

Sistema de Localización y Control

- **Sistema de Navegación y Posicionamiento:** Utiliza tecnología GPS y sistemas de navegación para guiar la perforación en la dirección deseada. Los sistemas de localización más avanzados incluyen tecnología de radiofrecuencia o sistemas de comunicación por satélite.

Figura 27

Esquema ilustrativo del sistema de seguimiento de la cabeza de perforación desde la superficie



Nota. Adaptado de Métodos de excavación sin zanjas, Esquema ilustrativo del sistema de seguimiento de la cabeza de perforación desde la superficie, Mínguez Santiago, 2015, <https://oa.upm.es/37225/>.

- **Herramientas de Medición de Dirección (MWD):** Esta herramienta se utiliza para monitorear el azimut de la broca perforadora en tiempo real. El equipo consiste en un transmisor que sigue a la broca de perforación la cual emite una onda electromagnética que es recibida por el receptor donde se indica la posición y orientación de la herramienta de perforación para la verificación de la perforación tal como se puede observar en la *Figura 25*.

Figura 28

Rastreador y localizador



Nota. Adaptado de Falcon-F2-manuel-UK-MOST, Rastreador y localizador, Falcon-F2-manuel-UK-MOST, 2016, <http://www.mostfrance.com/wp-content/uploads/2016/01/Falcon-F2manuel-UK-MOST.pdf>

Sistema de Perforación

Las brocas de perforación son los elementos que permite realizar el túnel de la perforación piloto a su vez lleva un compartimiento donde el cual va insertada la sonda que emite la señal con el cual se lleva controlada la perforación. Existen sin fin de paletas de perforación el mercado de las cual su

uso depende de las condiciones del suelo que se presentan a la hora de la perforación.

Se compone prácticamente de dos elementos que son el cuerpo de la paleta (housing) y las paletas intercambiables (bit) que se sujetan mediante pernos, estos elementos generalmente están hechos de acero de aleación con alto carbono, es importante no generar cambios demasiados bruscos a la hora de la perforación debido que estos pueden dañar los equipos o influir en su desgaste.

Algunas de las características son:

Orificios en la punta del housing: es el que ayuda a mantener lubricado el túnel de perforación y mantiene a baja temperatura la sonda debida que al haber fricción tiende a calentarse.

Compartimiento de sonda: es donde se ubica el transmisor previamente calibrado aislado por dos protectores de caucho para mantenerla fija y ciertamente aislada del acero de la paleta de perforación, así mismo este cuenta con ranuras las que permiten que lleguen la cantidad de señal adecuada hasta la superficie, este elemento cuenta con un sistema de roscas por el cual es sujeta a la máquina con la ayuda de un collar que mantiene fijo y no permite que gire para que se mantenga en la posición en la cual se realizó la calibración.

Paleta de perforación: esta varía según los tipos de suelo y depende de la rapidez y agresividad que se necesite en la perforación.

Figura 29

Piloto de plataforma PHD Perforación (Housing)



Nota. Adaptado de YICHAO, Piloto de plataforma PHD Perforación (Housing)
YICHAO, 2024, <https://www.xcmghddrig.com/es/>.

En el siguiente cuadro se establece el criterio para elegir el tipo de paleta (bit) según el suelo que se tenga en el lugar, según la empresa Vermeer:

Figura 30

Tipos de paleta de perforación

Nombre del producto	Imagen	Condición de suelo	Uso según condición del suelo
Standard Ace		Arena	La Mejor
		Arcilla/Orgánico	La Mejor
		Arcilla/Compactada	Muy Buena
		Roca Suelta/Grava	Muy Buena
		Piedra Arenisca/Toba	Buena
Pro Ace		Arena	Muy Buena
		Arcilla/Orgánico	Muy Buena
		Arcilla/Compactada	La Mejor
		Roca Suelta/Grava	La Mejor
		Piedra Arenisca/Toba	Buena
Premium Ace		Arena	Buena
		Arcilla/Orgánico	Muy Buena
		Arcilla/Compactada	La Mejor
		Roca Suelta/Grava	La Mejor
		Piedra Arenisca/Toba	Buena
Standard Hardfaced		Arena	La Mejor
		Arcilla/Orgánico	La Mejor
		Arcilla/Compactada	Muy Buena
		Roca Suelta/Grava	Buena
		Piedra Arenisca/Toba	No Recomendado
Shark		Arena	Buena
		Arcilla/Orgánico	Muy Buena
		Arcilla/Compactada	La Mejor
		Roca Suelta/Grava	Muy Buena
		Piedra Arenisca/Toba	Buena
Gladiator Saber		Arena	Buena
		Arcilla/Orgánico	Muy Buena
		Arcilla/Compactada	La Mejor
		Roca Suelta/Grava	La Mejor
		Piedra Arenisca/Toba	Buena
Gladiator Spear		Arena	Muy Buena
		Arcilla/Orgánico	Muy Buena
		Arcilla/Compactada	La Mejor
		Roca Suelta/Grava	La Mejor
		Piedra Arenisca/Toba	Buena
Gladiator Mallet		Arena	La Mejor
		Arcilla/Orgánico	La Mejor
		Arcilla/Compactada	Muy Buena
		Roca Suelta/Grava	Buena
		Piedra Arenisca/Toba	Buena
Gladiator Club		Arena	Muy Buena
		Arcilla/Orgánico	La Mejor
		Arcilla/Compactada	Muy Buena
		Roca Suelta/Grava	Muy Buena
		Piedra Arenisca/Toba	Buena

Nota. Adaptadas de MANUAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PERFORACIONES HORIZONTALES DIRIGIDAS, Tipos de paleta de perforación, AGUILAR, A., & RODRIGUEZ, C. (2022),

Escariadores

El escariador es la herramienta encargada de aumentar el diámetro del túnel luego de terminar la perforación piloto llegando al punto donde se jalará el tubo, se realiza el cambio de la paleta de perforación por el escariador y se inicia un proceso de expansión gradual, el tamaño máximo de expansión lo determina el diámetro de la tubería a instalar.

Este proceso se realiza con la ayuda de lodos de perforación que ayudan a lubricar y a transportar los detritos hacia las excavaciones, esta herramienta gira sobre su mismo eje y va siendo halado hacia la máquina en la misma trayectoria en la cual se realizó el túnel con este mismo elemento se realiza el proceso de halado de la tubería para su instalación.

Figura 31

Escariador











Nota. Adaptado de Bore Store, Escariador, Bore Store, 2024, https://borestore.eu/enus/catalog/ultra-x3-drilling-system_ultra-x3325/products/296555372_ultra-x3-325-10-in-25-cm-fluted-reamer-p-x24k-swl

Existen gran cantidad de escariadores en el mercado y su uso depende de las condiciones de suelo existente, la empresa Vermeer ya ofrece una pequeña clasificación sobre como escoger el más adecuado:

Figura 32

Tipos de paleta de escariadores

Nombre del producto	Imagen	Condición de suelo	Uso según condición del suelo
Fluted Reamer		Arena	Buena
		Arcilla/Orgánico	Buena
		Arcilla/Compactada	La Mejor
		Roca Suelta/Grava	La Mejor
		Piedra Arenisca/Toba	Muy Buena
T-Rex Reamer		Arena	Buena
		Arcilla/Orgánico	Buena
		Arcilla/Compactada	Muy Buena
		Roca Suelta/Grava	La Mejor
		Piedra Arenisca/Toba	La Mejor
Mix Master Reamer		Arena	La Mejor
		Arcilla/Orgánico	La Mejor
		Arcilla/Compactada	Muy Buena
		Roca Suelta/Grava	No Recomendado
		Piedra Arenisca/Toba	No Recomendado
Diamond Wing Cutter Reamer		Arena	La Mejor
		Arcilla/Orgánico	La Mejor
		Arcilla/Compactada	Muy Buena
		Roca Suelta/Grava	No Recomendado
		Piedra Arenisca/Toba	No Recomendado
Supreamer Reamer		Arena	La Mejor
		Arcilla/Orgánico	La Mejor
		Arcilla/Compactada	La Mejor
		Roca Suelta/Grava	No Recomendado
		Piedra Arenisca/Toba	No Recomendado
Barrel Reamer		Arena	La Mejor
		Arcilla/Orgánico	La Mejor
		Arcilla/Compactada	Muy Buena
		Roca Suelta/Grava	Buena
		Piedra Arenisca/Toba	Buena
Helical Plus Reamer		Arena	La Mejor
		Arcilla/Orgánico	La Mejor
		Arcilla/Compactada	Muy Buena
		Roca Suelta/Grava	No Recomendado
		Piedra Arenisca/Toba	No Recomendado
Fly Cutter		Arena	Muy Buena
		Arcilla/Orgánico	La Mejor
		Arcilla/Compactada	La Mejor
		Roca Suelta/Grava	No Recomendado
		Piedra Arenisca/Toba	No Recomendado

Nota. Adaptadas de MANUAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PERFORACIONES HORIZONTALES DIRIGIDAS, Tipos de paleta de perforación, AGUILAR, A., & RODRIGUEZ, C. (2022),

Sistema de Hidratación (Lodo de Perforación)

El sistema de hidratación, o sistema de lodo de perforación, es una parte crucial en el método de perforación horizontal dirigida (PHD). Este sistema asegura que el proceso de perforación sea eficiente y seguro al enfriar y lubricar la broca, transportar los recortes de tierra, y mantener la estabilidad del túnel perforado.

Componentes del Sistema de Hidratación:

- **Bomba de Lodo**

Función: La bomba de lodo es esencial para la circulación del lodo de perforación a través del agujero. Bombea el lodo desde los tanques de almacenamiento hasta la broca y a través de los tubos de perforación.

Tipos: Pueden ser bombas de pistón, bombas de desplazamiento positivo, o bombas centrífugas, dependiendo de las necesidades del proyecto.

- **Tanques de Lodo**

Función: Almacenan el lodo de perforación antes de ser bombeado hacia el agujero. Los tanques suelen estar equipados con mezcladores para mantener la consistencia del lodo y evitar la sedimentación de sólidos.

Tipos: Tanques de mezcla, tanques de almacenamiento y tanques de reciclaje.

- **Sistema de Mezcla**

Función: Mezcla el lodo de perforación con los aditivos necesarios para lograr las propiedades deseadas, como la viscosidad y la densidad. Esto puede incluir mezcladores automáticos o manuales.

Aditivos Comunes: Bentonita (para aumentar la viscosidad), polímeros (para mejorar la estabilidad del lodo) y productos químicos para controlar el PH.

- **Tuberías y Mangueras**

Función: Transportan el lodo desde los tanques hasta la broca y devuelven el lodo cargado de recortes a los tanques para su tratamiento.

Características: Deben ser resistentes a la abrasión y a la presión.

Funciones del Sistema de Hidratación:

- **Enfriamiento de la Broca**

El lodo de perforación fluye alrededor de la broca, ayudando a disipar el calor generado por la fricción y el corte del material.

- **Lubricación**

Lubrica las partes móviles del sistema de perforación, reduciendo el desgaste y el riesgo de bloqueos.

- **Transporte de Recortes**

El lodo arrastra los recortes de la perforación hacia la superficie, evitando que se acumulen en la perforación y manteniendo la eficiencia de la perforación.

- **Estabilización de la perforación**

Ayuda a mantener la presión en la perforación y estabiliza las paredes del túnel perforado para prevenir el colapso.

- **Prevención de Fugas**

El lodo actúa como un sellador para evitar que el agua o los fluidos de formación se filtren por la perforación.

Procedimientos de Mantenimiento:

- **Monitoreo Regular:** Se debe verificar continuamente la calidad del lodo y ajustar la mezcla según sea necesario.

- **Limpieza de Equipos:** Los componentes del sistema, como bombas y separadores, deben limpiarse regularmente para evitar acumulaciones y malfuncionamientos.
- **Inspección de Tuberías y Mangueras:** Deben revisarse para detectar desgaste o daños que puedan afectar el flujo del lodo.

Máquina de electro fusión

Las uniones mediante electro fusión requiere un equipo especializado el cual se encarga de aplicar corriente eléctrica a través de una resistencia a diferentes accesorios de electro fusión o uniones de polietileno generando calor y así creando una unión homogénea con los empalmes de la tubería que se desean unir.

El procedimiento a seguir en la mayoría de instalaciones de accesorios electro fundidos es el siguiente:

Preparación: se verifica que las caras de la tubería a someter a una unión no tengan ninguna ralladura demasiado grande que puedan afectar la instalación de la unión.

- **Raspar:** se realiza un raspado de los extremos de la tubería a unir para eliminar cualquier elemento contaminante que pueda perjudicar la unión posteriormente se limpia con alcohol y con un paño que no deje ningún tipo de residuos.
- **Alineación:** se procede a revisar que las puntas de la tubería a someter a unión queden alineadas, para luego someter la unión a corriente eléctrica.
- **Soldadura:** se conecta al suministro eléctrico la máquina encargada del electro fusión para luego conectar las terminales que van alimentar las bobinas de la unión, se lee el código de barras que traen las uniones y se inicia el proceso de soldadura.

Figura 33*Máquina soldadora de electrofusión*

Nota. Adaptada Máquina soldadora de electrofusión de la marca RitmoElektra, tomada de (elektra light | Conductos de Presión | RITMO | Fittings Machines Manufacturing),2024, <https://www.ritmo.it/en/products/electrofusion-3/elektra-line-pressure-fittings/elektra-light/>

Máquina de termo fusión en tubería de polietileno

La termo fusión se basa en el calentamiento de la superficie del polietileno hasta llevarlo a su punto de fusión y mediante la presión ejercida previamente calculada se encarga de crear una unión a tope que resulta ser hasta mucho más resistente que las otras partes de la tubería debido que se aumenta el diámetro del tubo a causa de los labios generados durante el proceso. La estructura molecular del polietileno cambia durante la aplicación de calor esta cambia de solida a liquida así generando una mejor adherencia que durante su enfriamiento vuelve a su etapa sólida creando una unión más resistente que soporte las diferentes fuerzas aplicadas a la tubería ya sea de presión o tensión.

Cada una de las diferentes máquinas de fusión a tope que se utilizan para crear uniones mediante termo fusión cumple con las siguientes funciones principales:

- **Sujeción:** es la que se encarga de fijar la tubería para alineación para hacer una unión adecuada.
- **Refrentadora:** tiene la función de rebajar las caras de la tubería para crear una superficie limpia y a escuadra para que la tubería coincida a la hora de la fusión.
- **Calentamiento:** deberá contar con el área suficiente para que queden de manera adecuada las caras de la tubería con una superficie antiadherente que no se pegue la tubería durante el calentamiento.
- **Alineación:** consta de un elemento estático y otro móvil que ayudan a nivelar y alinear la tubería para evitar una mala fusión.
- **Unión:** ya sea una máquina manual o hidráulica se debe conocer los parámetros adecuados de unión que dictan la norma ASTM F2620-13.

Figura 34

Máquina de termo fusión



Nota. Adaptado de Grupo Hidráulica, Máquina de termofusión, Grupo Hidraulica, 2022, <https://grupohidraulica.com/noticias/2022/12/09/partes-de-maquina-determofusion-a-tope/>

Retroexcavadora

En resumen, el funcionamiento de esta consiste en la inserción del cucharón que suele ser de diferentes tamaños según sea la potencia de la máquina para extraer el material necesario sea suelo o rocas, la profundidad de la excavación muchas veces varía si la máquina posee extensión en su brazo o no. Algunas de sus características son que está montada sobre neumáticos de gran tamaño evitando su atascamiento y los 4 estabilizadores que posee para fijarse en el suelo con ayuda de los pistones hidráulicos.

El uso que se le puede dar durante el proceso de perforaciones puede ser muy variado debido a su versatilidad se puede utilizar para realizar exploraciones, en tramos para la instalación de tuberías el método PHD no se puede utilizar debido a un suelo rocoso por lo cual se debe hacer una zanja de manera mecánica con esta equipo, así también existen tramos que se excavan con la retroexcavadora y es necesario hacer demoliciones de pavimento para posteriormente hacer la zanja y también para los pozos de visita que se van excavando a lo largo de la trayectoria de la tubería, este equipo se utiliza también para el traslado de equipos, apoyo durante el acople de accesorios de perforación, apoyo en el proceso de termo fusión en tubería mayores a 8 pulgadas, durante la instalación de accesorios electro fundidos es vital para la alineación. La retroexcavadora es esencial durante el desarrollo de cualquier proyecto de perforación sobre todo cuando se trabajan diámetros de tubería mayores a 8 pulgadas.

Accesorios y Materiales:

- **Cables y Sensores de Control:** Para monitorear y ajustar el proceso en tiempo real.
- **Equipo de Seguridad:** Incluye cascos, gafas de protección y equipos de protección personal (EPP) para los operadores.

Cada proyecto de perforación horizontal dirigida puede requerir una combinación específica de estas herramientas y equipos, dependiendo del tipo de suelo, la longitud y el diámetro del túnel, y otros factores técnicos.

2.3.2 PERSONAL NECESARIO

Ingeniero de Perforación (Residente de Obra)

- **Responsabilidades:** Diseña el plan de perforación, selecciona los equipos adecuados y supervisa la ejecución técnica del proyecto, se asegura que se cumplan los objetivos de perforación y que se sigan las especificaciones del diseño, maneja la logística del proyecto, incluyendo la coordinación del transporte de equipos y materiales, y se encarga de la documentación y la gestión de los recursos.
- **Habilidades:** experiencia en ingeniería de perforación, conocimientos en topografía, geología y tecnología de perforación, habilidades organizativas, conocimientos en gestión de proyectos y coordinación logística.

Maestro de obra

- **Responsabilidades:** Supervisión del Trabajo, Coordinar y supervisar el trabajo de los obreros asegurando que se sigan los planos y especificaciones técnicas, se encarga de la planificación de las actividades diarias y organizar la logística del trabajo en el sitio, incluyendo el cronograma de tareas y la asignación de recursos el maestro de obra sirve de enlace entre el propietario del proyecto, arquitectos, ingenieros y los obreros se encarga de tener informados a todos los involucrados sobre el avance del proyecto.

- **Habilidades:** Conocimientos Técnicos: debe tener un buen conocimiento de los planos de construcción, especificaciones técnicas y materiales del proyecto.
- **Liderazgo:** Capacidad para liderar equipos de trabajo, motivar a los obreros y manejar conflictos que puedan surgir en el lugar.
Organización: Habilidad para planificar, organizar y gestionar múltiples tareas de manera efectiva.
- **Comunicación:** Buenas habilidades de comunicación para interactuar con el equipo de trabajo y otros interesados en el proyecto.

Operador de máquina de Perforación

- **Responsabilidades:** Maneja el equipo de perforación y se asegura de que el proceso de perforación se realice de acuerdo con los procedimientos establecidos, supervisa los sistemas de control de perforación, incluidos los sensores de presión y flujo, y ajusta los parámetros del proceso según sea necesario.
- **Habilidades:** Experiencia en la operación de equipos de perforación horizontal, comprensión de los sistemas hidráulicos y mecánicos, experiencia en la operación y mantenimiento de sistemas de control automatizados, habilidades técnicas en el monitoreo de datos en tiempo real.

Geólogo o Ingeniero de Suelos

- **Responsabilidades:** Analiza las características del suelo y las formaciones geológicas para ayudar a diseñar la trayectoria de perforación y anticipar problemas potenciales.
- **Habilidades:** Experiencia en geología y geotécnica, capacidad para interpretar datos del suelo y formaciones geológicas.

Técnico en Localización y Navegación

- **Responsabilidades:** Maneja el sistema de navegación y localización para asegurar que la perforación siga la trayectoria deseada y monitorea la dirección y profundidad del pozo.
- **Habilidades:** Conocimiento en sistemas de navegación y posicionamiento, capacidad para interpretar datos de medición direccional.

Personal de Mantenimiento

- **Responsabilidades:** Realiza el mantenimiento y reparación de los equipos de perforación, incluyendo bombas, motores y sistemas hidráulicos.
- **Habilidades:** Capacitación en mantenimiento de equipos mecánicos e hidráulicos, habilidades en diagnóstico y reparación de fallas.

Personal de Seguridad y Salud Ocupacional

- **Responsabilidades:** Asegura que se cumplan las normativas de seguridad y salud en el sitio de perforación, realiza inspecciones y capacitación en prácticas seguras.
- **Habilidades:** Conocimiento en normas de seguridad industrial, habilidades para realizar evaluaciones de riesgo y capacitar al personal en procedimientos de emergencia.

Asistente Técnico o Ayudante de Perforación

- **Responsabilidades:** Apoya a los operadores y técnicos en las tareas diarias, prepara herramientas y materiales, y asiste en el montaje y desmontaje del equipo.

- **Habilidades:** Experiencia práctica en el sitio de perforación, habilidades básicas en manejo de herramientas y equipos.

Operador de máquina pesada

Maneja la retroexcavadora para las diferentes tareas que se le asignan.

Realiza inspecciones diarias y mantenimiento preventivo para asegurar que las máquinas estén en buen estado de funcionamiento. Esto puede incluir la lubricación de partes móviles, el cambio de filtros y la revisión de niveles de fluidos.


Cada uno de estos roles es esencial para garantizar que el proceso de perforación horizontal dirigida se ejecute de manera eficiente, segura y de acuerdo con los estándares técnicos requeridos. La comunicación y coordinación entre los miembros del equipo son clave para el éxito del proyecto

2.3.3 TIPOS DE TUBERIAS QUE SE PUEDEN UTILIZAR

A continuación, se presenta el tipo de tubería que se puede utilizar para la aplicación del método de la perforación horizontal dirigida

Tabla 9

Tipo de tubería que se pueden utilizar en el método PHD

Material	Características	Imagen
Polietileno de alta densidad	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia a ataques químicos. • Resistente. • Duradero. • Ligero. • Flexible. • Costo de producción y procesamiento bajo. 	

Nota. Las imágenes y la información que conforma esta tabla han sido tomadas de: Gardeneas, (2017)

2.3.4 NORMATIVA PARA EL MÉTODO DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA

Actualmente en el país de El Salvador no existe una normativa para la aplicación del método de la perforación horizontal dirigida, más sin embargo existe una norma internacional que es la norma ASTM F1962 de esta norma existen tres versiones la primera fue creada en el año 1999 posteriormente se modificó en el año 2005 y la última modificativa fue realizada en el año 2022.

De la norma ASTM F1962 – 05 se realizó una adaptación al español por parte de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

En esta norma básicamente se describe las consideraciones el procedimiento de instalación de tuberías de polietileno de alta densidad bajo tierra utilizando el método de la perforación horizontal dirigida (MAXI-HDD) y fue nombrada NORMA ICONTEG GTC 231.

En México se han creado normativas para el método de la perforación horizontal dirigida, aunque han sido adaptaciones que se han ido haciendo conforme a los requerimientos del método para cada área de trabajo que está dirigida, esta normativa mexicana puede servir de guía o como un instrumento de consulta de aspectos que quedan fuera de la norma ASTM F1962-05.

Tabla 10

Normas que atienden aspectos de la PHD en México

Norma	Nombre	Emisor	Fecha	Tipo	Capítulo / sección de la norma donde se refieren al meto
Proy-nom-012-secre-2000	Transporte de gas LP por ductos diseño, construcción, operación y mantenimiento	Sener	Octubre de 2001	Proyecto de norma (norma propuesta y pendiente	6.- diseño PHD 6.5.- obras especiales 6.5.1.- protección contra riesgos naturales 6.5.1.5.- cuando el cruzamiento bajo una corriente fluvial se efectuó mediante

Norma	Nombre	Emisor	Fecha	Tipo	Capítulo / sección de la norma donde se refieren al meto
				por ser aprobada)	perforación PHD horizontal direccional, esta debe realizarse con base en los resultados de mecánica de suelos como de impacto ambiental, asimismo la tubería se deberá proteger contra la abrasión al desplazarla dentro de la perforación
Cfe-ic	Normas de distribución de construcción líneas subterráneas	Cfe	-	Norma vigente (Norma Oficial Mexicana)	3.- construcción 3.3.- obra civil 3.3.2 perforación horizontal dirigida a) condiciones del terreno b) fluidos de perforación c) aditivos para fluidos d) perforación e) ampliación en retroceso f) tapón hidra lock g) rendimientos h) descripción i) procedimiento 1.-condiciones de trabajo 2.-condiciones del suelo y subsuelo 3) equipos y ejecución 4) condiciones de la superficie 5)seguridad
Nfr-030-pemex-2006	Diseño construcción inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos	Pemex	Febrero 2007	Norma vigente (Norma Oficial Mexicana)	8.-Desarrollo 8.1.-diseño 8.1.11.-requisitos adicionales para el diseño 8.1.11.5.-cruces 8.1.11.5.1.Cruzamiento con ríos o cuerpos de agua los cruzamientos de los ductos con ríos o

Norma	Nombre	Emisor	Fecha	Tipo	Capítulo / sección de la norma donde se refieren al meto
Nfr-030-pemex-2006	Diseño construcción inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos	Pemex	Febrero 2007	Norma vigente (Norma Oficial Mexicana)	<p>PHD</p> <p>cuerpos de agua requieren un análisis y diseño para disimular el riesgo de contaminación en caso de fuga de hidrocarburo, estos cruzamientos pueden realizarse de dos formas aéreas y subfluviales deben usarse tubos lastrados o anclajes con el fin de garantizar la estabilidad del ducto (ver subinciso 8.1.8) el diseñador debe evaluar la necesidad de instalar derivaciones en este tipo de cruces (by pass) los principales factores que se deben considerar en el diseño de un cruce bajo el agua son</p> <ul style="list-style-type: none"> -velocidad de corriente - turbulencia -socavación y azolve - desplazamiento de riberas -cambios de temperatura -calado de embarcaciones -corrosión -dragado -flotación -estadísticas de incremento de nivel debido a variaciones climatológicas -historial del cauce natural <p>cuando se utilice perforación direccional, el espesor mínimo de</p>

Norma	Nombre	Emisor	Fecha	Tipo	Capítulo / sección de la norma donde se refieren al método PHD
					capa de tierra debe ser 6 m. Entre el fondo del lecho del río y el lomo de la tubería conductora, el esfuerzo elástico generado por el radio de curvatura no debe exceder el 54% del σ_{ys} , asimismo la tubería debe tener doble capa de protección anticorrosiva específica para este servicio y condiciones de exposición conforme a 8.1.10

Nota. Esta tabla muestra las normativas que tienen aspectos relacionados al método de la perforación horizontal dirigida, tomada de Sánchez, (2019).

2.3.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MÉTODO DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA

Tabla 11

Ventajas y desventajas del método PHD

Ventajas		Desventajas	
Menor impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Reduce las alteraciones al suelo: se minimiza la excavación y la alteración del terreno. Protecciones de ecosistemas: 	Costo Inicial	<ul style="list-style-type: none"> Inversión en Equipos: El costo inicial de los equipos y tecnología puede ser alto en comparación con métodos tradicionales.

Ventajas		Desventajas
	<p>protege la flora y la fauna al evitar la remoción de vegetación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Requisitos Especializados: Los operadores deben estar capacitados y los equipos pueden requerir mantenimiento especializado.
<p>Menos interrupciones en áreas urbanas</p>	<ul style="list-style-type: none"> Menor Disrupción: Permite la instalación de infraestructura en áreas urbanas densas sin necesidad de abrir grandes zanjas, reduciendo las molestias para el tráfico y los residentes. Reducción de Costos de Restauración: Disminuye la necesidad de restaurar el área después de la instalación, ya que se realiza menos excavación 	<p>Complejidad Técnica</p> <ul style="list-style-type: none"> Requiere Experiencia: La técnica puede ser compleja y requiere de experiencia para garantizar que se realice correctamente. Posibles Fallos: Los errores en la planificación o ejecución pueden resultar en desviaciones, lo que puede llevar a la necesidad de corrección y mayor costo.
<p>Instalación en Terrenos Difíciles</p>	<ul style="list-style-type: none"> Adaptabilidad: Puede ser utilizada en terrenos donde las condiciones de excavación son difíciles o donde hay 	<p>Limitaciones en Condiciones del Suelo</p> <ul style="list-style-type: none"> Tipo de Suelo: No es siempre efectiva en suelos extremadamente duros, rocosos o contaminados. La técnica puede encontrar

Ventajas	Desventajas
<p data-bbox="581 352 841 491">presencia de estructuras subterráneas existentes.</p> <ul data-bbox="537 537 841 856" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="537 537 841 856">• Cruces de Carreteras y Ríos: Ideal para atravesar carreteras, ríos y otras barreras sin necesidad de excavaciones extensivas 	<p data-bbox="1138 352 1421 529">dificultades en terrenos con condiciones geológicas adversas.</p>
<p data-bbox="334 1199 500 1266">Eficiencia y Rapidez</p>	<ul data-bbox="537 907 841 1562" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="537 907 841 1192">• Tiempo de Ejecución: Generalmente permite una instalación más rápida en comparación con métodos tradicionales de excavación <li data-bbox="537 1310 841 1562">• Menos Necesidad de Equipos de Excavación: Reducción de la necesidad de equipos grandes y costosos. <p data-bbox="873 1184 1081 1285">Impacto en Infraestructura Existente</p>
<p data-bbox="342 1717 492 1751">Seguridad</p>	<ul data-bbox="537 1570 841 1856" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="537 1570 841 1856">• Menor Riesgo de Daños: Reduce el riesgo de dañar infraestructuras existentes, como tuberías de agua, sistemas de alcantarillado y <p data-bbox="878 1696 1076 1764">Problemas de Instalación</p> <ul data-bbox="1094 1570 1421 1890" style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1094 1570 1421 1890">• Desviaciones: La desviación del trayecto planeado es posible, especialmente si hay obstrucciones no detectadas o si el terreno no es uniforme.

Nota. Adaptado de 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, [Tabla], Flores Castaneda(2019),https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3313/Aldo%20Flores_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CAPÍTULO III

PROCESO

CONSTRUCTIVO

3.1 MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO

3.1.1 ESTUDIOS PRELIMINARES

Los estudios preliminares para el método de zanja a cielo abierto en la instalación de tuberías de agua potable se enfocan en aspectos técnicos, logísticos y de seguridad que aseguren la correcta ejecución de la obra.

El estudio del terreno es una etapa fundamental en la planificación de una instalación de tuberías de agua potable. En primer lugar, se debe determinar el tipo de suelo, ya que conocer si el suelo existente es rocoso, arenoso o arcilloso pueden influir en la dificultad de la excavación y en las técnicas que se deben utilizar. Es necesario analizar las condiciones geológicas del terreno para asegurarse de que sea estable, identificando posibles riesgos de deslizamientos, hundimientos o cualquier otra afectación que pueda comprometer la seguridad y la estructura de la zanja.

Además, se debe medir la profundidad del nivel freático, ya que, si las zanjas atraviesan un nivel de agua subterránea, será necesario tomar precauciones adicionales, como la instalación de sistemas de drenaje temporal o bombas para evitar inundaciones durante la obra.

El estudio de topografía es fundamental para el diseño y ejecución de la instalación de tuberías, ya que se enfoca en analizar las características físicas y geográficas del terreno donde se realizará la excavación esto permite planificar la obra de manera eficiente y segura, el estudio incluye el levantamiento topográfico del terreno que consiste en un análisis detallado de las variaciones de altura y relieve, ayudando a identificar pendientes naturales, desniveles y posibles obstáculos. Esta información es importante para determinar la profundidad y el trazado de la zanja además de ser útil para realizar el alineamiento de las zanjas donde basándose en el levantamiento se planifica la ruta óptima considerando los puntos de conexión (como fuentes de agua y puntos

de distribución), minimizando curvas y aprovechando las pendientes naturales para facilitar el flujo de agua.

Además, la topografía permite la evaluación de la accesibilidad y espacio disponible. Es necesario verificar que se pueda acceder al lugar de trabajo con maquinaria pesada, como retroexcavadoras y camiones, considerando factores como el tamaño de las calles y caminos, así como la disponibilidad de espacio para maniobras. Además, se debe determinar si hay suficiente espacio para la zanja, tomando en cuenta las normativas de ancho y profundidad que se requieren para el tipo de tubería a instalar, y asegurando también el espacio necesario para el tránsito de vehículos de obra y medidas de seguridad durante la ejecución del proyecto.

El estudio ambiental es crucial para garantizar que la instalación de tuberías no cause daños al entorno. Se debe evaluar el impacto ambiental de la excavación, considerando cómo afectará la vegetación, la fauna y los cuerpos de agua cercanos, así como el impacto de la remoción del suelo y los residuos generados. Al mismo tiempo, se deben implementar medidas de mitigación de riesgos ambientales, como acciones para prevenir la contaminación del agua subterránea, la erosión del suelo o la afectación de áreas sensibles durante la obra.

La seguridad es esencial para garantizar la protección de los trabajadores y la integridad de la obra. Se deben identificar los riesgos laborales potenciales durante la excavación, como colapsos de la zanja, accidentes con maquinaria o caídas, y planificar medidas preventivas, además de proporcionar el equipo de protección adecuado para los trabajadores. También es importante proteger la zanja, planificando el refuerzo de sus paredes, si es necesario, mediante sistemas de entibado (como madera o acero) para evitar derrumbes y garantizar la estabilidad de la excavación.

Se debe establecer cómo se transportarán las tuberías, materiales de construcción y maquinaria al sitio de la obra, asegurando que el acceso y los tiempos sean adecuados. Además, es fundamental definir cómo se gestionarán los residuos generados durante la excavación, como tierra y escombros, determinando si se almacenarán temporalmente en el sitio o se trasladarán a un vertedero aprobado, cumpliendo con las normativas ambientales.

Los costos son esencial para asegurar la viabilidad del proyecto. Esto incluye la estimación de costos, que abarca la excavación, manejo de residuos, maquinaria, mano de obra, materiales y posibles imprevistos durante la obra. Además, se debe evaluar la viabilidad económica del proyecto, determinando si es financieramente viable al considerar los estudios previos y los costos asociados al uso del método de zanja a cielo abierto.

3.1.1.1 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

El estudio de factibilidad para zanjas a cielo abierto es un análisis integral que determina si un proyecto de instalación de tuberías mediante este método es viable técnica, económica y ambientalmente. Este estudio es fundamental para evaluar si las condiciones del terreno, los recursos disponibles y los objetivos del proyecto se pueden cumplir de manera eficiente y segura.

Algunos objetivos pueden ser:

- Determinar la viabilidad técnica y económica del proyecto.
- Identificar y mitigar riesgos potenciales.
- Asegurar el cumplimiento normativo.
- Minimizar impacto ambiental.
- Planificar tiempos de ejecución.

Se puede detallar algunos aspectos técnicos que debe evaluar la factibilidad:

Condiciones del terreno.

- Tipo de Suelo: Determinar si el suelo es estable y adecuado para una excavación a cielo abierto. Los suelos arenosos o inestables pueden requerir técnicas adicionales de refuerzo, como el uso de entibados o muros de contención.
- Estabilidad del Terreno: Evaluar la posibilidad de deslizamientos o hundimientos del terreno que puedan comprometer la seguridad de los trabajadores y la estabilidad de la zanja.
- Presencia de Agua Subterránea: La cercanía al agua subterránea puede generar problemas de inundación o erosión durante la excavación, lo que podría requerir el uso de bombas de drenaje o técnicas especiales.

Evaluación de Recursos.

- Disponibilidad de Materiales y Maquinaria: Asegurar que la maquinaria y los equipos necesarios estén disponibles y sean adecuados para el tipo de terreno y el alcance del proyecto.
- Mano de Obra: Evaluar si el personal cuenta con la capacitación necesaria como para el manejo de maquinaria como para las herramientas tanto de manera adecuada como para realizar las tareas asignadas por los auxiliares, asegurando que el trabajo se ejecute con eficiencia y en condiciones de seguridad óptimas.

Análisis de Seguridad.

- Riesgos Laborales: La seguridad de los trabajadores es una prioridad, por lo que es necesario evaluar riesgos como derrumbes o caídas en la zanja y establecer medidas preventivas como el uso de sistemas de protección, andamiaje o encintados.

- **Condiciones Ambientales:** El clima o las condiciones geológicas locales pueden generar riesgos adicionales, como lluvias fuertes o actividad sísmica.

Se puede detallar algunos aspectos económicos que debe evaluar la factibilidad:

Viabilidad Económica.

- **Costos de Ejecución:** Realizar un análisis de los costos involucrados en la realización de la zanja, incluyendo el alquiler de maquinaria, la mano de obra, materiales de refuerzo, etc.
- **Rentabilidad del Proyecto:** Comparar el costo total de la excavación con el beneficio esperado del proyecto para asegurar que sea una inversión rentable.
- **Factores de Riesgo:** evaluar si existe un riesgo de que los costos del proyecto superen las estimaciones iniciales debido a imprevistos como problemas del terreno, cambios en los precios de los materiales, etc.

Tiempo de Ejecución.

- **Plazos Realistas:** Establecer un cronograma que contemple posibles imprevistos y condiciones adversas, para asegurar que el proyecto se complete en un tiempo adecuado.
- **Plazos de planificación y diseño:** investigación y análisis preliminares del sitio, diseño del sistema de distribución de agua y obtención de permisos necesarios.
- **Plazos de instalación de tuberías:** colocar tuberías, conexiones, pruebas, etc.

Se puede detallar algunos aspectos ambientales que debe evaluar la factibilidad:

Impacto Ambiental.

- Alteraciones en el Ecosistema Local: Considerar el impacto sobre la fauna y flora local, y adoptar medidas para mitigar posibles daños al entorno.
- Manejo de Residuos y Materiales Excavados: Planificar la disposición adecuada de los materiales excavados y gestionar los posibles desechos generados durante el proceso.

Cumplimiento Legal y Normativo.

- Regulaciones Locales: Verificar que la excavación cumpla con las normativas de seguridad, construcción y medio ambiente aplicables en la región.
- Permisos y Licencias: Obtener los permisos necesarios para realizar la excavación, especialmente si se trata de una zona urbanizada o de alto riesgo.
- Normativas de diseño e instalación: las tuberías deben de cumplir con las normas del país, también debe de cumplir con las normas de los materiales.
- Cumplimiento de normas de seguridad laboral: debe de cumplir con las normas de seguridad establecida por ejemplo Ley de Protección y Defensa de los Trabajadores, Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en los Lugares de Trabajo, etc.

3.1.1.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para la realización de estudios topográficos en instalación de agua potable, es fundamental disponer de un equipo topográfico especializado y versátil, capaz de adaptarse a las particularidades de cada proyecto hidráulico, algunos equipos

que se utilizan son estación total, nivel fijo, GPS, drones entre otros. Los datos proporcionados por los instrumentos mencionados permiten obtener una serie de puntos georreferenciados que representan los distintos elementos del terreno, tanto los relacionados con el modelado digital como las diversas estructuras, edificaciones, linderos, obstáculos entre otros.

Figura 35

Equipo para realizar levantamiento topográfico



Nota: Fuente Propia

Para proyectos nuevos, la topografía del terreno permite la elaboración de planos constructivos, producto del diseño de la red de agua potable, además permite definir el diseño geométrico y altimétrico de las vías, los cuales determinan el recorrido y profundidad de las tuberías. A partir de esta información es posible que, el proyectista pueda planificar el replanteo de la red de agua potable en el campo, identificando la ubicación de la línea de excavación con información esencial sobre la forma, el relieve y la ubicación de elementos existentes, permitiendo una planificación efectiva de los trabajos a realizar.

En el caso de instalación de tuberías en zonas ya urbanizadas el levantamiento topográfico para una zanja a cielo abierto tiene 3 aspectos importante:

1. **Identificación de características del terreno:** como pendientes, obstáculos y cuerpo de agua.
2. **Determinación de elevaciones:** para planificar adecuadamente la profundidad y el diseño de la zanja.
3. **Creación de mapas:** que sirven como base para la planificación y ejecución del proyecto.

Para cualquier de los dos casos mencionados, el levantamiento topográfico debe llevarse a cabo siguiendo los siguientes pasos:

- **Definición del área de estudio:** para un proyecto de zanja a cielo abierto hace referencia al espacio geográfico y las condiciones específicas que se analizarán para determinar la viabilidad, los riesgos, y los requisitos técnicos, operativos y de seguridad asociados con la excavación de la zanja. Este análisis tiene como objetivo proporcionar una comprensión completa del entorno donde se llevará a cabo la excavación, para garantizar que se realice de manera eficiente y segura.
- **Uso de instrumentos topográficos:** en proyectos de zanja a cielo abierto es fundamental para realizar un levantamiento preciso del terreno, planificar adecuadamente la excavación y garantizar la seguridad y eficiencia durante la ejecución del proyecto. Por ejemplo, podemos mencionar algunos instrumentos (teodolito, estación total, GPS, laser de medición, Nivel fijo, fotografía aérea y drones). Las funciones de este uso nos permiten tener levantamiento topográfico inicial, planificación de la alineación y profundidad de la zanja, monitoreo durante la excavación y verificación de la calidad del trabajo.

Estos instrumentos topográficos permiten la obtención de información detallada sobre la forma, la ubicación y las características del terreno, lo cual es esencial para tomar decisiones informadas en cada etapa del proyecto.

- **Registro de Puntos de Control:** Establecer puntos de referencia que permitan realizar mediciones precisas.
- **Muestreo de Características del Terreno:** Identificar elementos como pendientes, ríos, árboles, y estructuras existentes.
- **Elaboración de planos:** crear mapas detallados que representen la topografía del terreno, incluyendo curvas de nivel y especificaciones técnicas.
- **Análisis de desniveles:** evaluar la inclinación del terreno para planificar adecuadamente las excavaciones.

Figura 36

Levantamiento topográfico



Nota: Fuente Propia

3.1.1.3 ESTUDIOS DE SUELOS

El estudio de suelos es una evaluación detallada de las características geotécnicas y físicas del suelo en el área donde se planea realizar el proyecto. Este estudio es crucial para garantizar la seguridad, diseño estructural de las obras, elección de técnicas constructivas y eficacia de los trabajos donde se comprende varios aspectos:

Componentes del estudio de suelo:

Sondeos y perforaciones: se realizan perforaciones en diferentes puntos del terreno para extraer muestras de suelo a diversas profundidades. El ensayo se realiza cada 3 metros de profundidad, aunque en áreas complejas este intervalo puede reducirse a 1.5 metros. Además, puede llevarse a cabo en todo tipo de suelos, incluida la roca meteorizada, utilizando una punta ciega en estos casos. Sin embargo, es en los suelos granulares donde el ensayo proporciona la información más detallada y relevante.

Análisis de Laboratorio: Las muestras obtenidas se analizan para determinar propiedades como:

- **Granulometría:** Distribución de tamaños de partículas.
- **Límites de Atterberg:** Para evaluar la plasticidad y la capacidad de retención de agua.
- **Resistencia al Corte:** Que indica la estabilidad del suelo.

Niveles de Agua Subterránea: Medición del nivel freático para entender las condiciones de drenaje y posible saturación del suelo.

Estabilidad del Terreno: Evaluación de riesgos de deslizamientos o colapsos, especialmente en suelos cohesivos.

Capacidad Portante: Determinación de la capacidad del suelo para soportar cargas, esencial para diseñar adecuadamente la zanja.

Importancia del estudio de suelo:

- **Dimensiones de las excavaciones:** permite planificar la profundidad y el ancho de la zanja.
- **Prevención de riesgos y definición de medidas de mitigación:** identifica condiciones que podrían causar inestabilidad o colapsos.

- **Optimización de recursos:** ayuda a elegir métodos personal y maquinaria adecuados para la excavación, además de evaluar si es posible reutilizar el material del lugar para las compactaciones.

De acuerdo a ANDA, 2015 que se puede tomar de referencia también para la instalación de tuberías para agua potable se puede decir que el método a utilizar será "Prueba de Penetración Standard" y el número de sondeos se determinará en campo, pero el mínimo será de tres (3). El lugar y la longitud de penetración (de no estar especificada) también se determinará en campo. Antes de iniciar, los trabajos de construcción u otro trabajo en los lugares donde se hicieron los sondeos, se deberá certificar por escrito los resultados obtenidos, conteniendo entre otras informaciones; la estratigrafía del suelo, capacidad de carga, comentarios y recomendaciones.

3.1.2 TERRACERÍA

La terracería para el método de zanja a cielo abierto a cielo abierto se refiere al proceso de movimiento de tierras y preparación del terreno en el área donde se va a realizar la zanja. Este término se utiliza comúnmente en obras de construcción y excavación y abarca varias actividades importantes:

Componentes de la Terracería:

1. **Descapote y Limpieza:** Eliminación de vegetación, escombros y otros obstáculos en la superficie del terreno.
2. **Corte y relleno:** Es un procedimiento utilizado en los sitios de construcción para nivelar pendientes y realizar cortes, canales y terraplenes, mediante la remoción de tierra de un área específica y su posterior uso como material de relleno en otro punto.

El fondo de la zanja debe ser plano y estar libre de elementos cortantes. La profundidad mínima de la zanja debe ser suficiente para proteger la tubería de los efectos de la carga viva y del congelamiento en zonas con temperaturas

muy bajas. Por otro lado, la profundidad máxima debe ser determinada de manera que no se dificulten las labores de mantenimiento, reparación ni la realización de nuevas conexiones.

3. **Transporte de Materiales:** Movilización de tierra excavada a otros lugares, ya sea para almacenamiento o disposición final.
4. **Protección de las paredes de la excavación:** Se deberá asegurar que los taludes de los cortes tengan un ángulo de inclinación adecuado para prevenir derrumbes, y también deberá retirar los fragmentos de rocas presentes en dichos taludes.

A continuación, se presentan los principales sistemas de protección.

- **Inclinando:** es una medida de protección que corta las paredes de la excavación en ángulo desde el suelo para producir una pendiente estable. El ángulo de la inclinación se basa en el tipo de suelo. Entre más plano sea el ángulo de la inclinación, mayor será el factor de protección para los trabajadores (Departamento de seguro de Texas, 2022).
- **Apuntalando:** es el proceso que se utiliza para reforzar las paredes de una zanja para evitar colapsos y derrumbes. Se pueden utilizar varios métodos para apuntalar una zanja. El apuntalamiento hidráulico es el uso de pistones hidráulicos que pueden presionar directamente contra las paredes de la zanja, para combinar con una placa de acero o una madera especial contrachapada pesada. Otro método se llama viga y placa (o viga y columna), en el que vigas “I” son incrustadas en el suelo y placas de acero son deslizadas entre ellas, el método similar que usa tabloncillos de madera es llamado apuntalamiento con madera. El apuntalamiento hidráulico tiende a ser más rápido y fácil; los otros métodos tienden a usarse para las aplicaciones a más largo plazo o en excavaciones más grandes. (Departamento de seguro de Texas, 2022).
- **Cajas de zanjas (o escudos de zanja):** son cajas de metal prefabricadas que se colocan en la excavación, las cajas de zanja no le

proporcionan resistencia estructural a la excavación, pero sí les proporcionan a los trabajadores un lugar de trabajo seguro que los protege del derrumbe de materiales. Un ingeniero profesional registrado debe de diseñar el sistema de las cajas de zanja, las cuales pueden ser prefabricadas o construidas en el sitio, según sea necesario. (Departamento de seguro de Texas, 2022).

5. Compactación: asegurar que el suelo en el fondo de la zanja este adecuadamente compactado para evitar asentamientos posteriores, existen dos tipos de compactación utilizados en la instalación de tuberías. cada uno adecuado para diferentes condiciones del terreno:

- Compactación mecánica: Es uno de los métodos más utilizados donde se lleva a cabo con maquinaria especializada, como rodillos y placas vibratorias, que compactan el material alrededor de la tubería. Este método es ideal para terrenos relativamente planos y uniformes.
- Compactación dinámica: En este proceso, se emplean equipos que generan ondas de choque para compactar el suelo. Este tipo de compactación es adecuado para terrenos irregulares o áreas donde la maquinaria de compactación mecánica no puede acceder.

De manera que el método de compactación utilizado es independiente, esta técnica es fundamental en la instalación de tuberías, ya que previene la deformación y el asentamiento de las mismas.

Además, la compactación contribuye a evitar el hundimiento del terreno alrededor de la tubería, lo cual es especialmente crucial en áreas donde se requiere una alta estabilidad del suelo, como en instalaciones de infraestructura crítica, tales como carreteras y puentes.

6. Drenaje: implementación de sistemas de drenaje si es necesario, para evitar la acumulación de agua en la zanja y alrededores.

Importancia de la terracería.

- Preparación del terreno: asegurar que el área esté lista para la excavación, minimizando riesgos.
- Estabilidad de la zanja: una buena terracería contribuye a la estabilidad del suelo, evitando deslizamientos o colapsos.
- Facilitación de trabajos posteriores: una adecuada preparación del terreno permite un trabajo más eficiente en las fases siguientes del proyecto.

3.1.3 TRAZO DE ZANJA

El trazado para el método de zanja a cielo abierto es el proceso de marcar y definir el recorrido y las dimensiones de la zanja en el terreno antes de iniciar la excavación. Este paso es crucial para garantizar que la zanja se realice según las especificaciones del diseño del proyecto. Esto es conocido también como replanteo de las excavaciones usando la topografía de acuerdo a los planos topográficos de acuerdo a lo indicado en los planos se toma como base si existe alguna construcción existente para delimitar la zona de trazado donde pueden ocupar las siguientes herramientas como tiza, cordeles, plomadas etc.

Figura 37

Trazado de zanja



Nota. Adaptado de Trazo, [fotografía], <https://www.trazo.html>

Componentes del Trazado de Zanja:

1. **Definición de Líneas de Referencia:** Utilizar cuerdas, estacas o pintura para marcar el ancho y la longitud de la zanja.
2. **Verificación de pendiente y profundidades:** asegurarse de que las inclinaciones y profundidades especificadas en los planos sean correctas.
3. **Identificación de Obstáculos:** Localizar y señalar elementos existentes, como árboles, rocas o infraestructuras subterráneas, que puedan afectar la excavación.
4. **Consulta de planos:** comparar el trazado con los planos de diseño para asegurarse de que se sigan los planos constructivos y las especificaciones técnicas del proyecto.

3.1.4 DEMOLICIÓN Y EXCAVACIÓN

En la demolición se refiere en eliminar cualquier tipo de obstáculo. Este paso es crucial para preparar el terreno antes de la excavación y la excavación es el proceso de remover el suelo para crear la zanja, esto incluye la definición de la profundidad y ancho adecuados según el diámetro y profundidad de tuberías.

Figura 38

Demolición de concreto en una zona urbanizada



Nota: Fuente Propia

Componentes de la demolición.

- Identificación de estructuras: determinar qué elementos deben ser demolidos como aceras.
- Planificación: Desarrollar un plan que incluya métodos de demolición, cronograma y medidas de seguridad.
- Uso de Maquinaria y Herramientas: Emplear equipos adecuados, como retroexcavadoras, martillos hidráulicos o herramientas manuales, dependiendo de la envergadura del trabajo.
- Control de Residuos: Gestionar adecuadamente los escombros y materiales resultantes, asegurando su disposición o reciclaje.
- Seguridad: Implementar medidas para proteger a los trabajadores y al público, incluyendo señalización y cercas.

La excavación es el proceso de remover tierra y materiales del suelo para crear una zanja con dimensiones específicas, de acuerdo con los requisitos del proyecto.

El fondo de la zanja debe ser plano y estar libre de elementos cortantes. La profundidad mínima de la zanja debe ser suficiente para proteger la tubería de los efectos de la carga viva. Por otro lado, la profundidad máxima debe ser determinada de manera que no se dificulten las labores de mantenimiento, reparación ni la realización de nuevas conexiones. De acuerdo a la tabla 12.

Tabla 12

Diámetro, ancho de zanja y profundidad para excavación de tuberías de agua potable

Diámetro		Ancho de zanja	Profundidad
Pulgadas	cm	cm	cm
1	2.54	50	70
1.5	3.81	55	70
2	5.08	55	70

	Diámetro	Ancho de zanja	Profundidad
2.5	6.35	60	100
3	7.62	60	100
4	10.16	60	105
6	15.24	70	110
8	20.32	75	115
10	25.4	80	120
12	30.48	85	125
14	35.56	90	130
16	40.64	95	140
18	45.72	110	145
20	50.8	115	155
24	60.96	130	165
30	76.2	150	185
36	91.44	170	210
42	106.68	190	230
48	121.92	210	245
60	152.4	250	300
72	182.88	280	345
84	213.36	320	380
98	248.92	350	415

Nota. Tabla tomada de dimensiones de zanja para tuberías de agua potable y alcantarillado, [Tabla], Marcony, (2022),

<https://www.udocz.com/apuntes/505030/tabla-anchos-de-zanja>

Componentes de la Excavación:

Selección de herramientas y maquinaria: dependiendo de la profundidad y el ancho de la zanja, se utilizan retroexcavadoras, excavadoras o herramientas manuales, en el caso de usar maquinaria pesada como lo mencionado, esta se usa para abrir la excavación (popularmente llamada: la parte gruesa de la excavación) pero la definición exacta el ancho y la profundidad se realizan siempre con herramientas manuales para evitar el sobredimensionamiento.

Remoción de Material: Se excava el suelo según las dimensiones especificadas en los planos, controlando la profundidad y el ancho para asegurar que cumpla con las especificaciones del diseño.

Monitoreo de condiciones del suelo: Durante la excavación, se evalúan las condiciones del suelo para detectar cualquier posible inestabilidad o problemas geotécnicos.

Estabilización de las paredes de las excavaciones: el diseño de un sistema de protección se basa en diversos factores, como la clasificación del suelo, la profundidad del corte, el contenido de agua del suelo, el tiempo y el clima, así como otras operaciones en el área para adecuar las protecciones necesarias. No obstante, cualquier sistema empleado debe cumplir con los criterios de desempeño establecidos y adaptarse a las condiciones del espacio, tipo de suelo, profundidad, velocidad y gasto.

Estabilización del fondo de la excavación y revisión con topografía:

- La revisión con topografía es una herramienta esencial para verificar el estado y las condiciones de la excavación. Mediante el uso de equipos de medición avanzados, como niveles, estaciones totales o sistemas GPS, se realiza un monitoreo continuo de la excavación, asegurando que las dimensiones, la ubicación del fondo sean las correctas y que no se presenten desplazamientos o deformaciones.

3.1.4.1 ZONAS URBANIZADAS

Para la demolición de estas zonas urbanas se elimina estructuras, pavimentos o elementos existentes que se encuentran en el área donde se planea realizar una zanja.

En las excavaciones se toman en cuenta algunos factores:

- Restricciones de espacio que impiden el libre movimiento de la maquinaria, debido a lo reducido del área, por lo que en estos casos se recurre a realizar la excavación de forma manual.
- Infraestructura subterránea es importante ubicar si existe alguna infraestructura subterránea, como por ejemplo tuberías de agua ya existentes, electricidad y telecomunicaciones.
- Impacto en la comunidad estas excavaciones pueden causar molestias a los residentes o negocios cercanos incluso en áreas densamente pobladas.

3.1.4.2 ZONAS NO URBANIZADAS

Para la demolición en estas zonas se elimina estructuras que no tiene ningún funcionamiento y que afectan la trayectoria de la tubería, pero se debe de considerar la relación con la comunidad y el entorno para mantener una comunicación abierta y constante con los residentes locales informándoles sobre cómo se realizará el trabajo para así minimizar las molestias, algunas medidas que se deben de tomar son:

- Implementación de medidas para controlar el polvo y el ruido durante el proceso de demolición, minimizando su impacto en el entorno.
- Restauración del terreno tras la demolición con el objetivo de fomentar el crecimiento de la vegetación local y recuperar la biodiversidad de la zona.

También se debe de tener en cuenta en el momento de la excavación que debe de preservar el entorno para eso implica ser consciente con la flora y la fauna local y tomar medidas para cualquier impacto negativo que se pueda dar, algunas medidas que se deben de tomar son:

- Colaboración con organizaciones locales para llevar a cabo proyectos de reforestación y conservación, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

3.1.4.3 ACOPIO Y DESALOJO DE MATERIAL

Para acopiar los materiales, se define un área de fácil acceso para la descarga de aquellos que se necesitarán a lo largo del proyecto, el objetivo es contar con los materiales y herramientas a la mano para facilitar su uso durante la ejecución del proyecto.

El desalojo de los materiales provenientes de las excavaciones o demoliciones consistirá en la remoción total de los materiales extraídos, los cuales serán transportados mediante cargadoras y volquetas con el propósito de limpiar completamente la zona, dejándola libre de escombros y materiales sobrantes.

3.1.5 INSTALACIÓN DE TUBERÍAS

La instalación de tuberías de agua potable es un proceso fundamental en la construcción de infraestructuras hidráulicas. Este proceso se realiza siguiendo planos constructivos, especificaciones técnicas y normas técnicas específicas para garantizar la seguridad y funcionalidad del sistema.

3.1.5.1 TENDIDO Y UNIÓN DE TUBERÍAS

El tendido y la unión de tuberías se llevan a cabo en varios pasos:

Paso 1:

Preparación de la zanja

Después de la excavación de la zanja, se limpia el fondo de la misma para eliminar rocas, raíces o cualquier otro material que pueda dañar las tuberías. El fondo de la zanja debe ser nivelado para lo cual si el terreno es lo suficiente estable basta con recomprimir el fondo de la zanja en su estado natural; de lo contrario se coloca una capa de aproximadamente 10 cm de espesor de material selecto compactado para tener una superficie uniforme o también se puede colocar una cama de arena para disponer de una superficie suave y nivelada para la tubería a instalar.

Paso 2:**Tendido de la tubería**

Las tuberías que usualmente se utilizan pueden ser de los siguientes materiales: Policloruro de Vinilo Orientado (PVCO), Polietileno de Alta Densidad (PEAD), Cloruro de Polivinilo (PVC), Acero, Hierro Fundido Dúctil. Independientemente del material de la tubería que se utilice, esta se debe colocar sobre el fondo de la zanja que ha sido excavada previamente y preparada conforme al paso 1, en este paso se verifica que las tuberías estén alineadas correctamente y sin torsiones.

Paso 3:**Unión de tubería**

Dependiendo del material de la tubería a instalar la unión entre tuberías del mismo material se puede hacer de diferente manera:

Policloruro de Vinilo Orientado (PVCO)

Las tuberías de PVC-O son un tipo de tubería fabricada a partir de PVC (policloruro de vinilo) que, mediante un proceso de orientación molecular, adquiere mejores propiedades mecánicas y térmicas en comparación con el PVC convencional. Este proceso de orientación mejora la estructura interna del material, lo que da como resultado una mayor resistencia a la presión, resistencia al impacto y mayor durabilidad

Unión por Junta elástica**Pasos a seguir de acuerdo a (Molecor, 2018)**

1. Verificar que el tubo está limpio y en correcto estado, prestando atención tanto que no tenga fisuras, este recto y que los extremos de las tuberías estén en buen estado.

2. Revisar que el bisel esté en perfecto estado y libre de imperfecciones o rozaduras.
3. Comprobar que la junta está bien colocada, limpia y exenta de elementos extraños (piedras, arena, etc.).
4. Lubricar el bisel del cabo y la junta de la copa mediante lubricante para juntas. En caso de redes de agua potable, el lubricante utilizado será apto sanitariamente. No se utilizarán grasas ni aceites minerales.
5. Alinear la tubería lo máximo posible, tanto en el plano horizontal como en el vertical.
6. Introducir solamente el canto del bisel en la copa, de tal forma que soporte el tubo, pero dejando el resto de copa libre.
7. En el caso de tuberías con diámetro nominal ≤ 250 mm, dar un empujón firme y seco desde el otro extremo del tubo, para aprovechar la inercia producida por el desplazamiento, y así introducir el cabo hasta que la marca tope de enchufe quede escondida dentro de la copa.

Figura 39

Pasos para la unión de tuberías de PVC-O



Paso 1: se tiene que realizar la limpieza de los extremos de la tubería



Paso 2: Lubricación de los extremos de la tubería



Paso 3: unión de tubería

Nota. Adaptado de Molecor, [fotografía], Molecor, 2018 y 2021, https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-de-regadios/3.-formacion-y-difusion_2022/cursos/documentos-cursos-2018/11-04-2018-instalacion-y-control-en-redes-de-riego/pvc_o.pdf

Polietileno de Alta Densidad (PEAD)

Las tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) están fabricadas a partir de un material termoplástico resistente y flexible, ideal para una amplia gama de aplicaciones de transporte de fluidos. El polietileno de alta densidad (PEAD) es un polímero caracterizado por su alta resistencia química, gran durabilidad y flexibilidad. Las tuberías de polietileno tienen la versatilidad que se puede realizar la unión de tuberías por diferentes métodos.

Unión de tubería por soldadura de electrofusión

Pasos a seguir de acuerdo a (AM Group, 2017)

1. Para el proceso de soldadura por electrofusión paso a paso en primer lugar, se debe cortar perpendicularmente los tubos por sus extremos, para poder unirlos.
2. Sin sacar de la bolsa la copla, se tiene que utilizar el accesorio para marcar en el tubo la longitud mínima que debe ser rascada en cada uno de los extremos.

3. Para quitar la capa superficial marcada alrededor de los extremos de la tubería que se unirá, se debe utilizar un rascador. Nunca utilizar tela esmeril o lija para raspar o limpiar
4. Limpiar los extremos de los tubos para quitarles la suciedad con una franela limpia y alcohol. Aproximadamente se tiene que limpiar 50 cm de cada extremo de las tuberías a unir.
5. En este paso se debe verificar que el raspado se ha efectuado en la zona marcada con anterioridad. Nunca tocar con las manos las zonas raspadas.
6. Se coloca la copla en uno de los extremos del tubo para marcar la profundidad de penetración cuando la marca central del manguito coincida con el extremo del tubo. Repetiremos la misma operación en el otro extremo del tubo que se unirá.
7. En este momento, se tiene que colocar dentro de la copla los extremos de los tubos y fijar todo el sistema en el alineador, apretando suavemente. Se debe verificar que los tubos se han introducido totalmente hasta la marca de profundidad de penetración y que la copla está perfectamente centrada en el alineador.
8. Se debe tener mucho cuidado con la corriente eléctrica, si esta viene de un grupo electrógeno, siempre asegurarse que la frecuencia sea de 50Hz y la tensión de salida esté estable a $220\pm 1\%$. Si esto no fuera así, la máquina se estropearía. Siempre hay que comprobar que haya suficiente combustible en el generador, para poder cumplir el periodo de fusión y calibrar los grupos periódicamente.
9. Se quitan los tapones que protegen los terminales del manguito y conectaremos los cables a ellos. Comprobar el tiempo de fusión que indica en el accesorio e introducirlo en la máquina. Se pone en funcionamiento la máquina pulsando el botón de inicio y vigilarémos que se completa el ciclo de fusión.

10. Dejar enfriar la copla sin moverlo, en el alineador durante el tiempo que indica en la etiqueta.
11. Extraer los cables y desmontar el alineador. Comprobaremos la unión visualmente y que hayan salido los testigos de fusión
12. El instalador, sobre el tubo o accesorio, marcará con rotulador indeleble su número de Carné de Especialista en instalación de tuberías plásticas, la hora y fecha de inicio y fin del tiempo de enfriamiento

Figura 40

Pasos para la unión de tuberías de PEAD por electrofusión



Paso 1: Marcar longitud mínima de acuerdo a la copla a unir a la tubería



Paso 2: Marcar zona que será rascada



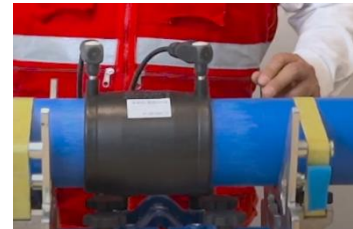
Paso 3: Rascado de zona de unión de la tubería con rascador



Paso 4: Limpieza de la zona rascada con una franela limpia y alcohol



Paso 5: Unión de los dos extremos de las tuberías rascadas con la copla para la electrofusión



Paso 6: Conectar polo positivo y negativo de la máquina de electrofusión a la copla.



Paso 7: Esperar tiempo que indica la máquina para desconectar los polo positivo y negativo de la máquina.

Nota. Adaptado de Koplast Industrial, Pasos para la unión de tuberías de PEAD por electrofusión, Koplast Industrial, 2024, <https://www.youtube.com/watch?v=xixcElyw8Cs>

Union de tuberia por Soldadura por termofusión

Pasos a seguir

1. Alineación. Esta etapa implica realizar la alineación y fijación de los tramos de tubo que conforman la termofusión de tubería PEAD.
2. Fronteado de tubos. Esta etapa consiste en biselar los tubos que se van a termofusionar para que los extremos de la tubería queden lisos y rectos. Posteriormente se ejerce presión entre los extremos de cada tubo, lo que después facilita la aplicación del calor y presión en las zonas indicadas.
3. Aseguramiento de alineación. Esta etapa consiste en verificar que la alineación de los tubos sea la correcta y que no haya separaciones entre cada uno.
4. Limpieza. Esta etapa consiste en retirar todo agente contaminante como son el polvo, aceites o plásticos.
5. Calentamiento. En esta etapa de la termofusión de tubería PEAD se procede a colocar una placa cuya temperatura depende del grosor y demás características de la tubería a fusionar. Los tiempos de espera y temperatura, así como las partes de la tubería donde se aplicará el calor son aspectos que siempre deberá revisar y llevar a cabo un experto certificado. Una vez que se

- aplicó el calor se debe aplicar presión por un lapso de hasta 30 minutos o hasta que al tocarlo se sienta frío.
6. Retiro de placa de calentamiento. En esta etapa se quita la placa que se utilizó en el paso anterior, dando paso inmediato a la siguiente fase.
 7. Enfriamiento. En esta etapa de la termofusión de tubería PEAD, se deben juntar los tubos, aplicar presión en la zona que previamente se calentó y esperar su enfriamiento hasta que los tubos recuperen su solidez. Para obtener mejores resultados el enfriamiento no debe acelerarse.
 8. Por último, es necesario realizar una inspección, para asegurarse de que la termofusión de tubería polietileno de alta densidad se hizo de la forma correcta. Cabe recordar que todos los pasos deben ser realizados por personal especializado y certificado. Esto tiene la finalidad de evitar accidentes y fallas durante y después de realizar la instalación.

Figura 41

Pasos a seguir para la unión de tuberías de PEAD por termofusión



Paso 1: Alineación de los extremos de la tubería a unir



Paso 2: Fijación de las tuberías a unir



Paso 3: Alineación de tuberías a unir



Paso 4: Fronteado de los extremos de la tubería para dar un acabado liso y recto



Paso 5: Verificación de que se ha hecho correctamente el frenteado de la tubería



Paso 6: Colocación de placa de metal que será calentada para derretir parcialmente en los extremos la tubería a fusionar



Paso 7: Después de calentar la tubería se retira la placa de metal.



Paso 8: Unión de ambos extremos de la tubería para que fusionen.

Nota. Adaptado de Moreno, Pasos a seguir para la unión de tuberías de PEAD por termofusión, Moreno, 2023, <https://gctratamiento.mx/termofusion-tuberia-pead/>

Unión mediante accesorios mecánicos

Pasos a seguir de acuerdo a (Condor, 2024)

1. **Ajuste:** colocar el accesorio en la tubería asegurándose de que encaje perfectamente.
2. **Fijación:** utilizar herramientas manuales o automáticas para apretar las bridas o tornillos, garantizando un cierre firme.
3. **Verificación:** comprobar la estanqueidad de la unión antes de utilizar el sistema.

Figura 42

Pasos a seguir para la unión de tuberías de PEAD por accesorios mecánicos



Paso 1: Limpieza de tubería y verificación que posea un corte



Paso 2: Colación de anillo de bronce a tubería



Paso 3: Engrase de extremo de la tubería a introducir al accesorio mecánico



Paso 4: Introducción la tubería al accesorio metálico



Paso 5. Ajuste de pernos de acuerdo a las especificaciones del fabricante

Nota. Adaptada de M&L Negofer S.A.C, Pasos a seguir para la unión de tuberías de PEAD por accesorios mecánicos, M&L Negofer S.A.C, 2021, <https://www.youtube.com/watch?v=iJw7dn8mCvc>

ANCLAJES

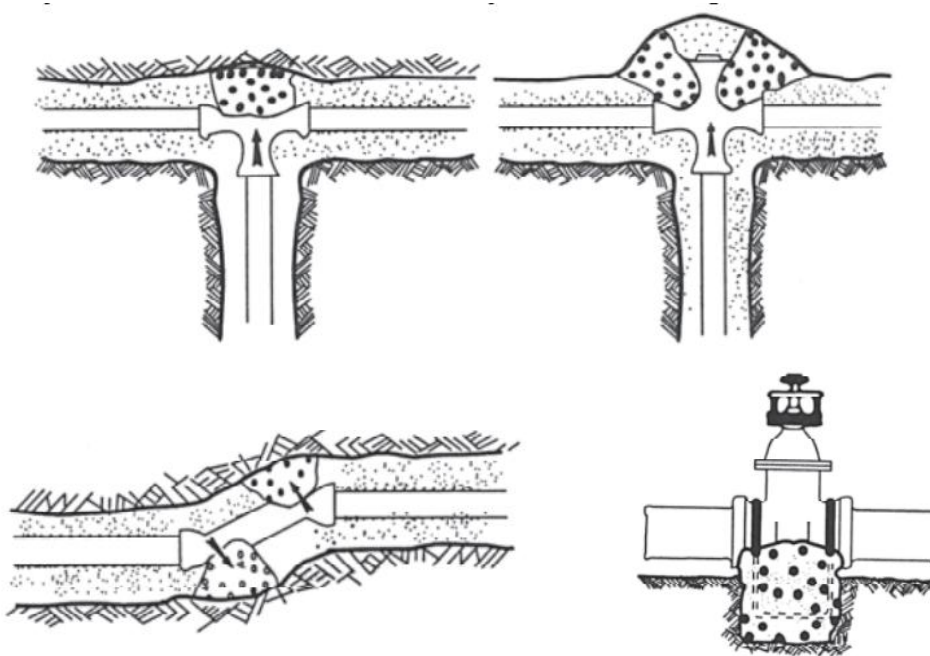
Los anclajes son bloques de concreto construidos en puntos estratégicos de una red de tuberías de PVC para absorber los empujes hidráulicos que tienden a desacoplar las uniones, su función es transmitir estos esfuerzos hacia las paredes firmes de la zanja, asegurando la estabilidad del sistema, se ejecutan

con concreto estructural colocando material aislante entre el accesorio y el bloque para evitar abrasión, no deben envolver totalmente la tubería, permitiendo sus variaciones de diámetro por presión.

Los anclajes se ubican principalmente en cambios de dirección (codos, tees, cruces), reducciones, válvulas, terminales de línea y curvas verticales.

Figura 43

Diferentes tipos de anclajes



Nota. Adaptada de MANUAL DE TUBOS Y ACCESORIOS PVC (p. 36), por Nicoll, 2006,

<https://tutupaca.com/overall/app/productos/TUBERIAS%20DE%20PVC%20OK/MANUAL%20DE%20INSTALACION.pdf>.

El procedimiento de dimensionamiento se basa en dos aspectos fundamentales:

Determinación del empuje hidráulico (P):

El empuje depende del diámetro de la tubería, el tipo de accesorio y la presión interna. Estos valores se estiman a partir de tablas de referencia (como la **Tabla 13**), que proporcionan la fuerza en **kg** para diferentes accesorios bajo una presión de kg/cm^2 .

Donde:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} P_i$$

P = Empuje en kg.

D = Diámetro exterior del tubo en cm.

P_i = Presión interna máxima en la tubería (kg/cm^2).

El valor P_i debe considerar las presiones máximas a que puede someterse la instalación debido a eventuales golpes de ariete o presiones de prueba.

El empuje N que se produce en los otros accesorios tales como codos o curvas, se obtienen con la siguiente fórmula:

$$N = 2 P * \sin \frac{\alpha}{2}$$

Donde:

P = Empuje en kg obteniendo con la fórmula A

N = Empuje en el codo, en kg.

α = Angulo del codo que se emplea.

La **Tabla 13** indica los valores aproximados de los empujes que se generan en los accesorios de una línea de tubería por efectos de la presión hidráulica interna.

Tabla 13

Valores aproximados de empuje en accesorios en una línea de tubos PVC por cada kg/cm² de presión hidráulica.

Diámetro Nominal mm	pulg	Codo 90° (kg)	Codo 45° (kg)	Codo 22,5° (kg)	Tee y Tapones (kg)
50	1 1/2"	26	14	7	18
63	2"	40	22	11	28
75	2 1/2"	59	32	16	42
90	3"	87	47	24	62
110	4"	144	78	40	102
140	5"	179	97	50	126
160	6"	314	170	87	222
200	8"	533	288	147	377
250	10"	829	448	228	585
315	12"	948	513	262	670
355	14"	1146	621	317	811
400	16"	1454	787	402	1028

Nota. Tabla tomada NICOLL, (2006)

Cálculo del área de contacto (A):

El área mínima del bloque se obtiene de la relación:

$$A = \frac{P}{R^T}$$

Donde:

- **A** = área de contacto del bloque con el terreno (cm²)
- **P** = empuje ejercido por el accesorio (kg)
- **R^T** = resistencia admisible del terreno (kg/cm²), obtenida de tablas (**Tabla 14**).

Esto asegura que la carga transmitida al terreno no exceda su capacidad portante.

Tabla 14

Valores de resistencia admisible de diversos tipos de terreno

Tipo de terreno	Resistencia admisible (kg/cm²)
Suelo fangoso	0,0
Arcilla blanda	0,5
Arena	1,0
Arena y grava	1,5
Arena y grava cimentada con arcilla	2,0
Suelo duro (esquistos pizarra roca)	5,0

Nota. Tabla tomada NICOLL, (2006)

3.1.5.2 PRUEBA DE HERMETICIDAD Y PRESIÓN

La prueba de hermeticidad y presión se ejecuta por tramos de tuberías que ya fueron instalados y han sido rellenos con material selecto o material del lugar a excepción de las juntas de tuberías, en cambios de dirección donde han sido utilizados accesorios, dichos espacios donde hay uniones o accesorios se deben dejar descubiertos para su inspección durante la prueba, si en los tramos de la tubería a probar ha sido necesario la construcción de bloques de empuje y contrapeso las pruebas se harán no antes de 7 días después que los bloques han sido colados y los tramos a probar no excederán los 300 metros de largo.

La prueba de la tubería, se realizará mediante la determinación de la pérdida de presión y de agua, se recomienda que ambas pruebas sean realizadas a un mismo tiempo, sin embargo, se podrán realizar en forma separada. Una vez llena la tubería y verificando que se ha efectuado una correcta depuración de aire del sistema, se procederá a bombear agua hasta alcanzar la presión de prueba que será 1.5 veces la presión de diseño del sistema. A partir del momento en que se alcance la presión de prueba, durante un intervalo de cuatro (4) horas, el sistema deberá mantener la presión interna en la tubería dentro de un rango de ± 5 PSI de la presión de prueba. En caso no se logre alcanzar la presión de diseño por aire atrapado, fugas de agua, válvulas abiertas,

si existen tales fallas se deberá dejar de aplicar presurización al sistema y se deberán corregir antes las fallas para continuar con la prueba.

Si la prueba cumple con los requisitos solicitados por las especificaciones técnicas de ANDA y la norma ASTM F2164-21 “Pruebas de fugas en campo de sistemas de tuberías de presión de polietileno (PE) y polietileno reticulado (PEX) utilizando presión hidrostática”, se procede a rellenar los espacios que se utilizaron para la inspección (ANDA, 2015) y (ASTM-F2164-21)

3.1.6 DESINFECCIÓN DE TUBERÍA

Una vez que la instalación de las tuberías esté terminada, es fundamental realizar la desinfección de la red para eliminar cualquier posible contaminación o presencia de bacterias. Este proceso se lleva a cabo utilizando cloro u otros desinfectantes aprobados.

La desinfección de tuberías nuevas en instalaciones de agua potable generalmente se realiza conforme a la **ANSI/AWWA C651-14** esta norma establece los procedimientos recomendados para la desinfección de las tuberías y equipos de distribución de agua potable, incluidos los sistemas de tuberías nuevas.

La norma ANSI/AWWA C651-14 especifica las prácticas y procedimientos para desinfectar las tuberías nuevas y los equipos de distribución para asegurar que el agua potable no esté contaminada por microorganismos patógenos. Esto incluye el uso de soluciones desinfectantes, como el cloro o el hipoclorito de sodio, en concentraciones y tiempos de exposición que garanticen la eliminación de posibles contaminantes sin comprometer la calidad del agua.

Procedimiento general para la desinfección según ANSI/AWWA C651-14

1. Preparación de las tuberías: Asegurarse de que las tuberías estén completamente limpias y libres de escombros, polvo y materiales extraños.

2. Aplicación del desinfectante: De acuerdo a la norma **ANSI/AWWA C651-14** la desinfección de tuberías se puede hacer por cuatro métodos: tabletas, alimentación continua, goteo y rociado, los cuales se describen a continuación:

Método de cloración con tabletas o gránulos

El método de tabletas consiste en colocar gránulos o tabletas de hipoclorito de calcio en la tubería principal de agua durante la instalación y luego llenarla con agua potable para crear una solución de cloro. Este método se puede utilizar solo si las tuberías y accesorios se mantienen limpios y secos durante la construcción.

Este procedimiento no se debe utilizar en tuberías de plástico soldadas con solvente o en tuberías de acero con juntas atornilladas debido al peligro de incendio o explosión por la reacción de los compuestos para juntas con el hipoclorito de calcio.

Tabla 15

Número de tabletas de hipoclorito de calcio de 5 g necesarias para una dosis de 25 mg/L

Diámetro de la tubería		Longitud de la sección de tubería, pies (m)				
		13(4.0) o menos	18(5.5)	20(6.1)	30(9.1)	40(12.2)
In	(mm)	Cantidad de tabletas de hipoclorito de calcio de 5 g				
4	(100)	1	1	1	1	1
6	(150)	1	1	1	2	2
8	(200)	1	2	2	3	4
10	(250)	2	3	3	4	5
12	(300)	3	4	4	6	7

		Longitud de la sección de tubería, pies (m)				
Diámetro de la tubería		13(4.0) o menos	18(5.5)	20(6.1)	30(9.1)	40(12.2)
In	(mm)	Cantidad de tabletas de hipoclorito de calcio de 5 g				
16	(400)	4	6	7	10	13

Nota. Tomado de (AWWA C651)

Llenado y tiempo de contacto

Cuando se haya completado la instalación, la tubería principal se llenará con agua de manera que la velocidad total de la tubería no sea mayor a 1 pie/seg (0,3 m/seg). La velocidad de llenado se debe controlar cuidadosamente para garantizar que las tabletas no se desprendan de la tubería. Se deben tomar precauciones para garantizar que se eliminen las bolsas de aire

El agua clorada permanecerá en la tubería durante al menos 24 horas. Si la temperatura del agua es inferior a 41 °F (5 °C), el agua permanecerá en la tubería durante al menos 48 horas. Se deberá encontrar un residuo de cloro libre detectable ($\geq 0,2$ mg/L) en cada punto de muestreo después del período de 24 o 48 horas.

Método de cloración de alimentación continua

El método de alimentación continua consiste en llenar completamente la tubería principal con agua potable que haya sido clorada a 25 mg/L. Después de un período de retención de 24 horas en la tubería principal, debe haber un residuo de cloro libre de no menos de 10 mg/L.

El agua potable puede suministrarse desde una conexión temporal protegida contra reflujo al sistema de distribución existente.

El dispositivo de control de conexión cruzada debe ser coherente con el grado de riesgo para la protección contra reflujo del sistema de distribución activo.

Tabla 16

Cloro necesario para producir una concentración inicial de 25 mg/L en 100 pies (30,5 m) de tubería por diámetro

Diámetro de la tubería		100% cloro		Solución de cloro al 1%	
In	(mm)	Lb	(g)	Gal	(L)
4	(100)	0.013	(5.9)	0.16	(0.6)
6	(150)	0.030	(13.6)	0.36	(1.4)
8	(200)	0.054	(24.5)	0.65	(2.5)
10	(250)	0.085	(38.6)	1.02	(3.9)
12	(300)	0.120	(54.4)	1.44	(5.4)
16	(400)	0.217	(98.4)	2.60	(9.8)

Nota. Tomado de (AWWA C651.Pdf.)

Método de cloración por goteo

El método de cloración por goteo consiste en llenar completamente la tubería principal para eliminar las bolsas de aire, enjuagar la tubería principal para eliminar las partículas y luego hacer fluir lentamente por la tubería principal un chorro de agua dosificada con cloro a una concentración de 100 mg/L. La velocidad lenta del flujo garantiza que todas las partes de la tubería principal y sus accesorios estarán expuestos al agua altamente clorada durante un período no inferior a 3 horas.

El agua potable puede suministrarse desde una conexión temporal protegida contra reflujo al sistema de distribución existente. El dispositivo de

control de conexión cruzada debe ser coherente con el grado de peligro para la protección contra reflujo del sistema de distribución activo

En ausencia de un medidor, la velocidad puede aproximarse utilizando un medidor de Pitot en la descarga, midiendo el tiempo para llenar un recipiente de volumen conocido o midiendo la trayectoria de la descarga.

Desinfección por aspersión para líneas de transmisión de gran tamaño

En el caso de líneas de transmisión de gran tamaño (en las que el personal o el equipo pueden ingresar de manera segura), la desinfección por aspersión puede ser un medio adecuado y eficaz para lograr la desinfección. Para este método, se debe consultar la norma ANSI/AWWA C652, sección 4.3.2 (Desinfección de instalaciones de almacenamiento de agua; método de cloración 2). En general, una vez que se haya limpiado la tubería, rocíe una solución de cloro libre de 200 mg/L en todas las superficies. Después de 30 minutos, llene la línea y tome la muestra cómo se describe en la sección 5.1. tomado y adaptado de (*AWWA C651.Pdf*)

3.1.7 RESTAURACIÓN DEL TERRENO

Este trabajo tiene por objeto proteger la tubería para darle un soporte firme y continuo que asegure el adecuado comportamiento de la instalación que sirva como amortiguador del impacto de cargas externas. Este trabajo debe ser cuidadosamente supervisado y nunca debe ser considerado como una simple acción de empuje del material excavado al interior de la zanja. Incluye la compactación con material de banco de préstamo o material del lugar si sus características son de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto hasta el nivel de subbase, así como también la restitución de pavimentos y aceras que hubieren sido intervenidas en zonas ya urbanizadas.

3.1.7.1 RELLENO Y COMPACTACIÓN

Este paso se refiere a la acción de llenar las zanjas o excavaciones abiertas durante el proceso de perforación con material adecuado y compactarlo correctamente para evitar hundimientos o problemas posteriores en el terreno este proceso debe efectuarse conforme a la norma AASHTO T 180.

Proceso de relleno y compactación:

De acuerdo a (ANDA, 2015) se especifica que el proceso a seguir para el relleno de tuberías es rellenar simultáneamente ambos lados de la tubería (encostillado) para evitar vacíos y rupturas de la protección exterior de la tubería, este relleno se ejecutara hasta 0.20 m por encima de la corona de tubería. Después de este paso se continuará con el relleno hasta el nivel superior, nivel que coincidirá con el del terreno natural.

El relleno compactado se clasifica en tres tipos, esto depende del lugar donde se instalen las tuberías, las cuales se describen a continuación:

Tipo I. Instalación a campo traviesa, cuando la línea de la tubería se desplaza a campo traviesa y no tenga tráfico vehicular sobre ella, todo el relleno compactado de la zanja alcanzará un 80% de densidad según norma AASHTO T-180.

Tipo II. Instalación en calles principales, cuando la línea de tubería se desplace por calles con tráfico vehicular, el relleno compactado será el 90% de la norma AASHTO T-180 y la capa superficial será al 95% también de la norma AASTHO T-180.

Tipo III. Instalación en caminos secundarios, cuando la línea de tubería se desplace por caminos secundarios con poco tráfico vehicular, el relleno compactado de la zanja será el 90% de la norma AASHTO T-180 en toda su altura.

3.1.7.2 RECARPETEO Y HABILITACIÓN DEL PASO

Este proceso se realiza cuando la zona intervenida esta urbanizada y se refiere a la restauración de la sub base, base y capa de rodadura de la vía intervenida, o de aceras si es el caso, además de la habilitación de la vía o paso que ha sido alterado durante la excavación. El recarpeteo es especialmente importante en áreas urbanas o caminos pavimentados.

Proceso de recarpeteo y habilitación del paso:

- **Recarpeteo:** Este paso es común cuando la perforación ha cruzado caminos pavimentados, calles o aceras. Después de realizar el relleno y compactación, es necesario restaurar la capa de pavimento o asfalto que había sido removido durante la excavación. Para esto, se coloca una nueva capa de asfalto o concreto que coincida con el nivel original de la superficie y las características estructurales del pavimento o aceras que hayan sido removidos este trabajo puede requerir el uso de maquinaria especializada como plantas de asfalto móvil.

El recarpeteo debe garantizar una unión segura entre la nueva capa de pavimento y la existente para evitar futuros daños o fisuras en el camino.

- **Habilitación del paso:** ya sea que la intervención se haya realizado en áreas pavimentadas o caminos de tierra, la habilitación del paso se refiere a asegurar que la zona de excavación quede transitable. Esto puede implicar la nivelación de la superficie, el compactado de la tierra la construcción de capas de rodadura o la instalación de drenajes adecuados para evitar acumulaciones de agua

En terrenos rurales o caminos secundarios, el trabajo de habilitación del paso incluye la recuperación de la vegetación y la restauración de las condiciones iniciales del terreno para garantizar que no haya afectaciones ecológicas.

3.1.8 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRA TERMINADA

El levantamiento topográfico de obra terminada en un proyecto de instalación de tuberías mediante el método de zanjas a cielo abierto consiste en la medición y documentación precisa de la posición, profundidad y características de la tubería instalada, con el fin de registrar la ubicación final de la infraestructura. Este levantamiento es esencial para crear planos "de obra terminada", los cuales son necesarios para el control de calidad, mantenimiento futuro y la verificación del cumplimiento de las especificaciones del proyecto, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- 1. Verificación de la ubicación de las tuberías:** Se comienza revisando el diseño original, analizando los planos iniciales para comprender la ruta y las especificaciones de la línea. Luego, se identifican los puntos de interés, como el inicio y el final de la perforación, los pozos de inspección, las cajas de válvulas y cualquier otro elemento relevante para el proyecto. También se destacan los puntos clave de la instalación, incluyendo los cambios de dirección o pendiente
- 2. Toma de datos y Marcación en campo:** Durante el proceso, se miden las coordenadas planimétricas (X, Y) a lo largo de toda la ruta de la tubería y se registran las elevaciones (Z) en puntos clave para verificar la profundidad de instalación para garantizar un levantamiento detallado y preciso.
Se marcan en los planos y en el campo las ubicaciones exactas de las tuberías, incluyendo sus características como tipo de material, diámetro y uniones, utilizando referencias visibles o marcadores dejados durante la instalación. Esto es esencial para facilitar futuras reparaciones o labores de mantenimiento.
- 3. Informe final:** Se elabora un informe topográfico detallado, se introducen las mediciones en un software (AutoCAD, Civil 3D) para procesar y generar un plano completo con toda la información del

levantamiento. Este debe incluir la ruta planimétrica (vista en planta), el perfil longitudinal que muestre la profundidad y pendiente de la tubería, y la ubicación de puntos clave como pozos, válvulas o uniones. El informe de obra terminada es crucial porque garantiza la calidad del trabajo, permitiendo verificar que se ha cumplido con las especificaciones del diseño. Además, proporciona la documentación técnica esencial para futuras ampliaciones, reparaciones o inspecciones.

3.2 MÉTODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA

3.2.1 ESTUDIOS PRELIMINARES

3.2.1.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico es crucial en un proyecto de PHD, debido que por medio de este se proporciona información esencial sobre las características del terreno, lo que permite planificar y ejecutar el proyecto de manera eficiente.

Con el levantamiento topográfico se identifican los obstáculos naturales como árboles, rocas, caminos, cuerpos de agua, taludes, etc. y obstáculos artificiales como la ubicación de calles, accesos vehiculares, cordones cunetas, aceras, muros, tapaderas de pozos, edificios e infraestructura subterránea existente como tuberías de agua potable, aguas negras, gas, cables eléctricos y de telecomunicaciones, cajas colectoras de aguas lluvias, que deben evitarse durante la perforación para evitar daños costosos.

Figura 44

Proceso de levantamiento topográfico y levantamiento de obstáculos



Nota: Fuente Propia

El resultado de un excelente levantamiento se ve reflejado en los planos topográficos, y adicionalmente un registro fotográfico los cuales ayudan para una mejor comprensión del terreno, diseñar el trazo de la ruta de perforación más corta y eficiente, además facilita la planificación de la ubicación de equipos, materiales en las áreas de trabajo

3.2.1.2 ESTUDIOS DE SUELOS

Una vez recopilada toda la información en superficie mediante la visita técnica y el levantamiento topográfico, se procede a analizar los datos del proyecto, en particular los estudios de suelos. Estos estudios se realizan a lo largo de toda la línea de perforación e instalación, manteniendo distancias entre puntos de muestreo que no superen los 300 metros ni sean inferiores a 50 metros.

El objetivo principal de los estudios de suelos es explorar y obtener información precisa sobre las condiciones del terreno en el área investigada. Entre los aspectos clave que se buscan determinar se encuentran la profundidad, el espesor, la extensión y la composición de cada uno de los estratos, así como la profundidad del nivel freático. Estos datos son fundamentales para garantizar un diseño adecuado y seguro del proyecto. Estos estudios deben realizarse de acuerdo con las normas ASTM aplicables. Entre ellas, destaca el Método Estándar para el *Nota*. Nota. Ensayo de Penetración Estándar y Muestreo Split-Barrel en Suelos, establecido en la norma ASTM D1586.

Las muestras obtenidas se trasladan al laboratorio, efectuándose ensayos de acuerdo a los procedimientos establecidos en las normas ASTM:

- Norma ASTM D2487 “Práctica Estándar para la Clasificación de Suelos para propósitos de Ingeniería (SUCS)”.
- Norma ASTM D 2488 “Práctica Estándar para la Descripción e Identificación de Suelos”.
- Norma ASTM D2216 “Método Estándar para Determinar en Laboratorio el Contenido de Agua (Humedad) de Suelos y Rocas”.
- Norma ASTM D4318 “Método Estándar para Determinar el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos”.

Figura 45

Realización de prueba de penetración estándar SPT



Nota: Fuente Propia

Tabla 17

Condiciones del suelo y capacidad de adecuación de la perforación horizontal dirigida

Condiciones del suelo y capacidad de adecuación de la perforación horizontal dirigida			
Condiciones del suelo	Generalmente Adecuado	Dificultades Pueden ocurrir	Problemas sustanciales
Arcillas, limos y arcillas blandas a muy blandas depósitos orgánicos		x	
Arcillas y limos de media a muy rígida	x		
Arcillas duras y muy meteorizadas esquistos	x		
Arenas muy sueltas a sueltas arriba y debajo del nivel		x	

Condiciones del suelo y capacidad de adecuación de la perforación horizontal dirigida			
Condiciones del suelo	Generalmente Adecuado	Dificultades Pueden ocurrir	Problemas sustanciales
freático (no más de 30 % grava en peso)			
Arenas medias a densas arriba o debajo del nivel freático (no más de 30 % grava en peso)	x		
Arena de grava muy suelta a densa, (30 % a 50 % grava en peso)		x	
Arena gravilla muy suelta a densa (50 % a 85 % grava en peso)			x
Grava muy suelta a muy densa			x
Suelos con importantes cantos rodados, cantos rodados y obstrucciones			x
Rocas meteorizadas, margas, tizas y suelos firmemente cementados	x		
Ligeramente degradado a no degradado rocas		x	

Nota. Tomado de Norma ASTM F 1962-99

La siguiente tabla presenta las diferentes condiciones del suelo y su capacidad de adecuación para la Perforación Horizontal Dirigida (PHD). La categoría “**generalmente adecuada**” indica que el suelo reúne las condiciones óptimas para la instalación de tuberías mediante este método. Por otro lado, la categoría “**dificultades pueden ocurrir**” señala que, aunque es posible realizar la PHD, será necesario realizar ajustes en los equipos para garantizar la máxima eficiencia. Finalmente, la categoría “**problemas sustanciales**” sugiere que la

PHD podría no ser económicamente viable con la tecnología actual, ya que estos casos presentan desafíos significativos.

El riesgo de complicaciones aumenta en suelos con presencia de gravas, cantos rodados, guijarros o en transiciones entre materiales no consolidados y roca sólida. En estas situaciones, se recomienda evaluar otras ubicaciones de perforación o considerar métodos alternativos.

3.2.1.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

El estudio de factibilidad es una herramienta esencial para tomar decisiones sobre la ejecución del proyecto. Debe ser claro, preciso y basado en datos técnicos confiables. Si los estudios demuestran que el terreno, los obstáculos y las condiciones del suelo son adecuados, y que los costos y riesgos son manejables, se puede concluir que el proyecto es factible. En caso contrario, se deben proponer alternativas o ajustes para garantizar el éxito del proyecto.

La factibilidad para un proyecto de instalación de tuberías mediante Perforación Horizontal Dirigida (PHD) es un proceso que requiere una integración cuidadosa de datos y análisis técnicos y económicos. El primer paso es la recopilación de datos, donde se reúne toda la información obtenida de los estudios realizados, como el levantamiento topográfico, la identificación de obstáculos y los análisis de suelos. Estos datos se organizan en tablas, gráficos y planos para facilitar su interpretación y presentación, lo que permite tener una visión clara de las condiciones del terreno y los desafíos potenciales.

Una vez recopilados los datos, se procede al análisis técnico. En esta etapa, se evalúa si las condiciones del terreno, los obstáculos identificados y las propiedades del suelo son adecuados para la ejecución de la PHD. Se diseña una ruta de perforación que minimice riesgos, evite obstáculos y maximice la eficiencia del proceso. Este análisis es crucial para garantizar que el proyecto sea técnicamente viable y seguro.

Posteriormente, se realiza la evaluación económica, donde se calculan los costos asociados al proyecto, incluyendo equipos, mano de obra, materiales. Este paso es esencial para asegurar que el proyecto no solo sea técnicamente factible, sino también rentable.

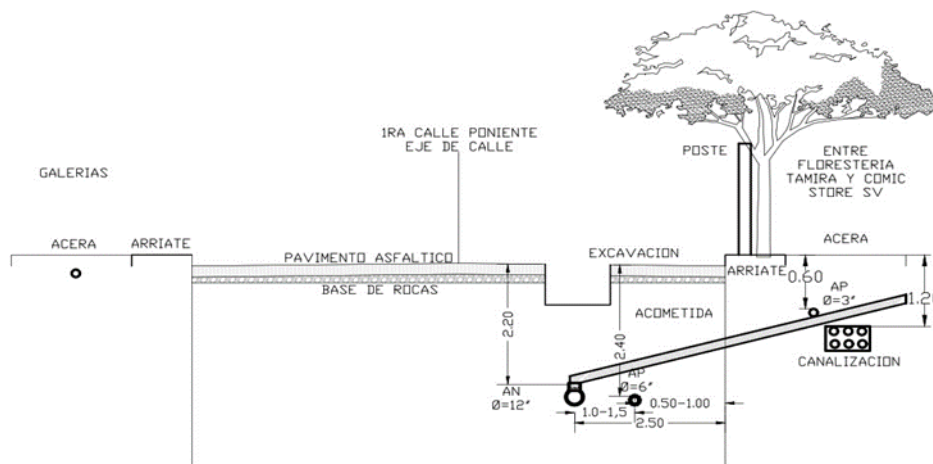
Con toda la información analizada, se procede a la redacción del reporte. Este documento debe utilizar un lenguaje claro, técnico y profesional, e incluir las tablas, gráficos y planos que respalden las conclusiones. La estructura del reporte debe ser lógica y fácil de entender, asegurando que todos los involucrados puedan comprender los resultados y las recomendaciones.

3.2.2 DISEÑO DE LÍNEA DE PERFORACIÓN

Es un proceso técnico que requiere un análisis detallado de las condiciones del terreno, los obstáculos identificados y las propiedades del suelo. En primer lugar, se define la ruta más adecuada basándose en el levantamiento topográfico, el cual proporciona información precisa sobre las dimensiones, pendientes y desniveles del terreno. Posteriormente, se consideran los obstáculos superficiales y subterráneos, como tuberías existentes, cables, pozos o estructuras, con el fin de evitar conflictos durante la perforación. Con estos datos, se traza una línea de perforación a nivel de software por medio de civil 3D que minimice riesgos y optimice la eficiencia del proceso.

Figura 46

Esquema de levantamiento de obstáculos superficiales y



Nota. Adaptada de MANUAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PERFORACIONES HORIZONTALES DIRIGIDAS [Figura], AGUILAR, A., & RODRIGUEZ, C. (2022)

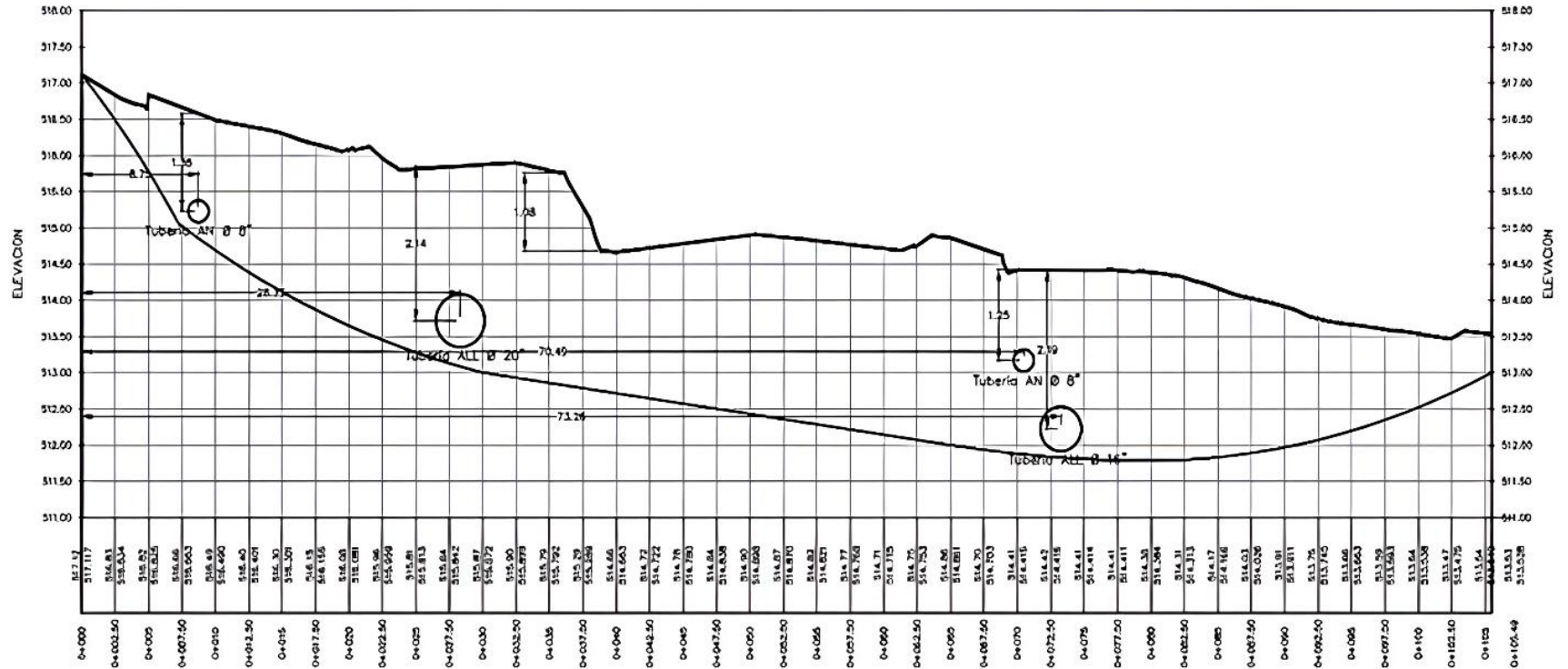
Para el diseño de la línea de perforación, se definen parámetros clave como el sistema al que estará destinada la tubería (por ejemplo, conducción de agua, gas o telecomunicaciones), el diámetro de la tubería, la longitud total, los puntos de conexión (entrada y salida) y el espacio de trabajo requerido para la operación de la maquinaria. Con esta información, junto con los datos recopilados en los planos topográficos y de obstáculos, se inicia el diseño de la trayectoria de perforación. El objetivo es trazar la distancia más corta y efectiva, evitando todos los obstáculos identificados (tuberías existentes, cables, estructuras subterráneas, etc.), Calcular la longitud total de la perforación, considerando la distancia horizontal y la profundidad necesaria para evitar interferencias. Se busca minimizar las curvas excesivas, ya que estas pueden aumentar la resistencia durante la perforación y el halado de la tubería. (ASTMF1962-99)

El diseño se valida mediante software especializado, como Civil3D, que permite modelar la trayectoria, además se verifica el cumplimiento de los requisitos técnicos y normativos, como los establecidos en la norma ASTM F1962-99 (Guía para la Perforación Horizontal Dirigida).

Figura 47

Perfil longitudinal de línea de perforación y obstáculos subterráneos

PERFIL LOGITUDINAL DEL TERREÑO NATURAL



PERFIL LOGITUDINAL

Esc.V. 1:50
Esc.H. 1:250

Nota. Adaptada de MANUAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PERFORACIONES HORIZONTALES DIRIGIDAS [Fotografía], AGUILAR, A., & RODRIGUEZ, C. (2022)

3.2.3 REPLANTEO DE LÍNEA DE PERFORACIÓN.

Una vez analizada toda la información recopilada en las etapas previas, se procede al replanteo de la línea de perforación. Este proceso consiste en marcar y definir físicamente en el terreno el recorrido exacto que seguirá la perforación subterránea, asegurando que la trayectoria sea precisa y cumpla con los requisitos del proyecto. En caso de que sea necesario evitar algún obstáculo, se marca un punto específico que indica la profundidad y la distancia a la que se encuentra, permitiendo ajustar la trayectoria de manera adecuada.

El replanteo también permite evaluar el espacio físico necesario para la maquinaria de perforación, el cual incluye dos áreas principales: la entrada, ubicada antes del cruce, y la salida, situada después del cruce. En el área de entrada se instala el equipo de perforación, junto con el sistema de bombeo y manejo de fluidos. Por otro lado, en el área de salida se colocan la tubería a instalar, la maquinaria para termofusión y todas las herramientas necesarias, ya que es en este punto donde la tubería, unida como un solo elemento, será introducida. La ubicación de estas áreas se selecciona considerando factores como la interrupción del flujo vehicular, la visibilidad, la obstaculización de accesos, en general el punto de entrada es aquel que tiene mayor espacio de trabajo.

Además, para determinar la posición de la máquina, es esencial garantizar que la línea de perforación alcance la elevación correcta sin someter a las barras de perforación o a la tubería a flexiones excesivas. Dado que el ángulo de entrada oscila entre 8 y 16 grados (ASTMF1962-99) y la profundidad inicial suele ser cercana a un metro, la distancia horizontal requerida desde el punto de entrada generalmente varía entre 1 y 6 metros.

En cuanto a las dimensiones del espacio, para un sistema de perforación horizontal dirigida (PHD), el área mínima requerida en la zona de entrada se basa en una configuración geométrica rectangular de 100 pies (30.48 metros) de ancho por 150 pies (45.72 metros) de largo (García, 2019). Estas dimensiones representan el espacio ideal para realizar los trabajos de manera eficiente, aunque no siempre es posible contar con un área de estas proporciones. Por su parte, el área de salida debe disponer de un espacio adicional de 50 pies (15.24 metros) para facilitar la colocación de la tubería y su posterior halado. La planificación adecuada de estas áreas es fundamental para garantizar la ejecución eficiente y segura del proyecto

3.2.4 PERFORACIÓN

3.2.4.1 PERFORACIÓN PILOTO

La perforación piloto en el método de perforación horizontal dirigida que consiste en crear un agujero guía a lo largo de la trayectoria diseñada y replanteada en campo que servirá como referencia para el ensanchamiento posterior y la instalación de la tubería, a continuación, se describe el proceso paso a paso junto con las herramientas y equipos necesarios.

Antes de iniciar la perforación piloto, es esencial preparar y verificar todo el equipo y las herramientas necesarias, la máquina perforadora, que es el componente principal debe tener la capacidad adecuada para la longitud y el diámetro a instalar, las barras de perforación son de acero se conectan entre sí para alcanzar la profundidad y longitud requeridas, la broca de perforación piloto se selecciona según el tipo de suelo, brocas cónicas para suelos blandos y brocas con insertos de carburo para suelos duros o roca, además se utiliza e instala un sistema de guiado que incluye un transmisor en la broca y un localizador en superficie para monitorear la posición y dirección de la perforación en tiempo real. El fluido de perforación (una mezcla de bentonita y agua) se

prepara para lubricar la broca, estabilizar el pozo, en términos generales la proporción de bentonita en la mezcla de lodo de perforación suele oscilar entre 2% y 6% en peso por volumen de agua, esto significa que por cada 100 litros de agua se añaden entre 2 y 6 kilogramos de bentonita a la bomba de lodo para inyectar este fluido a alta presión a través de las barras de perforación.

Figura 48

Esquema que muestra los equipos necesarios en la perforación piloto



Nota. Adaptado de Perforación Horizontal Direccional en obstáculos urbanos, ilustración del método de la perforación horizontal dirigida, Fernando Sánchez García, 2019,

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/17148/3/Tesis.pdf>

Una vez que el equipo está listo, la máquina perforadora se coloca en el punto de entrada, el cual es una excavación previamente realizada con las dimensiones que se requieran dependiendo la profundidad de diseño que se desea alcanzar. El sistema de guiado se instala y configura en este punto, con el transmisor colocado en la broca y el localizador en superficie listo para recibir las

señales de posición y dirección. Esta configuración inicial es fundamental para garantizar que la perforación comience con la precisión necesaria.

Figura 49

Máquina perforadora en posición de perforación y localización de sonda con localizador (Digitrak)



Nota: Fuente Propia

Con todo en su lugar transmisor y receptor listos, se inicia la perforación piloto, la broca comienza a avanzar a través del suelo, mientras la máquina empuja las barras de perforación, simultáneamente el fluido de perforación se inyecta a través de las barras para lubricar la broca y enfriarla, este fluido también ayuda a mantener la estabilidad del pozo, evitando colapsos. Durante esta etapa, el operador monitorea constantemente la posición, profundidad y dirección de la broca utilizando el sistema de guiado. Cualquier desviación de la trayectoria planeada se corrige de inmediato para mantener la precisión.

Figura 50

Localización de transmisor para guiar perforación



Nota: Fuente Propia

La perforación piloto continúa hasta que la broca emerge en el punto de salida, completando así la trayectoria guía, en este punto se verifica que la broca haya alcanzado la posición correcta utilizando el sistema de guiado y una vez confirmada la precisión de la perforación, la broca se retira del pozo, dejando el agujero guía listo para la etapa de ensanchamiento, este agujero servirá como referencia para las siguientes fases del proceso, asegurando que la instalación de la tubería se realice de manera eficiente y segura.

Figura 51

Finalización de perforación piloto



Nota: Fuente Propia

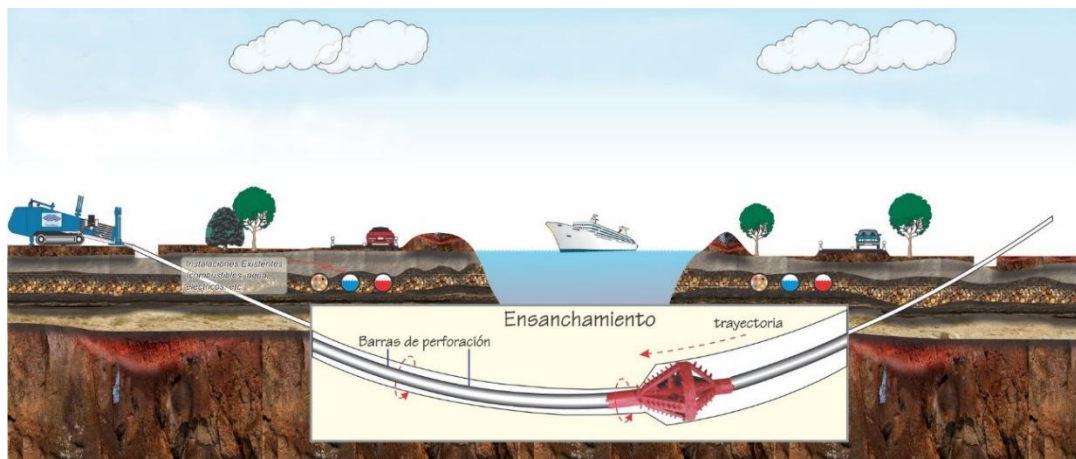
3.2.4.2 EXPANSIÓN DE PERFORACIÓN PILOTO

La expansión de la perforación piloto es la segunda etapa en el método de perforación horizontal dirigida. Consiste en ensanchar el agujero guía creado durante la perforación piloto hasta alcanzar el diámetro necesario para la instalación de la tubería. Este proceso garantiza que la tubería pueda ser halada a través del pozo sin problemas.

Antes de iniciar la expansión del agujero piloto, es fundamental preparar y verificar todo el equipo y las herramientas necesarias. El ensanchador (también conocido como Reamer) es la pieza clave en esta etapa, ya que es la herramienta encargada de agrandar el diámetro del pozo. Existen diferentes tipos de reamer, como los triconos para suelos duros o roca, y los de corte para suelos blandos. Además, se utilizan las mismas barras de perforación empleadas en la etapa piloto, las cuales se conectan al reamer para transmitir la fuerza de halado desde la máquina perforadora. El fluido de perforación (una mezcla de bentonita y agua) sigue siendo esencial para lubricar el reamer y estabilizar el pozo. La bomba de lodo se encarga de inyectar este fluido a alta presión a través de las barras de perforación.

Figura 52

Esquema de expansión de la perforación piloto



Nota. Adaptada de Abaunza, J. A. P. (s. f.). DIRECTOR: ING. LUÍS ALBERTO JARAMILLO. [Figura], agua, C. I. (Diciembre de 2009). SCRIBD.

<https://es.scribd.com/document/371511990/Tabla-Anchos-de-Zanja>

Una vez listo el equipo, se conecta el reamer a las barras de perforación en el punto de salida, asegurando que su diámetro sea el adecuado para alcanzar el tamaño requerido del pozo. En algunos casos, se realizan varias pasadas con reamers de diámetros crecientes para evitar sobrecargar el equipo y lograr una expansión uniforme, Por ejemplo, si el diámetro final es de 24 pulgadas, se puede comenzar con un reamer de 12 pulgadas y luego usar uno de 18 pulgadas antes de alcanzar el tamaño final de 24 pulgadas.

Con el reamer correctamente instalado, la perforadora comienza a halarlo desde el punto de salida hacia el punto de entrada, ampliando gradualmente el agujero piloto. Durante este proceso, se inyecta fluido de perforación para lubricar el reamer y estabilizar el pozo, mientras se monitorean la presión del fluido y la fuerza de halado. Si se detecta resistencia excesiva u obstrucciones, se ajustan

la velocidad de avance o la presión del fluido para evitar daños al equipo o al pozo.

Figura 53

Reamer conectado para iniciar expansión de perforación piloto



Nota: Fuente Propia

Una vez que el ensanchador alcanza el punto de entrada, se verifica que el diámetro del túnel perforado sea el adecuado para la instalación de la tubería. En este punto, se realiza una inspección para asegurar que no haya obstrucciones o irregularidades que puedan dificultar el tirado de la tubería. Finalmente, se lleva a cabo una pasada final con el reamer para limpiar cualquier residuo que pueda haber quedado en el pozo. El fluido de perforación se utiliza para asegurar que el pozo esté completamente limpio y estable, listo para la etapa de instalación de la tubería, este paso final es crucial para garantizar que el pozo esté en óptimas condiciones y que la tubería pueda ser halada sin problemas.

3.2.5 INSTALACIÓN DE TUBERÍAS

La instalación de tuberías de polietileno de alta densidad se compone de dos fases importantes que se ejecutan de manera simultánea, ambas deben completarse al mismo tiempo, de modo que cuando una finaliza, la otra también debe haber concluido.

Mientras se lleva a cabo la perforación piloto y posteriormente su expansión, es fundamental realizar la unión de las tuberías de manera simultánea y planificada, este proceso asegura que al finalizar la expansión y cuando las barras de perforación regresen a la trinchera de salida (también conocida como trinchera de entrada del tubo), las tuberías estén completamente ensambladas y listas para ser haladas a través del túnel.

La unión de las tuberías se realiza en la trinchera de salida, donde los tramos de tubería de polietileno de alta densidad se conectan entre sí mediante técnicas de termofusión, dependiendo de las especificaciones del proyecto este ensamble debe realizarse de manera secuencial y cuidadosa, asegurando que cada unión cumpla con los estándares de resistencia y estanqueidad requeridos.

En resumen, la unión de las tuberías es un proceso clave que debe realizarse de manera coordinada con las etapas de perforación y expansión, garantizando que, al finalizar estas fases, las tuberías estén listas para ser haladas de manera eficiente y segura. Este enfoque planificado minimiza los tiempos de espera y optimiza la ejecución del proyecto.

3.2.5.1 UNIÓN DE TUBERÍA

La unión de tuberías de polietileno es el proceso por el cual se conectan los tubos de polietileno mediante un método especializado (ver Figura 54),

formando un sistema continuo que permite crear tramos o tuberías completas, listas para el halado. Este paso es esencial en la instalación de tuberías, ya que garantiza la integridad de las conexiones, previene fugas y asegura la durabilidad del sistema.

Las tuberías de polietileno de alta densidad y de densidad media están especialmente diseñadas para aplicaciones de perforación dirigida. Estas tuberías cumplen con las especificaciones ASTM D2447 y ASTM F714. Si se suministran en segmentos cortos, deben unirse mediante la técnica de fusión a tope, conforme a la norma ASTM F2620-13 “Práctica estándar para Uniones por Termo-fusión de Tuberías y Accesorios de Polietileno”.

Termofusión a tope (Soldadura por fusión térmica)

Figura 54

Máquina hidráulica para termofusión, RITMO Delta 500 Tráiler



Nota. Adaptada de RITMO Plastic Welding Technology. [Fotografía], Máquina hidráulica para termofusión, RITMO Delta 500 Tráiler, 2025, <https://www.ritmo.it/es/products/fusion-a-tope-tubos-de-presion/trailer-soldadoras-para-alta-presion/delta-500-trailer/>

Este método, es el más común y confiable, consiste en la unión de dos elementos de polietileno de alta densidad de igual espesor (tubos y/o accesorios). El proceso comienza calentando las superficies a soldar mediante un plato calentador, llamado elemento térmico, hasta que el material se ablanda,

una vez alcanzada la temperatura adecuada, el elemento térmico se retira y, aplicando presión, se unen las partes, obteniendo una soldadura sólida.

La unión se produce por la compenetración de las superficies reblandecidas, gracias a la difusión molecular que ocurre al calentar los bordes, junto con el contacto visco-elástico generado al aplicar presión a altas temperaturas esto provoca la expulsión del material ablandado, logrando una fusión efectiva, al calentar el polietileno, su estructura molecular cambia de un estado cristalino o amorfo; bajo presión, las moléculas de ambos tubos se mezclan. Durante el enfriamiento, las moléculas regresan a su forma cristalina, eliminando el punto de contacto original y creando una unión homogénea, como resultado, la superficie de la soldadura adquiere la misma resistencia interna que los tubos, soportando tanto condiciones de tensión como de presión.

Figura 55

Termofusión de tubería de 20"

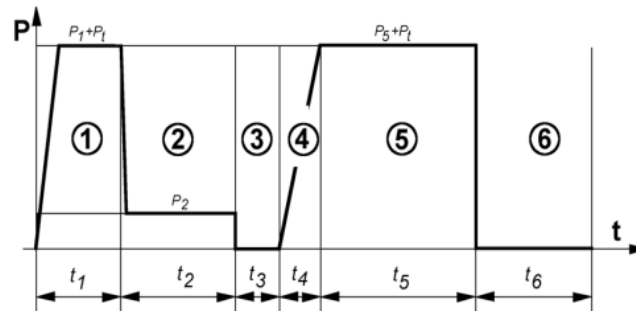


Nota: Fuente Propia

PROCESO DE SOLDADURA

Figura 56

Esquema de los tiempos del proceso de soldadura



Nota. Adaptado MANUAL DE INSTRUCCIONES Y MANTENIMIENTO DELTA 500 TR-E. RITMO PLASTIC WELDING TECHNOLOGY [Grafico], Esquema de los tiempos del proceso de soldadura, 2025 <https://ormaquinarias.com.pe/wp-content/uploads/2022/11/Basic-Manual-de-Operacion.pdf>

Fase 1 – Acercamiento, precalentamiento

Fase 2 – Calentamiento

Fase 3 – Extracción del elemento térmico

Fase 4 – Alcance de presión de soldadura

Fase 5 – Soldadura

Fase 6 – Enfriamiento

La selección de las presiones y tiempos de fusión depende del diámetro de la tubería y su DR (relación entre el diámetro externo del tubo y el espesor mínimo de su pared). Como se muestra en la Figura 55, se determina el ancho mínimo del labio A, que se genera durante el tiempo t_1 y bajo la presión p_1 , que son las necesarias para asegurar el contacto entre las caras de la tubería y la plancha de calentamiento. Posteriormente, se aplica la presión p_2 , que es la de arrastre, para evitar la deformación del labio debido al exceso de presión durante

el tiempo t_2 , el cual puede variar según las condiciones climáticas. Durante el tiempo t_3 , se retira la plancha de calentamiento sin deformar los labios generados. En el tiempo t_4 , la máquina de termofusión comienza a aumentar la presión gradualmente, coincidiendo con el momento en que se retira la plancha. Finalmente, en el tiempo t_5 , que corresponde a la soldadura, se mantiene la presión constante p_5 sobre las caras de las tuberías que se van a termo fundir. Luego, se deja reposar la tubería sin presión para permitir las inspecciones correspondientes. (RITMO500)

Una vez que la tubería está unida, el puller es un accesorio metálico esencial para el proceso de instalación mediante perforación horizontal dirigida. Este dispositivo está diseñado específicamente para conectar la tubería fusionada al reamer (ensanchador), permitiendo que la fuerza de halado se transfiera de manera eficiente y segura. El puller está compuesto por una camisa de acero que envuelve un tubo, el cual se termofunde al inicio de la tubería de polietileno de alta densidad, facilitando el halado y evitando que los fluidos de perforación, ingresen al interior de la tubería durante la instalación.

Una vez que las barras de perforación y el reamer está acoplado a la tubería mediante el puller. En este punto, la máquina perforadora inicia su regreso, lo que permite el halado controlado de la tubería a través del túnel previamente ensanchado. Este proceso garantiza que la tubería se instale de manera segura y eficiente, sin sufrir daños.

Figura 57

Termofusión de puller con tubería completa



Nota: Fuente Propia

3.2.1.1 HALADO DE TUBERÍA

Una vez que se haya logrado el diámetro del túnel deseado, se procede a la introducción de la tubería, la cual ya está previamente termofundida en su longitud total, la tubería alineada se acopla a las barras de perforación con el reamer y unida al puller es introducida en el túnel. A partir de aquí, la perforadora atrae las barras través del túnel, haciendo que la tubería entre poco a poco en el hasta llegar al extremo.

Figura 58

Proceso de acoplar la tubería en Reamer para proceder al halado e instalación de la tubería



Nota: Fuente Propia

La máquina perforadora se prepara para halar la tubería, ajustando los parámetros de fuerza y velocidad con el fin de garantizar un halado controlado y seguro, el fluido de perforación se inyecta continuamente para lubricar la tubería y reducir la fricción con las paredes del túnel. Durante este proceso, es fundamental asegurar que el sistema de guiado esté operando, ya que permite monitorear en tiempo real la posición y la alineación de la tubería, así como detectar cualquier desviación o irregularidad que pueda surgir. Este monitoreo constante asegura que el halado se realice de manera eficiente, minimizando riesgos y garantizando que la tubería avance correctamente a través del túnel previamente perforado y ensanchado.

Una vez que la tubería emerge en el punto de entrada, se detiene el proceso de halado y se verifica que esté correctamente instalada, asegurándose de que no haya daños visibles. Posteriormente, se procede a desconectar el puller y el reamer de la tubería y las barras de perforación, inspeccionando ambos componentes para garantizar que se encuentren en buenas condiciones y puedan ser utilizados en futuros proyectos. Este paso final es crucial para confirmar que la instalación se ha realizado con éxito y que el equipo está listo para su próximo uso.

Figura 59

Tubería instalada en trinchera de salida



Nota: Fuente Propia

3.2.6 PRUEBA DE HERMETICIDAD Y PRESIÓN

Este proceso tiene como objetivo verificar que la tubería puede soportar las condiciones de operación para las que fue diseñada, sin presentar fugas o deformaciones.

Antes de iniciar la prueba, es necesario preparar adecuadamente los extremos de la tubería, este proceso incluye la instalación de accesorios temporales en ambos extremos de la línea, se colocan tapaderas ciegas de hierro fundido o acero galvanizado aseguradas mediante bridas con pernos, estas tapaderas están equipadas con:

- Válvula de paso.
- Manómetro calibrado de alta precisión.
- Válvula de purga de aire.

La tubería se llena completamente de agua, generalmente desde el punto más bajo del tramo, para facilitar la expulsión del aire, es fundamental eliminar todo el aire contenido en el sistema, ya que su presencia puede causar lecturas erróneas durante la prueba y afectar la evaluación de la presión, se recomienda utilizar agua limpia y si es posible libre de residuos sólidos, para evitar obstrucciones en las válvulas o conexiones temporales.

Una vez desairada la tubería, se procede a aplicar la presión de prueba utilizando una máquina generadora de presión, como una limpiadora de chorro de agua a presión (modelo KJ3100), hasta alcanzar un valor superior al de la presión nominal de trabajo del sistema e inmediatamente se inicia el periodo de prueba, usualmente de 24 horas y durante este tiempo:

- Se monitorea continuamente la presión mediante manómetros precisos.
- No debe existir una disminución apreciable de la presión.
- No debe ser necesario reintroducir agua al sistema.

Al finalizar el periodo de observación, si se detecta una disminución de la presión, se deben investigar posibles causas, tales como: verificar si las tapaderas ciegas están correctamente ajustadas, revisar las válvulas de purga de aire o inspeccionar la línea de instalación de manera superficial y si la presión se mantiene constante y no se ha añadido agua adicional, la tubería pasa la prueba de presión e impermeabilidad y se procede a su aprobación por las entidades correspondientes.

3.2.7 DESINFECCIÓN DE TUBERÍA

Una vez que la instalación de las tuberías esté terminada, es fundamental realizar la desinfección de la red para eliminar cualquier posible contaminación o presencia de bacterias. Este proceso se lleva a cabo utilizando cloro u otros desinfectantes aprobados.

La desinfección de tuberías nuevas en instalaciones de agua potable generalmente se realiza conforme a la **ANSI/AWWA C651-14** esta norma establece los procedimientos recomendados para la desinfección de las tuberías y equipos de distribución de agua potable, incluidos los sistemas de tuberías nuevas.

La norma ANSI/AWWA C651-14 especifica las prácticas y procedimientos para desinfectar las tuberías nuevas y los equipos de distribución para asegurar que el agua potable no esté contaminada por microorganismos patógenos. Esto incluye el uso de soluciones desinfectantes, como el cloro o el hipoclorito de sodio, en concentraciones y tiempos de exposición que garanticen la eliminación de posibles contaminantes sin comprometer la calidad del agua.

Procedimiento general para la desinfección según ANSI/AWWA C651-14

3. Preparación de las tuberías: Asegurarse de que las tuberías estén completamente limpias y libres de escombros, polvo y materiales extraños.

4. Aplicación del desinfectante: De acuerdo a la norma **ANSI/AWWA C651-14** la desafección de tuberías se puede hacer por cuatro métodos: tabletas, alimentación continua, goteo y rociado, los cuales se describen a continuación:

Método de cloración con tabletas o gránulos

El método de tabletas consiste en colocar gránulos o tabletas de hipoclorito de calcio en la tubería principal de agua durante la instalación y luego llenarla con agua potable para crear una solución de cloro. Este método se puede utilizar solo si las tuberías y accesorios se mantienen limpios y secos durante la construcción.

Este procedimiento no se debe utilizar en tuberías de plástico soldadas con solvente o en tuberías de acero con juntas atornilladas debido al peligro de incendio o explosión por la reacción de los compuestos para juntas con el hipoclorito de calcio.

Llenado y tiempo de contacto. Cuando se haya completado la instalación, la tubería principal se llenará con agua de manera que la velocidad total de la tubería no sea mayor a 1 pie/seg (0,3 m/seg). La velocidad de llenado se debe controlar cuidadosamente para garantizar que las tabletas no se desprendan de la tubería. Se deben tomar precauciones para garantizar que se eliminen las bolsas de aire

El agua clorada permanecerá en la tubería durante al menos 24 horas. Si la temperatura del agua es inferior a 41 °F (5 °C), el agua permanecerá en la tubería durante al menos 48 horas. Se deberá encontrar un residuo de cloro libre detectable ($\geq 0,2$ mg/L) en cada punto de muestreo después del período de 24 o 48 horas.

Método de cloración de alimentación continua

El método de alimentación continua consiste en llenar completamente la tubería principal con agua potable que haya sido clorada a 25 mg/L. Después de un período de retención de 24 horas en la tubería principal, debe haber un residuo de cloro libre de no menos de 10 mg/L.

El agua potable puede suministrarse desde una conexión temporal protegida contra reflujo al sistema de distribución existente.

El dispositivo de control de conexión cruzada debe ser coherente con el grado de riesgo para la protección contra reflujo del sistema de distribución activo.

Método de cloración por goteo

El método de cloración por goteo consiste en llenar completamente la tubería principal para eliminar las bolsas de aire, enjuagar la tubería principal para eliminar las partículas y luego hacer fluir lentamente por la tubería principal un chorro de agua dosificada con cloro a una concentración de 100 mg/L. La velocidad lenta del flujo garantiza que todas las partes de la tubería principal y sus accesorios estarán expuestos al agua altamente clorada durante un período no inferior a 3 horas.

El agua potable puede suministrarse desde una conexión temporal protegida contra reflujo al sistema de distribución existente. El dispositivo de control de conexión cruzada debe ser coherente con el grado de peligro para la protección contra reflujo del sistema de distribución activo

En ausencia de un medidor, la velocidad puede aproximarse utilizando un medidor de Pitot en la descarga, midiendo el tiempo para llenar un recipiente de volumen conocido o midiendo la trayectoria de la descarga.

Sección 4.6 Desinfección por aspersión para líneas de transmisión de gran tamaño

En el caso de líneas de transmisión de gran tamaño (en las que el personal o el equipo pueden ingresar de manera segura), la desinfección por aspersión puede ser un medio adecuado y eficaz para lograr la desinfección. Para este método, consulte la norma ANSI/AWWA C652, sección 4.3.2 (Desinfección de instalaciones de almacenamiento de agua; método de cloración 2). En general, una vez que se haya limpiado la tubería, rocíe una solución de cloro libre de 200 mg/L en todas las superficies. Después de 30 minutos, llene la línea y tome la muestra cómo se describe en la sección 5.1. tomado y adaptado de (AWWA C651.Pdf)

3.2.8 RESTAURACIÓN DEL TERRENO

Este trabajo tiene por objeto proteger la tubería para darle un soporte firme y continuo que asegure el adecuado comportamiento de la instalación que sirva como amortiguador del impacto de cargas externas. Este trabajo debe ser cuidadosamente supervisado y nunca debe ser considerado como una simple acción de empuje del material excavado al interior de la zanja. Incluye la compactación con material de banco de préstamo o material del lugar si sus características son de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto hasta el nivel de subbase, así como también la restitución de pavimentos y aceras que hubieren sido intervenidas en zonas ya urbanizadas.

3.2.8.1 RELLENO Y COMPACTACIÓN

Una vez que la tubería ha sido instalada exitosamente y se han retirado los equipos y herramientas, se procede al relleno de las dos excavaciones hechas, iniciando con la limpieza del área para retirar residuos de bentonita, lodo, agua y otros materiales, que interfieran con la compactación, el relleno puede realizarse con el mismo material excavado o con un material granular seleccionado que permita una compactación eficiente; en zonas urbanas o de

tráfico vehicular, se recomienda el uso de material de blanco o mezcla arena-cemento para asegurar la estabilidad estructural, este relleno se lleva a cabo en capas sucesivas no mayores a 20 o 30 centímetros de espesor suelto, compactando cada capa mediante equipos o bien mediante equipos mecánicos, el grado de compactación alcanzado debe cumplir con lo establecido en los planos o especificaciones técnicas, siendo común exigir un mínimo del 90% del Proctor estándar en áreas verdes y entre 95% y 98% en vialidades o zonas de carga, garantizando así la estabilidad y durabilidad de la superficie intervenida.

Este paso se refiere a la acción de llenar las zanjas o excavaciones abiertas durante el proceso de perforación con material adecuado y compactarlo correctamente para evitar hundimientos o problemas posteriores en el terreno este proceso debe efectuarse conforme a la norma AASHTO T 180.

Proceso de relleno y compactación:

De acuerdo a ANDA, 2015 se especifica que el proceso a seguir para el relleno de tuberías es rellenar simultáneamente ambos lados de la tubería (encostillado) para evitar vacíos y rupturas de la protección exterior de la tubería, este relleno se ejecutara hasta 0.20 m. por encima de la corona de tubería. Después de este paso se continuará con el relleno hasta el nivel superior, nivel que coincidirá con el del terreno natural.

El relleno compactado se clasifica en tres tipos, esto depende del lugar donde se instalen las tuberías, las cuales se describen a continuación:

- **Tipo I.** Instalación a campo traviesa. Cuando la línea de la tubería se desplaza a campo traviesa y no tenga tráfico vehicular sobre ella, todo el relleno compactado de la zanja alcanzará un 80% de densidad según norma AASHTO T-180.
- **Tipo II.** Instalación en calles principales. Cuando la línea de tubería se desplace por calles con tráfico vehicular, el relleno compactado será el

90% de la norma AASHTO T-180 y la capa superficial será al 95% también de la norma AASTHO T-180.

- **Tipo III.** Instalación en caminos secundarios. Cuando la línea de tubería se desplace por caminos secundarios con poco tráfico vehicular, el relleno compactado de la zanja será el 90% de la norma AASHTO T-180 en toda su altura.

3.2.8.2 RECARPETEO Y HABILITACIÓN DEL PASO

Este proceso se realiza cuando la zona intervenida está urbanizada y se refiere a la restauración de la subbase, base y capa de rodadura de la vía afectada o de aceras si es el caso, además de la habilitación del paso vehicular o peatonal que ha sido alterado durante la excavación, el recarpeteo es especialmente importante en áreas urbanas o caminos pavimentados, ya que garantiza la recuperación funcional y estética de la vía este procedimiento es similar al que se realiza en el método de instalación por zanja a cielo abierto con la única diferencia de que en el caso de la perforación horizontal dirigida, la restauración se limita únicamente a las excavaciones puntuales realizadas para la entrada y salida de la tubería, reduciendo así significativamente el impacto en la superficie y disminuyendo los costos y tiempos de rehabilitación vial.

Proceso de recarpeteo y habilitación del paso:

- **Recarpeteo:** Este paso es común cuando la perforación ha cruzado caminos pavimentados, calles o aceras. Después de realizar el relleno y compactación, es necesario restaurar la capa de pavimento o asfalto que había sido removido durante la excavación. Para esto, se coloca una nueva capa de asfalto o concreto que coincida con el nivel original de la superficie y las características estructurales del pavimento o aceras que hayan sido removidos este trabajo puede este trabajo puede requerir el uso de maquinaria especializada como plantas de asfalto móvil.

El recarpeteo debe garantizar una unión segura entre la nueva capa de pavimento y la existente para evitar futuros daños o fisuras en el camino.

- **Habilitación del paso:** ya sea que la intervención se halla realizado en áreas pavimentadas o caminos de tierra, la habilitación del paso se refiere a asegurar que la zona de excavación quede transitable. Esto puede implicar la nivelación de la superficie, el compactado de la tierra la construcción de capas de rodadura o la instalación de drenajes adecuados para evitar acumulaciones de agua

En terrenos rurales o caminos secundarios, el trabajo de habilitación del paso incluye la recuperación de la vegetación y la restauración de las condiciones iniciales del terreno para garantizar que no haya afectaciones ecológicas

3.2.9 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRA TERMINADA

El levantamiento topográfico de obra terminada en un proyecto de instalación de tuberías mediante el método de perforación horizontal dirigida consiste en la medición y documentación precisa de la posición, profundidad y características de la tubería instalada, con el fin de registrar la ubicación final de la infraestructura. Este levantamiento es esencial para crear planos "de obra terminada", los cuales son necesarios para el control de calidad, mantenimiento futuro y la verificación del cumplimiento de las especificaciones del proyecto.

- 1. Verificación de la ubicación de las tuberías:** Se comienza revisando el diseño original, analizando los planos iniciales para comprender la ruta y las especificaciones de la línea. Luego, se identifican los puntos de interés, como el inicio y el final de la perforación, los pozos de inspección, las cajas de válvulas y cualquier otro elemento relevante para el proyecto. También se destacan los puntos clave de la instalación, incluyendo los cambios de dirección o pendiente
- 2. Toma de datos y Marcación en campo:** Durante el proceso, se miden las coordenadas planimétricas (X, Y) a lo largo de toda la ruta de la tubería y se

registran las elevaciones (Z) en puntos clave para verificar la profundidad de instalación para garantizar un levantamiento detallado y preciso.

Se marcan en los planos y en el campo las ubicaciones exactas de las tuberías, incluyendo sus características como tipo de material, diámetro y uniones, utilizando referencias visibles o marcadores dejados durante la instalación, esto es esencial para facilitar futuras reparaciones o labores de mantenimiento.

- 3. Informe final:** Se elabora un informe topográfico detallado, se introducen las mediciones en un software (AutoCAD, Civil 3D) para procesar y generar un plano completo con toda la información del levantamiento este debe incluir la ruta planimétrica (vista en planta), el perfil longitudinal que muestre la profundidad y pendiente de la tubería, y la ubicación de puntos clave como pozos, válvulas o uniones, el informe de obra terminada es importante porque garantiza la calidad del trabajo, permitiendo verificar que se ha cumplido con las especificaciones del diseño, además, proporciona la documentación técnica esencial para futuras ampliaciones, reparaciones o inspecciones.

CAPÍTULO IV
COMPARACIÓN DE
MÉTODOS A
TRAVÉS DE UN
CASO DE ESTUDIO

4.1 DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El presente estudio abordará de manera teórica la instalación de la tubería de agua potable para abastecer el proyecto denominado Condominio “Las Nubes”, mediante el análisis comparativo de dos métodos de instalación: la perforación horizontal dirigida y el método tradicional de zanja a cielo abierto, a través de una descripción detallada y paso a paso de cada proceso constructivo, se expondrá cómo se ejecutó el proyecto utilizando el método de PHD y como se ejecutaría por el método de zanjas a cielo abierto, considerando aspectos como la planificación, maquinaria requerida, condiciones del terreno, tiempos de ejecución, consideraciones técnicas y análisis económico. Este enfoque permitirá comprender las ventajas, desventajas y requerimientos específicos de cada método, con el fin de ofrecer una visión integral sobre la aplicabilidad de estas tecnologías en proyectos de conducción de agua potable.

El proyecto consistió en la Perforación e Instalación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad para línea de aducción de Ø4” y de impelencia de Ø6” para agua potable”, cuyo objetivo principal fue garantizar el suministro eficiente de agua mediante la instalación de dos tramos específicos de tubería de PEAD. El primer tramo una línea de aducción de Ø4” con una longitud de 128.5 metros, se diseñó para transportar agua desde una tubería existente de hierro fundido de Ø10” propiedad de ANDA en la cual se realizó un entronque ubicado en el arriate central de la carretera que conecta del Puerto de la Libertad con la carretera hacia Comasagua del que parte la nueva tubería de PEAD, hasta el punto de conexión con una cisterna con capacidad de 50 m³, ubicada en un terreno sobre la carretera a Comasagua, el segundo tramo correspondiente a una línea de impelencia de Ø6” con una longitud de 1257.5 metros, la cual tiene como función conducir el agua por bombeo desde la cisterna de almacenamiento hasta el área donde se construirá el proyecto Condominio “Las Nubes”.

4.2 ANALISIS DEL MÉTODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA

Figura 60

Ubicación del Proyecto CONDOMINIO "LAS NUBES", en carretera a Comasagua, Distrito de Comasagua, la Libertad Sur



Nota: Adaptado de Google Earth [Mapa], 2025

https://www.google.com/maps/@13.6542041,89.2849394,17.75z?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MTEwOS4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D

Partiendo de la descripción del caso de estudio en el que se aborda el proyecto del Condominio "Las Nubes", el cual fue ejecutado íntegramente utilizando el método de Perforación Horizontal Dirigida, se procede a describir paso a paso el proceso constructivo que se implementó en este proyecto en específico, detallando los procedimientos técnicos, la maquinaria y los equipos

especializados que se utilizaron para garantizar una ejecución exitosa del proyecto.

4.2.1 ESTUDIOS PRELIMINARES

Los estudios preliminares necesarios para determinar la factibilidad del proyecto fueron únicamente el levantamiento topográfico y el estudio de suelos los cuales se detallan a continuación:

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Como primer paso antes de iniciar con el levantamiento topográfico se realizó una visita técnica y recorrido al lugar donde se ejecutaría el proyecto para tener un panorama más amplio, al momento de realizar la inspección de campo en el lugar se observó lo siguiente: el área de estudio que se localiza sobre la carretera que conduce a Comasagua, Distrito de Comasagua, Municipio de la Libertad Sur, corresponde al tramo lateral derecho de la carretera, posee una longitud aproximada de 1,386 m, partiendo de la intersección de la Carretera del Puerto de La Libertad hasta finalizar frente al área donde se construirá el condominio “Las Nubes” y también frente a la Residencial Alturas de Tenerife. La vía presenta un pavimento asfáltico de 10 cm de espesor con pendientes pronunciadas y curvas cerradas de radio reducido, conformada por dos carriles de 3.5 m cada uno sin separación central y con tránsito vehicular intenso debido a su conexión con zonas turísticas, la infraestructura subterránea incluye redes de drenaje, cableado eléctrico, telecomunicaciones y tuberías de agua potable existentes.

Posteriormente a la visita de campo, se realizó el levantamiento topográfico, iniciando desde la intersección de la Carretera al Puerto de La Libertad hasta la Residencial Alturas de Tenerife, que se encuentra frente del terreno donde se construirá el Condominio “Las Nubes”, donde se recopiló toda la información necesaria para la elaboración del plano taller que se utilizaría en el diseño y replanteo de la línea de perforación. Durante este proceso se

identificaron diversas infraestructuras existentes a lo largo de la carretera hacia Comasagua, tales como: Pozos y tuberías de aguas negras, aguas lluvias y agua potable, cajas de aguas II, postes de telefonía y cableado eléctrico (ver esquema de obstáculos en anexos 1,2,3 y 4)

Figura 61

Colocación de puntos en el levantamiento topográfico en calle a Comasagua



Nota: Fuente Propia

Además de identificar puntos donde era más conveniente realizar las excavaciones de trincheras para los tramos de tubería a instalar, el plano topográfico de carretera a Comasagua, planimetría y altimetría se adjunta en anexo 5.

ESTUDIOS DE SUELOS

Luego del levantamiento topográfico, se llevó a cabo un reconocimiento general y una evaluación de las características del terreno. Este trabajo consistió en la ejecución de ocho sondeos de tipo Penetración Estándar (SPT), los cuales fueron ubicados conforme a lo solicitado por el contratante, tal como se muestra en el plano incluido en el anexo 6. La profundidad promedio de exploración fue de 3 metros, medidos a partir del nivel del terreno existente.

Mediante el ensayo de Penetración Estándar (SPT), normalizado por la norma ASTM D1586, se determinó la resistencia del suelo a través del valor de “N” (número de golpes por cada 30 cm de penetración), además de obtener un muestreo continuo del material. Las muestras recuperadas fueron trasladadas al laboratorio, donde se realizaron ensayos de clasificación y determinación del contenido de humedad natural (w%), con el fin de caracterizar adecuadamente el tipo de suelo presente en el área del proyecto.

Resultados Obtenidos del estudio de suelos

En la siguiente tabla se presentan las condiciones inadecuadas del subsuelo detectadas durante los ensayos. Para los fines de este informe, se considera como suelo inadecuado aquel que presenta valores de resistencia a la penetración inferiores a 15 golpes/pie, que contiene material orgánico o que se encuentra contaminado con restos de ripio, según lo detallado a continuación:

Tabla 18

Resultados obtenidos con estudio de laboratorio por medio del ensayo SPT para la instalación de tubería de impelencia de Condominios “Las Nubes”

Sondeo N°	Prof. de Exploración (m)	Prof. de suelos Inadecuados (m)	Clasificación del suelo
S-1	3.00	2.00 – 2.50	Limo arenoso, café oscuro, suelto, saturado (ML)
S-2	3.00	2.00 – 2.50	Arena limosa, café claro, con pómez, suelta, parcial saturada (SM)
S-3	3.00	0.00 – 0.50	Limo arenoso, café oscuro, orgánico, con gravillas, semidenso, seco (OL)
		0.50 – 1.00	Limo arenoso, café oscuro, contaminado con restos de ripio, semidenso, parcial saturado (ML+RP)

Sondeo N°	Prof. de Exploración (m)	Prof. de suelos Inadecuados (m)	Clasificación del suelo
		1.00 – 1.50	Limo arenoso, café oscuro, con trazas de tepetate, suelto, parcial saturado (ML)
		1.50 – 2.00	Limo arenoso, café oscuro, con gravillas, suelto, parcial saturado (ML)
		2.00 – 2.50	Limo arenoso, café oscuro, semidenso, parcial saturado (ML)
S-4	3.00	0.00 – 1.00	Limo arenoso, café oscuro, orgánico, semidenso, parcial saturado (OL)
		1.00 – 1.50	Arena limosa, café claro, semidensa, parcial saturada (SM)
S-5	3.00	0.00 – 1.00	Arena limosa, café claro, contaminada con restos de ripio, semidensa a muy densa, parcial saturada (SM+RP)
		1.00 – 2.00	Limo arenoso, café oscuro, de media plasticidad, suelto a semidenso, parcial saturado (ML*)
		2.00 – 2.50	No hubo recuperación. Se estima posible limo arenoso, café oscuro, de media plasticidad, semidenso (ML*)
S-6	3.00	0.00 – 1.50	Arena mal graduada, café oscuro, con fragmentos de roca, semidensa, parcial saturada (SP)
S-7	3.00	0.00 – 0.50	Limo arenoso, café claro, con pómez, semidenso, parcial saturado (ML)
		1.00 – 3.00	Limo arenoso, café oscuro, muy suelto a suelto, parcial saturado a saturado (ML)
S-8	3.00	0.00 – 1.50	Arena limosa, café oscuro, con pómez, muy suelta a

Sondeo N°	Prof. de Exploración (m)	Prof. de suelos Inadecuados (m)	Clasificación del suelo
			semidensa, parcial saturada (SM)

Nota. Tomado de ICIA S.A. DE C.V., (2023)

En general, en el terreno objeto de estudio se detectaron condiciones heterogéneas en cuanto a la estratigrafía, los contenidos de humedad natural y la resistencia a la penetración (valor de “N” golpes/pie), lo que evidencia la presencia de suelos inadecuados en espesores variables entre 0.50 y 2.50 metros, ubicados a diferentes profundidades.

Se identificó la presencia superficial de suelos orgánicos en los sectores correspondientes a los sondeos S-3 y S-4, con un espesor variable entre 0.50 y 1.00 metros. Esta condición deberá ser considerada cuidadosamente durante la planificación y ejecución de las obras proyectadas, debido a su impacto en la estabilidad y capacidad portante del terreno.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Con base en los resultados obtenidos en los ensayos de penetración estándar (SPT) y en el levantamiento topográfico realizado en el sitio del proyecto, se llevó a cabo un análisis integral de la factibilidad para la instalación de tuberías mediante el método de Perforación Horizontal Dirigida (PHD). En este proyecto en particular, la factibilidad técnica se evaluó a partir de las condiciones del terreno identificadas en el estudio de suelos y el levantamiento topográfico, asimismo, se analizó la factibilidad económica con el propósito de determinar si el proyecto, además de ser técnicamente viable, resultaba rentable desde el punto de vista financiero, a partir de ambos análisis, se estableció una conclusión fundamentada sobre la factibilidad y conveniencia de ejecutar el proyecto.

Los ensayos SPT revelaron la presencia de suelos heterogéneos en cuanto a su composición y resistencia, observándose materiales como:

- Limos arenosos y arenas limosas con distintos grados de humedad y consistencia.
- Suelos orgánicos en los sectores correspondientes a los sondeos S-3 y S-4.
- Sectores contaminados con ripio o con fragmentos de roca (como S-4, S-5 y S-6).

La clasificación de suelos inadecuados evidencia espesores variables de 0.50 a 2.50 metros, abarcando una profundidad que coincide con la ventana de operación típica del método PHD.

Esto implica que durante la instalación de las tuberías:

- Será necesario ajustar la presión de inyección y la viscosidad de la mezcla de bentonita para evitar colapsos en zonas blandas o sueltas.
- Se deberán considerar rutas de perforación que eviten zonas con ripio o suelos orgánicos, o bien planificar medidas especiales para estabilizar dichas zonas.
- Se requerirá un seguimiento constante del empuje, torque y presión durante la operación, especialmente en suelos con baja resistencia.

Aspectos del levantamiento de campo analizados para la factibilidad:

- El área del proyecto se encuentra en la Calle a El Matazano, Cantón El Matazano, Santa Tecla, sobre el tramo lateral derecho de la carretera hacia Comasagua.
- La topografía es semi-plana a semi-montañosa, lo que puede representar desafíos en el control de la pendiente de perforación.

- El terreno está cubierto por carpeta asfáltica de 10 cm, lo cual deberá considerarse al momento del diseño de los puntos de entrada y salida de las perforaciones.
- Se identificaron múltiples interferencias subterráneas: tuberías de aguas negras, aguas lluvias y potable, cajas de inspección, pozos y postes de telefonía, además de accesos limitados para maquinaria en ciertos tramos.

La información topográfica esencial analizada para el diseño del plano taller y del trazado de perforación, permitió:

- Definir trayectorias precisas para minimizar el riesgo de colisiones con infraestructuras existentes.
- Planificar puntos de entrada y salida seguros para la maquinaria perforadora.
- Evaluar la necesidad de gestión de tráfico o cortes temporales durante la ejecución de los trabajos.

Tanto los datos geotécnicos como los levantamientos topográficos confirmaron que la ejecución del proyecto mediante Perforación Horizontal Dirigida era técnicamente viable, siempre que se adoptaran medidas de planificación, control y adaptación a las condiciones del subsuelo y del entorno.

La evaluación económica del proyecto consideró los costos asociados a la ejecución, incluyendo los equipos, la mano de obra y los materiales, sin embargo, dado que la empresa ya contaba con los recursos necesarios para su desarrollo, se disponía de toda la maquinaria y equipos esenciales para la ejecución del método PHD, tales como una retroexcavadora, la perforadora Vermeer D24X40, la tanqueta para la mezcla de lodos, los equipos de localización y dirección Digitrak +F5, las paletas de perforación housing, los escariadores de 6" y 8" para la ampliación del barreno, y la máquina

termofundidora McElroy para la unión de las tuberías, asimismo, ya se contaba con los materiales requeridos, como la tubería de polietileno de alta densidad y la bentonita para la elaboración de lodos de perforación.

En cuanto al recurso humano, se disponía del personal capacitado para cada una de las etapas del proceso constructivo, por tanto, los únicos gastos relevantes correspondieron al movimiento de maquinaria y equipos hacia el sitio del proyecto bajo estas condiciones, se concluyó que el proyecto presentaba una alta factibilidad económica, resultando rentable su ejecución.

4.2.2 DISEÑO DE LA PERFORACIÓN

Para la ejecución del proyecto, se desarrolló el diseño de la línea de perforación considerando las condiciones del terreno y los obstáculos identificados en el sitio, se planificó la instalación de la tubería mediante PHD en el carril derecho de la carretera que conduce hacia Comasagua, a una distancia de 1.50 metros desde el borde de la calzada hacia el centro de la vía, a partir del levantamiento topográfico y del levantamiento de obstáculos existentes tales como drenajes, cruces de servicios y estructuras se definieron las profundidades y pendientes específicas para cada tramo, con el fin de evitar interferencias y garantizar la seguridad del trazado.

El diseño contempló un total de ocho tramos de perforación para la instalación de tubería PEAD de 6 pulgadas de diámetro, y un tramo para tubería de 4 pulgadas de diámetro, las trayectorias de perforación, así como los cambios de pendiente y profundidad se diseñaron cuidadosamente en función de la topografía del terreno y la localización de los obstáculos, todo el modelado y diseño se llevó a cabo utilizando la plataforma Autodesk Civil 3D, la cual permitió generar los perfiles longitudinales precisos y la documentación gráfica necesaria para la ejecución en campo, asegurando así la correcta alineación y profundidad

de instalación de cada tramo. en anexos del 7 al 15 se presenta uno de los planos de taller correspondientes al diseño de la línea de perforación, en dicho plano se detalla el perfil longitudinal y la vista en planta del trazado propuesto, este mismo procedimiento de representación se ha aplicado para cada uno de los tramos del proyecto.

4.2.3 REPLANTEO DE LÍNEA DE PERFORACIÓN

Se llevó a cabo el replanteo de la línea de perforación en los tramos de instalación de tuberías de $\varnothing 4''$ y $\varnothing 6''$, marcando con precisión los puntos que siguió el desarrollo de la perforación según lo establecido en el diseño, durante esta actividad se observó que el terreno no presentó obstáculos significativos que pudieran interferir con la línea de perforación para los tramos.

Se procedió con la preparación del área de trinchera de entrada con dimensiones promedio de 3.0 metros de largo, 1 metro de ancho y 2 metros de profundidad para los tramos de instalación de tuberías de $\varnothing 4''$, la cual serviría como punto de inicio para el trazado de la línea de perforación diseñada en esta zona se instaló la máquina perforadora así como el sistema de bombeo y el equipo destinado para al manejo y control de los fluidos de perforación; por otro lado, se identificó el área correspondiente a la trinchera de salida la cual funcionaría como punto de recepción para la línea de perforación y como zona de entrada para las tuberías de polietileno de alta densidad que sería instalada en este sector, también se contempló la ubicación de la máquina de termofusión McELROY la cual se utilizó para la unión de las tuberías conforme a los parámetros técnicos establecidos. Para el tramo de instalación de tuberías de $\varnothing 6''$ se realizó el mismo procedimiento anteriormente explicado.

Figura 62

Excavación de trinchera de entrada



Nota: Fuente Propia

4.2.4 PERFORACIÓN PILOTO

Una vez finalizado el replanteo de la línea de perforación del tramo de instalación de tuberías de $\varnothing 4''$ y realizada la excavación de la trinchera, se dio inicio al proceso de introducción de la barra guía de acero, Esta barra se introdujo de forma progresiva en el terreno, alcanzando una profundidad promedio de 1.5 metros por debajo del nivel de la calle El mismo procedimiento se realizó con la instalación de tuberías de $\varnothing 6''$.

Figura 63

Introducción de máquina perforadora en la trinchera de entrada para perforación piloto



Nota: Fuente Propia

Se dio inicio al proceso de perforación piloto, durante el cual la broca comenzó a avanzar progresivamente a través del subsuelo siguiendo el trayecto previamente replanteado. De manera simultánea, se empleó el localizador dirgitrak que permitió monitorear en tiempo real tanto la posición como la dirección de la broca. Este monitoreo constante fue esencial para garantizar que la perforación siguiera el eje trazado en el diseño, permitiendo realizar ajustes inmediatos ante cualquier desviación. La perforación continuó de forma controlada hasta alcanzar el punto de salida previamente establecido en la trinchera.

Figura 64

Localizador Dirgitrak monitoreando en tiempo real la perforación guía



Nota: Fuente Propia

EXPANSIÓN DE PERFORACIÓN PILOTO

Una vez completada la perforación piloto y alcanzado exitosamente la trinchera de salida, se procedió con el acople del reamer (ensanchador) a la barra de perforación con el fin de ampliar el diámetro del túnel subterráneo. En esta etapa, se incrementó el diámetro del agujero a aproximadamente 6 pulgadas, permitiendo así el paso adecuado de la tubería de polietileno de alta densidad, realizando una inspección cuidadosa del trayecto perforado para verificar la ausencia de obstrucciones, colapsos o acumulación excesiva de material.

Con el objetivo de garantizar que el túnel estuviera completamente limpio, estable y con un diámetro uniforme, se ejecutó una segunda pasada del *reamer*, una vez validado el estado del túnel, se procedió a conectar la tubería de Ø4" al conjunto de perforación y se inició el proceso de arrastre, en el cual la tubería fue introducida cuidadosamente a través del túnel previamente preparado.

Este mismo procedimiento se aplicó para la instalación de tuberías de Ø6", adaptando únicamente el tamaño del reamer y asegurando que condiciones del tunel cumplieran con la ampliación de 8 pulgadas.

Figura 65

Expansión de tuberías utilizando el reamer



Nota: Fuente Propia

4.2.5 INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

Una vez se culminó el proceso de perforación de túnel donde la tubería siguió la trayectoria del mismo, se procedió a la instalación de la tubería de polietileno de alta densidad, el proceso se dividió en dos etapas: la unión y el halado de la tubería.

El proceso de unión de tubería se realizó a través de dos métodos: unión de tuberías por termofusión y unión de tuberías por electrofusión, en los casos que se usó la unión de tubería por electrofusión fue cuando ambos extremos de las tuberías a unir se encontraban al interior de la zanja excavada y el método de

unión de tuberías por termofusión se realizó cuando ambos extremos de la tubería se encontraban al nivel de la carretera.

El proceso constructivo para la unión de tuberías de polietileno de alta densidad con la tubería de 4" se inició con la excavación de una trinchera de 4.40 x 0.90 x 1.50 en el punto donde se hará la el entronque con la tubería de ANDA, al inicio del tramo 8 que es punto donde finaliza la tubería de 6" se ubicaba la segunda trinchera con las siguientes dimensiones 2.50 x 1.00 x 1.50 metros, esta segunda trinchera fue el punto de inicio del tramo de la tubería de 4 pulgadas la trinchera con dimensiones de 4.40 x 0.90 x 1.50 metros es el punto de salida de la tubería de 4 pulgadas donde se hará el entronque con la tubería de ANDA, este mismo proceso constructivo se siguió para la instalación de tubería de 6".

Unión de tubería por el método de termofusión

Este método de unión de tubería fue aplicado cuando las tuberías se encontraban en la superficie de la carretera debido a que se necesita mayor espacio ya que las tuberías se distribuyen en tramos de 12 metros y la maquinaria necesita tener un extremo fijo y otro móvil que es el que se ajusta para poder unir las dos tuberías. Como primer paso, para la unión de tuberías por termofusión se procedió a alinear y fijar los extremos de las tuberías a unir, luego de esto se procedió a realizar el fronteo de la tubería para así obtener una superficie plana en ambos extremos, el siguiente paso fue colocar la placa de metal en los extremos de la tubería para que sean calentadas y se derritan parcialmente al lograr la temperatura correcta y se fundan los extremos se procede a aplicar presión de una tubería con otra para que se fusionen entre sí y lograr una unión hermética y duradera.

Figura 66

Proceso de unión de tuberías por el método de termofusión para tuberías de 6" y 4"



Alineación de la tubería



Calentamiento de tubería de PEAD



Aplicación de presión en la tubería para que

Nota: Fuente Propia

Unión de tubería por el método de electrofusión

La unión de tuberías por el método de electrofusión se utilizó en las trincheras donde el espacio es reducido y no era viable utilizar el método de unión de tuberías por termofusión, al ser un método que no necesita herramientas de gran tamaño para realizar el proceso de unión es más viable para realizarlo adentro de las trincheras como primer paso se marcó el área a ser rascada y se efectuó el rascado en la zona necesario para el acople de la tubería, posteriormente se limpió la tubería con una franela limpia para tener una superficie limpia de polvo o cualquier agente contaminante que no permitiera una correcta unión, luego se procedió con unir el accesorio o copla a los extremos de la tubería para poder conectar los polos negativo y positivos de la máquina de

electrofusión para iniciar con el proceso de unión de la tubería, el tiempo para la unión de la tubería fue de 3 minutos.

Figura 67

Proceso de unión de tuberías de PEAD a través del método de electrofusión



Nota: Fuente Propia

Halado de tubería

Una vez se culminó la unión de tuberías para un tramo se procede al halado de la tubería que consiste en halar la tubería que se va a instalar al interior del túnel excavado con el equipo de perforación horizontal dirigida, el proceso que se siguió es acoplar la tubería al reamer que va unida al puller y la maquinaria de perforación horizontal dirigida proceda a halar tanto la tubería con la cual se hizo

el túnel como la tubería de polietileno de alta densidad hasta que la tubería salga al final del tramo

Figura 68

Halado de tubería PEAD para su instalación de 6"



Nota: Fuente Propia

4.2.6 PRUEBA DE HERMETICIDAD Y PRESIÓN

La prueba de hermeticidad y presión se divide en dos partes, se realizó una prueba para la tubería de 4" y otra para la tubería de 6".

Este proceso tuvo como objetivo verificar que la tubería puede soportar las condiciones de operación para las que fue diseñada, sin presentar fugas o deformaciones. Antes de iniciar la prueba fue necesario la preparación de los extremos de la tubería con accesorios temporales para garantizar la hermeticidad del sistema, se instalaron tapaderas ciegas de hierro fundido, bridas con pernos, estas tapaderas están equipadas con:

- Válvula de paso.
- Manómetro calibrado de alta precisión.
- Válvula de purga de aire.

La tubería fue llenada completamente de agua limpia, desde el punto más bajo del tramo para facilitar la expulsión del aire ya que su presencia puede causar lecturas erróneas durante la prueba y afectar la evaluación de la presión.

Una vez desairada la tubería, se procedió a aplicar la presión al sistema utilizando una máquina generadora de presión, como una limpiadora de chorro de agua a presión (modelo KJ3100), hasta alcanzar un valor de 150 psi esta presión se dejó por un tiempo de 24 horas y durante este tiempo:

- Se monitorio continuamente la presión mediante manómetros precisos.
- se observó que no existió una variación significativa en la presión

La prueba se dio por satisfactoria debido a que no presento variaciones en la presión y se mantuvo constante por las 24 horas que duro la prueba.

4.2.7 DESINFECCIÓN DE TUBERÍA

La desinfección de la tubería para el proyecto del condominio “Las Nubes” se llevó a cabo de manera simultánea con la prueba de presión y hermeticidad, durante el proceso de llenado, el cual se realizó mediante el uso de camiones cisterna (pipas), aplicando el método de alimentación continua, en cada pipa se dosificó hipoclorito de sodio, para poder obtener una concentración de solución de cloro al 1% en la tubería de 4” y en 6” se necesitan 8.5 l y 193.5 l de cloro respectivamente para cada desinfección de tubería.

Se calculó el volumen de agua con que se llenó la tubería de 4”

$$V=\pi \times r^2 \times h$$

$$V=\pi \times (0.0508 \text{ m})^2 \times 128.5 \text{ m}$$

$$V=3.1416 \times 0.00258064 \text{ m}^2 \times 128.5 \text{ m}$$

$$V \approx 1.040 \text{ m}^3$$

Convertimos el volumen a litros ($1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$):

$$V \approx 1.040 \times 1000 \text{ litros} = 1040 \text{ litros}$$

Haciendo uso de la (TABLA 14)

Para una solución de cloro al 1% se necesitan 0.6 L para cada 9.1 metros

Para los 128.5 metros necesitaríamos 8.5 L

Se calculó el volumen de agua con que se llenó la tubería de 6"

$$V = 3.1416 \times (0.0762 \text{ m})^2 \times 1257.5 \text{ m}$$

$$V = 3.1416 \times 0.00580644 \text{ m}^2 \times 1257.5 \text{ m}$$

$$V \approx 2.296 \text{ m}^3$$

Convertimos el volumen a litros:

$$V \approx 2.296 \times 1000 \text{ litros} = 2296 \text{ litros}$$

Para una solución de cloro al 1% se necesitan 1.4 L para cada 9.1 metros

Para los 1257.5 metros necesitaríamos 193.5 L

Una vez completado el llenado de la tubería, se dejó un periodo de retención de 24 horas, lo cual permitió aprovechar ese tiempo para la ejecución de la prueba de presión e inspección de hermeticidad del sistema.

Transcurrido el tiempo de retención, se procedió al desfogue del agua clorada contenida en la tubería, seguido por un proceso de limpieza interna para asegurar la remoción de residuos y garantizar condiciones adecuadas para la operación del sistema.

4.2.8 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRA TERMINADA

Una vez concluido el proceso de desinfección de las tuberías, se procedió con el levantamiento de la obra terminada, como parte del cierre técnico del proyecto. En el Informe Final de Obra, se incorpora un plano general en el que

se muestra la disposición de la red de tuberías instalada, especificando el diámetro utilizado en cada tramo, en el anexo 7 al 15

Sin embargo, no se elaboró un plano detallado de "obra terminada" debido a la ausencia de puntos de referencia claramente identificables durante la ejecución del proyecto.

La creación de un plano de levantamiento topográfico final no fue necesaria en este proyecto, puesto que la instalación de la tubería se llevó a cabo de acuerdo con los planos de diseño autorizados, sin que se presentaran alteraciones en la perforación, la profundidad o la localización de las secciones instaladas. Adicionalmente, el sistema no incorporó estructuras tales como válvulas, cajas de inspección ni elementos superficiales que justificaran la necesidad de un levantamiento topográfico final para su georreferenciación, dado que no hubo cambios durante la fase de constructiva y la instalación se mantuvo conforme a lo planeado, el plano de diseño mantuvo su pertinencia como plano final, satisfaciendo los requerimientos técnicos y documentales del proyecto.

4.2.9 RESTAURACIÓN DEL TERRENO

Una vez concluido el levantamiento de obra terminada, se procedió con las labores de restauración del terreno afectado por las excavaciones realizadas durante la ejecución del proyecto. En total, se llevaron a cabo once (11) excavaciones distribuidas a lo largo del trazado de la tubería: dos correspondientes a las trincheras de entrada y salida, y nueve (9) excavaciones intermedias destinadas a la conexión de los distintos tramos de tubería.

En cada una de estas excavaciones se aplicó un proceso de restitución del terreno que consistió en la colocación en capas de material selecto, la cual fue debidamente compactada de acuerdo con las especificaciones técnicas de ANDA, 2015 el tipo de compactación fue de tipo II en el proyecto. Posteriormente, se procedió a la aplicación de la capa final de asfalto, con el objetivo de devolver la superficie a su estado original y garantizar su funcionalidad y durabilidad.

En la Tabla 19 se presenta un resumen detallado de las áreas excavadas en los once (11) tramos mencionados, incluyendo sus estacionamientos y áreas excavadas.

Tabla 19

Resumen de excavaciones de trincheras

Tramo	Estación	Excavación	Área
1	1 + 380	1.75 x 1.40	2.45
2	1 + 230	2.20 x 1.40	3.08
3	1 + 080	2.30 x 1.20	2.76
4	0 + 930	2.50 x 1.00	3.00
5	0 + 780	2.50 x 1.00	2.50
6	0 + 660	2.50 x 1.00	2.50
7	0 + 480	3.00 x 1.00	3.00
8	0 + 310	2.50 x 1.00	2.50
9	0 + 135	4.40 x 0.90	3.96
10	0 + 110	6.00 x 1.00	6.00
11	0 + 050	2.50 x 1.00	2.50
Total			34.25 m ²

Nota. Tabla tomada del informe final del proyecto de Condominios Las Nubes.

4.3 ANALISIS DEL MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO

Con base en el caso de estudio previamente descrito, correspondiente al proyecto de instalación de tuberías de agua potable para el Condominio “Las Nubes” el cual fue ejecutado exitosamente mediante el método de Perforación

Horizontal Dirigida, en el siguiente apartado se plantea cómo se desarrollaría dicho proyecto utilizando el método tradicional de zanja a cielo abierto.

Esta propuesta tiene como objetivo presentar una alternativa constructiva convencional, detallando los procedimientos técnicos necesarios para una ejecución eficiente y optimizada del proyecto, se hará especial énfasis en las etapas constructivas, el uso de maquinaria, la logística en obra, las consideraciones de seguridad, y la planificación para minimizar el impacto en el entorno urbano.

4.3.1 ESTUDIOS PRELIMINARES

Los estudios preliminares que serán tomados en cuenta para el análisis y verificar si el proyecto es viable son: el levantamiento topográfico y el estudio de suelos los cuales se detallan a continuación:

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Previo a la realización del levantamiento topográfico, se debe llevar a cabo una inspección de campo a lo largo del segmento que separa el punto de suministro ubicado en el arriate central de la carretera que conecta del Puerto de la Libertad con la carretera hacia Comasagua del punto de abastecimiento, situado en la vía que lleva a Comasagua. Este procedimiento es muy similar a la inspección realizada para la perforación horizontal dirigida, con la diferencia que en este caso se debe observar aspectos relevantes para el proceso a aplicar, tales como: las condiciones del terreno y del entorno cercano, identificar el volumen de tráfico de vehicular, curvas muy cerradas y pendientes pronunciadas, igualmente, la existencia de obstáculos importantes en la superficie que pudieran interferir con la utilización de maquinaria.

Se realiza el levantamiento topográfico donde se obtiene una representación precisa y georreferenciada en la superficie donde se ejecutará el proyecto, así como la identificación de elementos físicos existentes tales como

árboles, postes, edificaciones, cuerpos de aguas, vías de acceso, redes existentes de agua potable, aguas lluvias y aguas negras que pueda interferir con el trazado de la línea de excavación para la instalación de las tuberías.

ESTUDIOS DE SUELOS

Se realizaron los estudios correspondientes del subsuelo mediante la ejecución de ocho sondeos de tipo Penetración Estándar (SPT) distribuidos a lo largo del alineamiento propuesto, con una separación aproximada de 170.0 metros entre ellos, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 18, descrita en el ítem 4.2.1. Con base en dichos resultados, se concluye que las características del suelo son favorables para la ejecución de las excavaciones, además que la profundidad requerida no representa un riesgo significativo de deslizamientos o colapsos durante los trabajos de apertura de zanjas.

TERRACERÍA

Para llevar a cabo este proyecto en la carretera a Comasagua, no se requiere la etapa de terracería masiva; la excavación para la colocación de la tubería se llevará a cabo directamente bajo la estructura actual de la carretera. Esto implica que no requerimos efectuar labores de limpieza ni descapote del suelo ni desplazamientos de tierra antes de excavar, dado que la superficie ya está estructurada y, en su mayoría, exenta de vegetación. Los trabajos preliminares se centrarán en la excavación de la zanja en la carretera rompiendo la carpeta de rodadura que es de pavimento asfáltico y sus capas subterráneas (base, sub base y terreno natural) .

TRAZO DE ZANJA

Para el trazado de la zanja a excavar y partiendo de que el enfoque del trabajo de investigación es hacer una comparación 1 a 1 del método de instalación de zanjas a cielo abierto y el método de perforación horizontal dirigida, se retomara la información del caso de estudio y del diseño de la línea de perforación donde se especifica que la tubería se instalara a 1.50 metros

desde el borde de la calzada hacia el centro de la vía, siguiendo esta información y tomando en cuenta las condiciones existente de la carretera a Comasagua, que es una vía de dos carriles con dos sentidos y donde no hay el suficiente espacio en el hombro de la carretera para el desarrollo del método de zanjas a cielo abierto (ver Tabla 20) sin invadir el carril, se establece que se realizará el trazo de la zanja directamente sobre la carretera, el ancho de la zanja a trazar está determinado por la siguiente Tabla 20 donde, para la tubería de 4" es de 60 cm de ancho y para la tubería de 6" es de 70 cm.

Tabla 20

Ancho de zanja y profundidad de excavación para diferentes diámetros de tuberías

Diámetro		Ancho de zanja	Profundidad
Pulgadas	cm	cm	cm
1	2.54	50	70
1.5	3.81	55	70
2	5.08	55	70
2.5	6.35	60	100
3	7.62	60	100
4	10.16	60	105
6	15.24	70	110
8	20.32	75	115
10	25.4	80	120

	Diámetro	Ancho de zanja	Profundidad
12	30.48	85	125
14	35.56	90	130
16	40.64	95	140
18	45.72	110	145
20	50.8	115	155
24	60.96	130	165
30	76.2	150	185
36	91.44	170	210
42	106.68	190	230
48	121.92	210	245
60	152.4	250	300
72	182.88	280	345
84	213.36	320	380
98	248.92	350	415

Nota. Tabla tomada de dimensiones de zanja para tuberías de agua potable y alcantarillado, [Tabla], Marcony, (2022),

<https://www.udocz.com/apuntes/505030/tabla-anchos-de-zanja>

Figura 69

Estado actual de carretera que conduce a Comasagua



Nota. En las figuras se observa el reducido espacio con el que cuenta la carretera que conduce a Comasagua y el pequeño espacio que se tiene al hombro de la carretera. Fuente Propia

Figura 70

Trazo proyectado para la realización de zanjas a cielo abierto



Nota. En la imagen se muestra el trazo proyectado a seguir para la instalación de la tubería de polietileno de alta densidad por el método de zanjas a cielo abierto. Fuente propia .

4.3.4 DEMOLICIÓN Y EXCAVACIÓN DE ZANJA A CIELO ABIERTO

De acuerdo a la norma técnica de (ANDA, 2014) se especifica que la profundidad que permita un relleno sobre al corona del tubo de andar entre 1.00 como mínimo y 1.80 como máximo, por lo cual para la aplicación del método la profundidad de la tubería por debajo de capa asfáltica será de 1.60 para asegurarnos de tener un relleno por encima de la corona del tubo de 1.50 metros.

En este apartado debido a las condiciones existente de la carreta y el trazo que se ha proyectado para el paso de la tubería de agua potable de 4" y 6" de diámetro respectivamente se incluye la actividad de demolición de una parte del pavimento como parte del proceso constructivo, esta sería una actividad que se tendría que llevar acabo previo al inicio de la excavación.

Dentro del proceso constructivo la demolición del pavimento debe ser el primer paso, lo que consiste en hacer un corte con una cortadora de concreto y pavimento para delimitar el área a demoler del concreto asfaltico, para así facilitar este proceso y tener un corte más limpio posteriormente se debe demoler el

pavimento existente que tiene aproximadamente 20 cm de espesor para efectuar la demolición de una manera más rápida y eficiente se puede ocupar el accesorio demoledor de concreto adaptable a la retroexcavadora, los escombros resultantes de la demolición se deben desalojar por los auxiliares de obra a un lugar de acopio temporal, para posteriormente ser desalojados del proyecto.

Nota. En la figura se muestra el espesor de pavimento de la calle que conduce a Comasagua.

Figura 71

Corte en carretera que conduce a Comasagua donde se aprecia el espesor del pavimento



Nota: Fuente Propia

Figura 72

Corte en pavimento con máquina especialidad para corte de concreto y pavimento



Nota. En la Figura 72 se muestra la cortadora de concreto y aplicación para el corte de la capa asfáltica de la carretera que conduce a Comasagua. Fuente Propia.

El volumen estimado de demolición de pavimento se presenta la Tabla 21 a continuación:

Tabla 21

Calculo de volumen total de demolición de pavimento

	Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)	Volumen total (m3)
Tubería de 4"	0.60	128.50	0.10	12.85
Tubería de 6"	0.70	1257.50	0.10	125.75
TOTAL				138.60

Nota: Fuente Propia

Como siguiente paso de la demolición del pavimento se procede a realizar la excavación de la zanja, para fines de rapidez una primera capa de 50 cm de profundidad puede ser excavada con la retroexcavadora y la profundidad restante para cada diámetro se debe hacer de manera manual esto para evitar cualquier daño en la infraestructura existente, sobre anchos y sobre excavación.

Tabla 22

Calculo de volumen de excavación para zanja

Excavación con retroexcavadora				
	Ancho (m)	Largo (m)	Profundidad	Volumen total (m3)
Tubería de 4"	0.60	128.50	0.50	38.55
Tubería de 6"	0.70	1257.50	0.50	440.13
			Sub- total	478.68
Excavación con medio manuales				
Tubería de 4"	0.60	128.50	0.55	42.40
Tubería de 6"	0.70	1257.50	0.60	528.15
			Sub- total	570.55
			TOTAL	1049.23

Nota: Fuente Propia

4.3.5 INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO (PVC)

Una vez concluida la excavación de la zanja a la profundidad y alineación establecidas en los planos, se procedería a la instalación de las tuberías de PVC, siguiendo un procedimiento que garantizaría la correcta colocación, alineación y posterior funcionamiento del sistema.

Previo a la colocación de las tuberías, se verificaría que el fondo de la zanja se encontraría libre de materiales sueltos, piedras u otros elementos que podrían dañar el tubo o alterar su nivelación, en caso de ser necesario, se colocaría y se compactaría una cama de material granular selecto, con un espesor promedio de 10 cm, nivelada de acuerdo a la pendiente de diseño, luego las tuberías PVC se trasladarían hasta el área de trabajo, verificando que estén libres de golpes, fisuras o deformaciones, la instalación iniciaría con el alineamiento de la primera tubería dentro de la zanja en la dirección del flujo, colocándola de manera que la campana de la unión quede orientada aguas arriba, es decir, en la dirección opuesta al flujo del agua para facilitar la unión entre tubos y ayuda a prevenir fugas.

Luego se procedería a instalar en una secuencia continua los 128.50 m de tubería PVC de 4", prestando especial atención en las uniones que garantizarían una fusión resistente, el procedimiento incluiría: corte de los extremos del tubo lo más perpendicular de ser necesario, seguido de eliminación de rebabas internas y externas y hacer biselado (en un ángulo de 10–15°), se limpiaría con un trapo seco para retirar polvo o grasa, verificando el ajuste en seco para asegurar una buena conexión, después se aplicaría primero interno en la campana y externo en el extremo liso, seguido de una aplicación generosa y pareja de cemento solvente tanto en el tubo como en la campana, asegurando que la capa cubra toda la zona de inserción sin formar charcos, inmediatamente se insertaría el tubo en la campana, ejerciendo un cuarto de giro para mejorar la fusión, y se mantendría la unión firme durante al menos 30 segundos hasta que comienza el secado rápido, finalmente, se retirarían los excesos de pegamento y el conjunto se deja en reposo antes de cualquier manipulación adicional.

La instalación de los 1257.50 m de tubería PVC de 6" se realizaría en tramos de 100 m, siguiendo un procedimiento similar al anterior, se efectuarían cortes perpendiculares solo si fuesen necesarios, limpieza y biselado de cada

extremo, se revisaría el acoplamiento, y aplicaría el cemento solvente sin excesos, y asegurando cobertura completa de la campana, luego se insertaría con un cuarto de giro y se sostiene firmemente por 30 segundos, se retiraría el exceso de adhesivo y se dejaría secar. Cada tramo de 100 m queda listo para su posterior prueba de hermeticidad y presión antes de continuar con el siguiente tramo.

ANCLAJES

Proceso de cálculo de anclajes para tubera de 4".

Tabla 23

Valores aproximados de empuje en accesorios en una línea de tubos PVC por cada kg/cm² de presión hidráulica.

Diámetro Nominal mm	pulg	Codo 90° (kg)	Codo 45° (kg)	Codo 22,5° (kg)	Tee y Taponos (kg)
50	1 1/2"	26	14	7	18
63	2"	40	22	11	28
75	2 1/2"	59	32	16	42
90	3"	87	47	24	62
110	4"	144	78	40	102
140	5"	179	97	50	126
160	6"	314	170	87	222
200	8"	533	288	147	377
250	10"	829	448	228	585
315	12"	948	513	262	670
355	14"	1146	621	317	811
400	16"	1454	787	402	1028

Nota. Tabla tomada de NICOLL,(2006), <https://tutupaca.com/overall/app/productos/TUBERIAS%20DE%20PVC%20OK/MANUAL%20DE%20INSTALACION.pdf>

En base a Tabla 23 y considerando que solo se ocuparan codos a 45 grados para hacer los cambios de dirección se utilizara el valor de empuje 78 kg

y una presión de prueba de 15.81 kg/cm^2 o 225 psi y un valor de R_T de 1.55 kg/cm^2

$$A = \frac{P}{R_T}$$

$P = \text{valor de empuje segun tabla X presion de prueba del sistema}$

$$P = 78 \times 15.81$$

$$P = 1233.18 \text{ kg}$$

$$A = \frac{1233.18 \text{ kg}}{1.55 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$A = 795.60 \text{ cm}^2 \approx 0.07956 \text{ m}^2 \approx 0.08 \text{ m}^2$$

$$h = 0.25 \text{ y } L = 0.32 \text{ (} h \times L = 0.08 \text{ m}^2 \text{)}$$

Proceso de cálculo de anclajes para tubera de 6" y codos a 45 grados.

$$P = 170 \times 15.81$$

$$P = 2687.70 \text{ kg}$$

$$A = \frac{2687.70 \text{ kg}}{1.55 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$A = 1734 \text{ cm}^2 \approx 0.17 \text{ m}^2$$

$$h = 0.35 \text{ y } L = 0.50 \text{ (} h \times L = 0.175 \text{ m}^2 \text{)}$$

Proceso de cálculo de anclajes para tubera de 6" y codos a 90 grados.

$$P = 314 \times 15.81$$

$$P = 4964.34 \text{ kg}$$

$$A = \frac{4634.34 \text{ kg}}{1.55 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$A = 3202.80 \text{ cm}^2 \approx 0.32 \text{ m}^2$$

$$h = 0.35 \text{ y } L = 0.90 \text{ (} h \times L = 0.32 \text{ m}^2 \text{)}$$

4.3.6 PRUEBA DE HERMETICIDAD Y PRESIÓN

La prueba de hermeticidad y presión en una tubería de PVC instalada en zanja iniciaría cerrando con tapones y anclajes resistentes los extremos para soportar los empujes generados, y se colocaría válvulas de purga en puntos altos para evacuar el aire, la tubería debe llenarse completamente de agua para eliminar el aire de su interior, ya que este podría interferir con los resultados; el llenado se realiza por diámetros, en el caso de la tubería de 4 pulgadas con una longitud de 128.50 metros y la de 6 pulgadas con una longitud de 1257.50 metros la cual se realizaran pruebas cada 100 metros de tubería instalada.

El llenado se hace lentamente desde la parte baja con caudal reducido, asegurando la expulsión total del aire, posteriormente se conecta una bomba con manómetro y válvula de retención en la parte baja y se aplica una presión de prueba equivalente a 1,5 veces la presión de diseño del sistema, manteniéndola durante un periodo mínimo de 4 horas y garantizando que no exista una variación mayor a ± 5 psi respecto a la presión establecida, durante la prueba, la tubería debe permanecer enterrada dejando vistas únicamente las uniones y accesorios para facilitar la inspección y detección de posibles fugas; en caso de presentarse, estas deben corregirse y repetir la prueba hasta garantizar la impermeabilidad del sistema antes de completar el relleno de la zanja.

Figura 73

Realización de prueba de presión a tubería



Nota: Adaptada de Realización de prueba de presión a tubería, https://www.construex.com.py/exhibidores/servi_esta_s_r_l/producto/prueba_de_presion_hidraulica_asuncion

4.3.7 RESTAURACIÓN DEL TERRENO

A continuación, se describe el proceso de las actividades a realizar para el relleno y compactación de la zanja donde hayan instalado las tuberías de polietileno de alta densidad , seguido de la pavimentación asfáltica para la restauración final de la superficie.

Antes de iniciar con el relleno y compactación de la zanja realizada para la instalación de las tuberías de impelencia y aducción en el proyecto, se asegura que las tuberías ya instaladas, probadas y desinfectadas se hallen en condiciones ideales, sin sufrir daños durante o tras su instalación. Además, es necesario realizar la limpieza de las zanjas, eliminando cualquier material suelto, desechos como basura u objetos inusuales que puedan obstaculizar la compactación del relleno

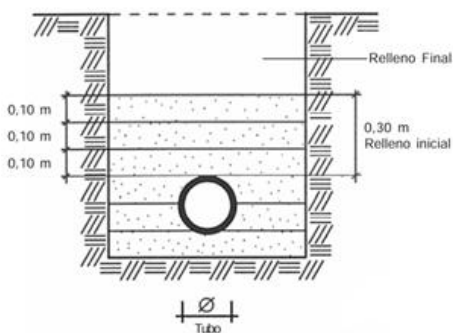
Los tipos de suelos identificados en el estudio de suelos, tales como los limo-arenosos y los arena-limosos, presentan características adecuadas para

procesos de compactación. Durante las excavaciones, todo el material fue transportado a un punto de acopio con el propósito de reutilizarlo posteriormente. Se tiene previsto emplear nuevamente este material en las labores de compactación, incorporándole cemento para conformar una mezcla de suelo-cemento, con el objetivo de obtener una capa de relleno más firme y rígida. En caso de que el material almacenado en el centro de acopio resulte insuficiente, se recurrirá al uso de suelo selecto para complementar el volumen requerido.

El proceso de relleno y apisonado inicial abarca desde el fondo de la zanja hasta una altura de 30 cm por encima de la corona de la tubería; este relleno debe colocarse en capas continuas de 10 cm de espesor, las cuales deben ser cuidadosamente humedecidas y compactadas antes de aplicar la siguiente capa, es indispensable utilizar herramientas adecuadas para lograr una correcta compactación del material, asegurando que este quede bien compactado debajo de la tubería, en las uniones y entre los laterales de la tubería.

Figura 74

Esquema de compactación inicial de la zanja con tubería instalada



Nota. Adaptada de MANUAL DE TUBOS Y ACCESORIOS PVC (p. 52), por Nicoll, 2006,

<https://tutupaca.com/overall/app/productos/TUBERIAS%20DE%20PVC%20OK/MANUAL%20DE%20INSTALACION.pdf>

El relleno restante deberá colocarse en capas sucesivas de entre 20 y 25 cm de espesor de material suelto, compactadas adecuadamente mediante el uso de una compactadora tipo bailarina. Este proceso se llevará a cabo hasta alcanzar el nivel de la base o sub-base, como preparación para la posterior colocación de la capa asfáltica, esta última fase permitirá completar la restauración del pavimento en la carretera hacia Comasagua, asegurando una estructura vial estable y duradera.

4.3.8 DESINFECCIÓN DE TUBERÍA

Para el proceso de la desinfección para las tuberías instaladas en el proyecto del condominio “Las Nubes” por el método de zanjas a cielo abierto se puede realizar de manera simultánea con la prueba de presión y hermeticidad, para el llenado de las tuberías y la concentración de solución de cloro al 1% en la tubería de 4” y en 6” se necesitan 8.5 l y 193.5 l de cloro respectivamente para cada desinfección de tubería.

Una vez completado el llenado de la tubería, se dejó un periodo de retención de 24 horas, lo cual permitió aprovechar ese tiempo para la ejecución de la prueba de presión e inspección de hermeticidad del sistema.

Transcurrido el tiempo de retención, se procede al desfogue del agua clorada contenida en la tubería, seguido por un proceso de limpieza interna para asegurar la remoción de residuos y garantizar condiciones adecuadas para la operación del sistema.

4.3.9 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE OBRA TERMINADA

Una vez finalizado el proceso de desinfección de las tuberías, se dará inicio al levantamiento topográfico del área intervenida. Durante esta etapa, se procederá a ubicar y registrar las coordenadas geográficas de diversos puntos representativos a lo largo del trazado de la tubería instalada. Este procedimiento permitirá evidenciar con precisión la ubicación exacta de las tuberías en el terreno y pozos de válvulas

La información obtenida en campo será utilizada para elaborar el plano de “obra terminada” correspondiente, el cual servirá como respaldo gráfico del trabajo ejecutado. Dicho plano formará parte del informe final de obra terminada, contribuyendo a la documentación técnica del proyecto y facilitando futuras labores de mantenimiento, inspección o ampliación del sistema.

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO Y PLAZO DE EJECUCIÓN

4.4.1 MÉTODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA

4.4.1.1 PRESUPUESTO

Tabla 24

Resumen de presupuesto del método de la perforación horizontal dirigida

LÍNEA DE ADUCCIÓN Y DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE EN CONDOMINIO LAS NUBES					
ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	CANTIDA D	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
1.00	ESTUDIOS PRELIMINARES				\$ 7,393.65
1.01	Levantamiento topográfico	SG	1	\$ 4,032.90	\$ 4,032.90
1.02	Estudio de suelos	SG	1	\$ 3,360.75	\$ 3,360.75
2.00	INSTALACION DE TUBERIA DE POLIETILENO DE 4 PULGADAS				\$ 20,235.47
2.01	Perforación, suministro e instalación de tubería para agua potable de 4" PEAD.	M	128.50	\$ 157.47	\$ 17,135.12
2.02	Trincheras para instalación de tuberías Incluye: Demolición de pavimento, excavación, compactación, restitución de suelo con material selecto y restitución de capa asfáltica.	UNIDAD	2.00	\$ 1,550.17	\$ 3,100.35

**LÍNEA DE ADUCCIÓN Y DE IMPELENCIA
PARA AGUA POTABLE EN CONDOMINIO
LAS NUBES**

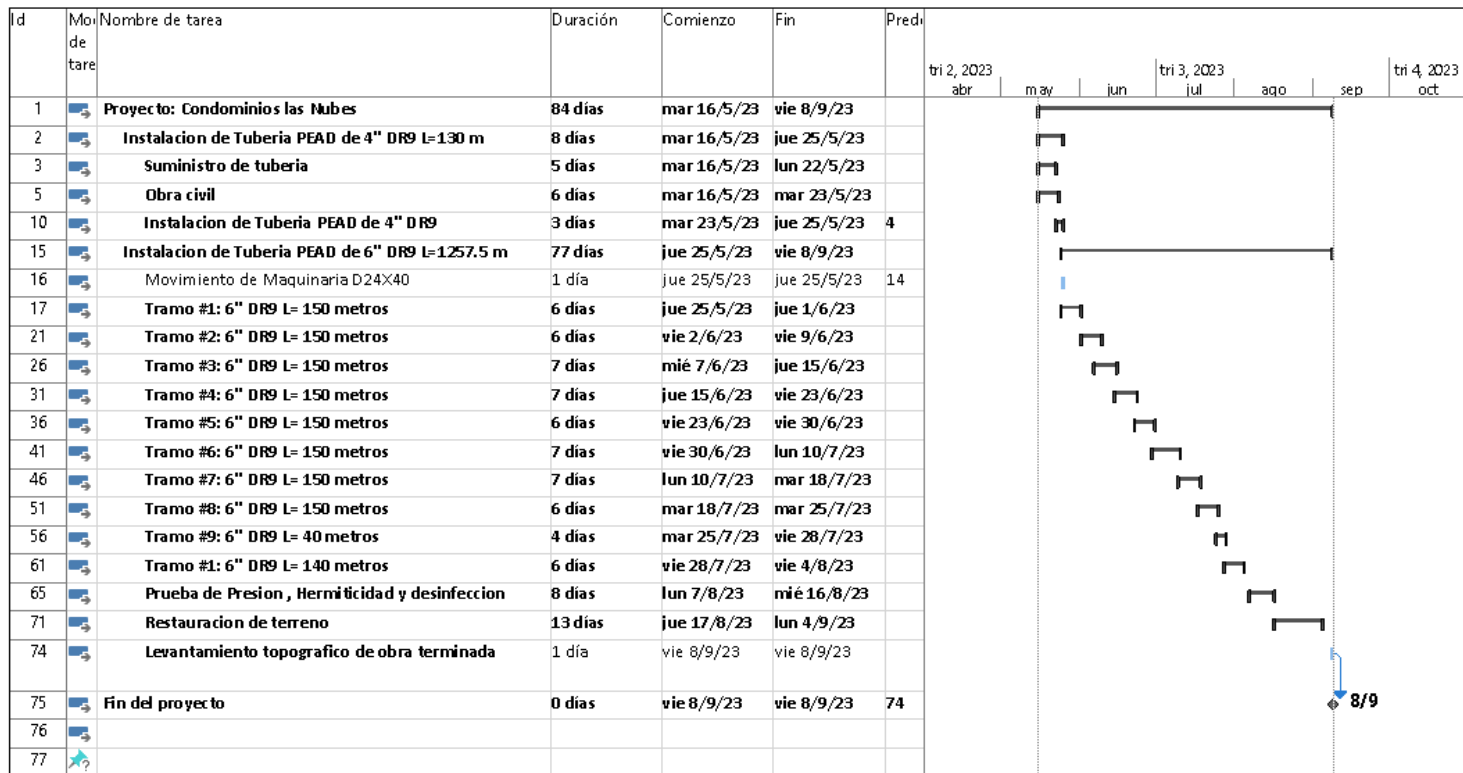
ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	CANTIDA D	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
3.00	INSTALACION DE TUBERIA DE POLIETILENO DE 6 PULGADAS				\$ 226,198.21
3.01	Perforación, suministro e instalación de tubería para agua potable de 6" PEAD.	M	1257.5	\$ 179.88	\$ 212,246.64
3.02	Trincheras para instalación de tuberías Incluye: Demolición de pavimento, excavación, compactación, restitución de suelo con material selecto y restitución de capa asfáltica.	UNIDAD	9.00	\$ 1,550.17	\$ 13,951.57
MONTO TOTAL DEL PROYECTO CON (I.V.A)					\$ 253,827.33

Nota: Fuente Propia

4.1.1.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 75

Cronograma de trabajo del método de la perforación horizontal dirigida



Nota. Ver el detalle en anexo 17

4.4.2 MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO

4.2.2.1 PRESUPUESTO

Tabla 25

Resumen de presupuesto del método de zanjas a cielo abierto

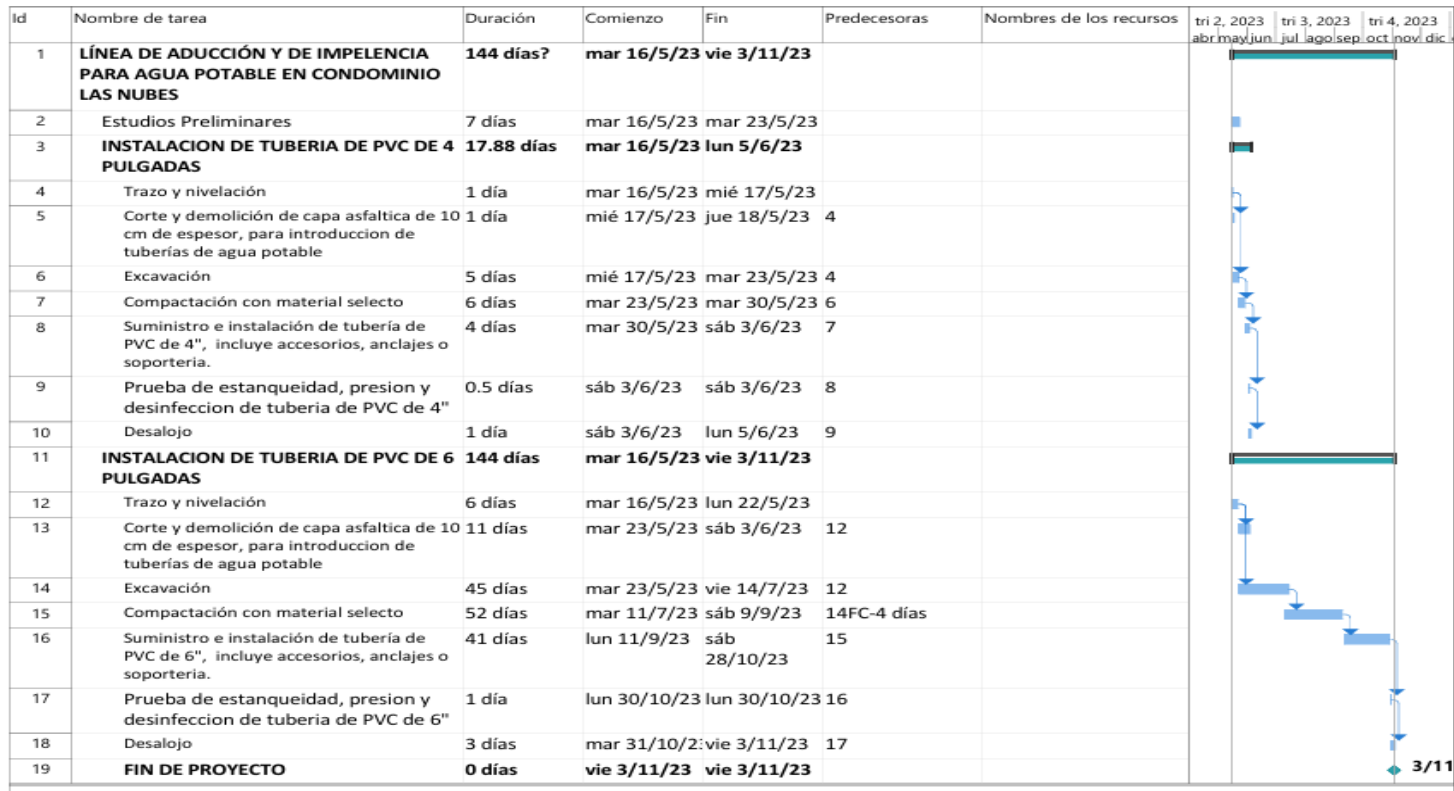
LÍNEA DE ADUCCIÓN Y DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE EN CONDOMINIO LAS NUBES						
ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL	
1.00	ESTUDIOS PRELIMINARES				\$	7,393.65
1.01	Levantamiento topográfico	SG	1	\$ 4,032.90	\$	4,032.90
1.02	Estudio de suelos	SG	1	\$ 3,360.75	\$	3,360.75
2.00	INSTALACION DE TUBERIA DE PVC DE 4 PULGADAS				\$	15,381.42
2.01	Trazo y nivelación	M	128.50	\$ 3.91	\$	502.74
2.02	Corte y demolición de capa asfáltica	M	128.50	\$ 6.67	\$	856.62
2.03	Excavación	M ³	80.95	\$ 18.00	\$	1,456.78
2.04	Compactación con material selecto	M ³	7.75	\$ 24.23	\$	1,960.36
2.05	Suministro e instalación de tubería de PVC de 4", incluye accesorios, anclajes o soportería.	M	128.50	\$ 32.27	\$	4,146.22
2.06	Prueba de estanqueidad, presión y desinfección de tubería de PVC de 4"	M	128.50	\$ 2.20	\$	282.87
2.07	Restauración de capa asfáltica	M	128.50	\$ 34.62	\$	4,448.08
2.08	Desalojo	M	128.50	\$ 13.45	\$	1,727.76
3.00	INSTALACION DE TUBERIA DE PVC DE 6 PULGADAS				\$	166,298.99
3.01	Trazo y nivelación	M	1257.5	\$ 9.80	\$	4,919.84
3.02	Corte y demolición de capa asfáltica	M	1257.5	\$ 36.10	\$	8,382.87

LÍNEA DE ADUCCIÓN Y DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE EN CONDOMINIO LAS NUBES					
ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
3.03	Excavación	M ³	968.28	\$ 24.29	\$ 17,425.17
3.04	Compactación con material selecto	M ³	88.03	\$ 24.24	\$ 23,463.51
3.05	Suministro e instalación de tubería de PVC de 6", incluye accesorios, anclajes o soportería.	M	1257.5	\$ 47.32	\$ 44,984.17
3.06	Prueba de estanqueidad, presión y desinfección de tubería de PVC de 6"	M	1257.5	\$ 7.38	\$ 6,686.74
3.07	Restauración de capa asfáltica	M	1257.5	\$ 34.62	\$ 43,528.85
3.08	Desalojo	M	1257.5	\$ 9.93	\$ 16,907.84
COSTO DIRECTO TOTAL DEL PROYETO (SIN I.V.A.)					\$ 189,074.06
COSTO INDIRECTO (32.39%)					\$ 61,241.09
COSTO DIRECTO + INDIRECTO					\$ 250,315.15
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO (I.V.A 13%)					\$ 32,540.97
MONTO TOTAL DEL PROYECTO CON (I.V.A)					\$ 282,856.12

Nota. En anexo 19 se presenta el cálculo de los precios unitarios. Fuente Propia

4.2.2.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 76
Cronograma de trabajo del método de zanjas a cielo abierto



Nota: Fuente Propia, ver anexo 16.

4.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL MÉTODO TRADICIONAL DE ZANJAS A CIELO ABIERTO Y EL MÉTODO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA

4.5.1 PROCESO CONSTRUCTIVO

A continuación, se muestra una tabla que contrasta los procesos constructivos de los dos métodos estudiados para la instalación de tuberías de agua potable en zanjas a cielo abierto y perforación horizontal dirigida. En esta tabla, se resaltan las principales diferencias que se obtiene de los dos métodos.

Tabla 26

Cuadro comparativo general del proceso constructivo del método de perforación horizontal dirigida y zanjas a cielo abierto

Etapa	Perforación Horizontal Dirigida (PHD)	Zanja a Cielo Abierto
Estudios Preliminares	Levantamiento topográfico y estudio de suelos. Enfoque en rutas de perforación y obstáculos subterráneos.	Levantamiento topográfico y estudio de suelos. Enfoque en inspección de obstáculos superficiales y subsuperficiales.
Trazado	Diseño detallado de línea de perforación en plano taller (Civil 3D).	Diseño y trazo proyectado de zanja sobre la carretera conforme a alineamientos y anchos de tubería.
Excavación	Corte, demolición y excavación manual ó mecánica de dos excavaciones (trincheras), una al inicio y otra al final del tramo a instalar.	Corte, demolición y excavación manual ó mecánica a lo largo de la línea de trazo de instalación.
Unión de tubería	Se utiliza el método de termofusión y electrofusión.	Se realiza por medio de acoplamiento cementado.

Etapas	Perforación Horizontal Dirigida (PHD)	Zanja a Cielo Abierto
Instalación de Tubería	Se instala con maquinaria especializada de manera subterránea, halando la tubería desde una de las excavaciones realizadas.	Instalación directa de la tubería dentro de la zanja.
Prueba Hidrostática	Prueba de hermeticidad y presión durante 24 horas.	Prueba de hermeticidad y presión durante 4 horas.
Desinfección	Llenado con agua clorada al 1% simultáneo a prueba de presión.	
Levantamiento de Obra terminada	Registro general de obra finalizada con detalles altimétricos y planimétricos de las tuberías.	
Restauración de Terreno	Relleno, compactación y restauración del terreno de las 2 excavaciones realizadas.	Relleno, compactación y restauración del terreno de la zanja realizada.

Nota: Fuente Propia

A continuación, se muestra una tabla que contrasta los equipos utilizados para los dos métodos estudiados para la instalación de tuberías de agua potable en zanjas a cielo abierto y perforación horizontal dirigida.

Tabla 27

Cuadro comparativo de equipos utilizados en el método de la perforación horizontal dirigida y el método de zanjas a cielo abierto

Actividad	Perforación Horizontal Dirigida	Zanja a Cielo Abierto
Excavación	Retroexcavadora, cortadora de pavimento.	Retroexcavadora, minicargador, cortadora de pavimento, pala, piocha, azadón, pisón, carretilla.
Unión de Tubería	Máquina para termofusión, generador eléctrico	N/A
Pruebas Hidrostática	Bomba para prueba hidrostática.	

Actividad	Perforación Horizontal Dirigida	Zanja a Cielo Abierto
Compactación	Compactadora	Compactadora.

Nota: Fuente Propia

A continuación, se muestra una tabla las consideraciones técnicas de los dos métodos estudiados para la instalación de tuberías de agua potable en zanjas a cielo abierto y perforación horizontal dirigida.

Tabla 28

Cuadro comparativo de consideraciones técnicas

Aspecto Técnico	Perforación Horizontal Dirigida (PHD)	Zanja a Cielo Abierto
Método constructivo	Instalación subterránea sin necesidad de abrir toda la superficie, mediante perforación dirigida y posterior inserción de la tubería.	Excavación longitudinal a lo largo del trazado para colocar la tubería directamente en la zanja y luego rellenar.
Impacto superficial	Mínimo: se reduce la afectación a carreteras, tráfico, aceras, servicios existentes y áreas urbanizadas.	Alto: requiere apertura total de terreno, afectando tráfico, accesos, infraestructura superficial y generando más residuos.
Precisión y control	Utiliza sistemas de guiado para controlar profundidad, alineación y trayectoria de la perforación.	El control se limita al replanteo topográfico y ejecución de la zanja; menos precisión en la ubicación final de la tubería.
Condiciones del terreno	Adecuada para terrenos con buena estabilidad; puede enfrentar dificultades en suelos muy rocosos o altamente inestables.	Puede realizarse en la mayoría de suelos, aunque con mayores costos en roca o suelos muy duros.
Seguridad y riesgos	Menos riesgo de colapsos de zanja y accidentes de obra; requiere personal especializado en operación de la perforadora.	Mayor riesgo de deslizamientos o derrumbes en zanjas profundas; se necesitan sistemas de

Aspecto Técnico	Perforación Horizontal Dirigida (PHD)	Zanja a Cielo Abierto
		entibado y medidas adicionales de seguridad.
Velocidad de ejecución	Rápida en tramos largos y en cruces de obstáculos (carreteras, ríos,).	Menor velocidad debido al movimiento de tierras, gestión de escombros y necesidad de reponer pavimentos o superficies.
Costos de ejecución	Inversión inicial más alta por maquinaria especializada, pero ahorro en reposición de superficie y reducción de impactos indirectos.	Menor costo directo en zonas rurales o terrenos accesibles; costos elevados en áreas urbanas por reposición de infraestructura afectada.
Durabilidad y protección de la tubería	Mayor protección al quedar enterrada sin exposición previa; menos riesgo de daños durante instalación.	Mayor riesgo de daño a la tubería durante la colocación y relleno, especialmente si no hay buena compactación.
Gestión ambiental	Genera menor volumen de excavación y residuos, menor alteración del entorno.	Genera mayor volumen de excavación, escombros y alteraciones ambientales temporales.

Nota: Fuente Propia

4.5.2 COSTOS Y PLAZOS DE EJECUCIÓN

En la tabla siguiente se muestra un cuadro comparativo que indica las actividades principales involucradas para los dos métodos estudiados de zanja a cielo abierto y perforación horizontal dirigida.

Tabla 29

Principales actividades involucradas en el método de perforación horizontal dirigida y zanjas a cielo abierto

Actividad	Método PHD – Costo (USD)	Método PHD – Plazo (días)	Método Zanjas – Costo (USD)	Método Zanjas – Plazo (días)
Estudios preliminares	7,393.65	7	7,693.65	7
Trazo y nivelación			502.74	6
Corte y demolición de asfalto	17,051.92		9,239.49	9
Excavación		10	18,881.95	32
Compactación y relleno			25,423.87	38
Suministro e instalación de tubería	229,381.76	54	49,130.39	28
Pruebas hidráulicas (estanqueidad, presión, desinfección)		9	6,969.61	1
Restauración de capa asfáltica			47,976.93	20
Desalojo de material		4	18,635.60	3
Costos indirectos		-	61,241.09	-

Costo Total (sin IVA)	220,862.67	84 días	189,074.06	144 días
Costo Total con IVA	253,827.33	-	282,856.12	-

Nota: Fuente Propia

En la tabla siguiente se muestra un cuadro comparativo que indica los equipos y recursos para los dos métodos estudiados de zanja a cielo abierto y perforación horizontal dirigida.

Tabla 30

Equipos y recursos necesarios para el método de la perforación horizontal dirigida y zanjas a cielo abierto

Elemento	Ø4" PHD	Ø4" ZANJA A CIELO ABIERTO	Ø6" PHD	Ø6" ZANJA A CIELO ABIERTO
Perforadora HDD (Vermeer 24x40)	Sí	No	Sí	No
Tanqueta para mezcla de bentonita	Sí	No	Sí	No
Excavadora / retroexcavadora	Si	Sí	Si	Sí
Camiones para retiro de material	Si	Sí	Si	Sí
Personal especializado en PHD	Sí	Si	Sí	Si
Cuadrilla de excavación y relleno	Si	Sí	Si	Sí
Fontanero	No	Si	No	Si

Nota: Fuente Propia

4.5.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS PARA AMBOS MÉTODOS

En la tabla siguiente se muestra un cuadro comparativo que indica las ventajas o desventajas para los dos métodos estudiados de zanja a cielo abierto y perforación horizontal dirigida.

Tabla 31

ventajas y desventajas del método de la perforación horizontal dirigida y zanjas a cielo abierto

Criterio	Perforación Horizontal Dirigida (PHD)	Zanja a Cielo Abierto (ZCA)
Costo	Más económico	Más alto
Tiempo de ejecución	Menor	Mayor
Impacto en vía/superficie	Mínimo (requiere reponer base, subbase, pavimento de pequeñas distancias.)	Alto (requiere reponer base, subbase, pavimento de grandes distancias.)
Interferencia con servicios	Baja (puede sortear servicios existentes)	Alta (requiere desvíos o cortes)
Riesgo de colapso del terreno	Bajo	Moderado
Requiere maquinaria especial	Sí	No
Facilidad de supervisión	Menor (no se ve la tubería durante instalación)	Alta (instalación a cielo abierto)
Manejo de tráfico vehicular	Mínimo (requiere menor impacto en el tráfico con un buen control de la señalización)	Mayor impacto (requiere de un mayor control debido a las distancias de excavación y la utilización de equipo adicional)

Nota: Fuente Propia

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Con un costo total de \$253,827.33 frente a los \$282,856.12 del método tradicional de zanjas a cielo abierto, la PHD demostró ser un 42.5% más económica en el proyecto del Condominio “Las Nubes”. Esta diferencia significativa de \$29,028.79 se debe a la reducción de excavaciones masivas, menor necesidad de demolición y restauración de pavimentos, y una gestión optimizada del material extraído. Además, el uso eficiente de mano de obra y maquinaria especializada contribuyó al ahorro global del proyecto.
- La PHD permitió completar la instalación en 84 días, en contraste con los 140 días requeridos por el método tradicional, representando una reducción de 56 días (40%). Esta aceleración en la ejecución no solo beneficia la entrega anticipada del sistema, sino que también reduce significativamente el tiempo de afectación para la comunidad por ruidos, desvíos de tráfico, polvo, vibraciones y molestias asociadas.
- Aunque los resultados de este estudio muestran claras ventajas técnicas, financieras y operativas de la Perforación Horizontal Dirigida en comparación con el método tradicional de zanjas abiertas, es fundamental mencionar que estas conclusiones se basan en un caso de estudio concreto. Por lo tanto, esta investigación puede servir de referencia útil para evaluaciones y planificación de proyectos semejantes en el futuro, pero no debe considerarse como una regla general válida para todas las situaciones. Cada proyecto tiene sus propias variaciones, como el tipo de suelo, la ubicación geográfica, la disponibilidad de equipos y el presupuesto, los cuales pueden afectar de manera notable la viabilidad y preferencia de un método sobre otro. Así, se sugiere realizar estudios de factibilidad particulares para cada proyecto, teniendo en cuenta sus condiciones específicas antes de elegir el método constructivo más apropiado.

5.2 RECOMENDACIONES

- Considerar métodos combinados según condiciones del proyecto, en casos donde existan tramos con accesibilidad limitada o condiciones geotécnicas desfavorables para la PHD, se puede optar por un enfoque combinado: utilizando PHD en los sectores más sensibles o críticos, y zanja a cielo abierto en zonas seguras, accesibles y con baja interferencia urbana.
- Desarrollo de estándares técnicos y manuales de ejecución, para la elaboración de guías técnicas específicas para el diseño y ejecución de obras con PHD contribuirá a estandarizar procesos, garantizar la calidad del trabajo, estas guías deben incluir aspectos como selección de maquinaria, tipos de suelo adecuados, medidas de control, y buenas prácticas operativas.
- Independientemente del método constructivo elegido, es fundamental realizar estudios preliminares exhaustivos que incluyan levantamientos topográficos detallados, análisis geotécnicos y detección de redes e infraestructuras subterráneas existentes (como líneas eléctricas, redes de agua potable, gas y telecomunicaciones), estos estudios permiten prevenir daños estructurales, interrupciones de servicios esenciales y accidentes durante la ejecución del proyecto, garantizando una instalación segura, eficiente y técnicamente controlada.
- El clima desempeña un papel crucial en la ejecución de proyectos que utilizan el método de zanja a cielo abierto, condiciones climáticas adversas, como lluvias intensas o prolongadas, pueden provocar la acumulación de agua en las zanjas, ocasionando retrasos en las actividades, problemas de estabilidad en los taludes y riesgos de colapso. asimismo, los terrenos saturados pueden dificultar el acceso de maquinaria pesada, comprometiendo tanto la eficiencia del trabajo como la seguridad del personal.

REFERENCIAS

- Abaunza, J. A. P. (s. f.). *DIRECTOR: ING. LUÍS ALBERTO JARAMILLO*.
- agua, C. I. (Diciembre de 2009). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/371511990/Tabla-Anchos-de-Zanja>
- AGUILAR, A., & RODRIGUEZ, C. (2022). “*MANUAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PERFORACIONES HORIZONTALES DIRIGIDAS*” [INVESTIGACION, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE EL SALVADOR].
- <file:///C:/Users/willi/OneDrive/Desktop/TESIS%20WILLIAM%20PEREZ%202024/Documentos%20Jhonathan/TESIS%202022/3RA%20DEFENSA/Tesis%20Manual%20de%20Procesos%20Constructivos%20de%20Perforaciones%20Horizontales%20Dirigidas.pdf>
- AM Group, A. (2017, diciembre 25). Proceso de soldadura por electrofusión paso a paso: | AM Group. *Aristegui Maquinaria*. <https://www.aristegui.info/categoria-producto/soldadura-por-electrofusion/>
- ANDA. (2014, noviembre). *NORMAS TECNICAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADOS DE AGUAS NEGRAS*. <https://www.anda.gob.sv/download/normas-tecnicas-anda/>
- ANDA. (2015, septiembre). Anexo 1—Especificaciones Técnicas para obras civiles, hidráulicas y para pozos. *Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados ANDA*. <https://www.anda.gob.sv/download/anexo-1-especificaciones-tecnicas-para-obras-civiles-hidraulicas-y-para-pozos/>

ASTM-F2164-21.pdf. (s. f.). Recuperado 3 de marzo de 2025, de

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/109649/6cd1f5c8700942afa945e9a94507766d/ASTM-F2164-21.pdf>

AWWA C651.pdf. (s. f.). Recuperado 3 de marzo de 2025, de

<https://govtribe.com/file/government-file/36c25022b0045-awwa-c651-dot-pdf>

ABAUNZA, J. A. (2011). EVALUACIÓN Y PERSPECTIVAS DE LA

UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS SIN ZANJA EN REDES DE

ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. *Ingeniero Civil*. PONTIFICIA

UNIVERSIDAD JAVERIANA, Bogota, Colombia. Obtenido de

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7549/tesis607.pdf;jsessionid=5C0135E26369FD016D13FB0AE969B46A?sequence=1>

ANDA. (2014). *NORMAS TECNICAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA*.

Obtenido de <https://www.anda.gob.sv/index.php/download/normas-tecnicas-anda/>

ANDA. (2020). *Boletín ANDA*. Obtenido de

<https://www.anda.gob.sv/index.php/download/boletin-2020/>

Associantion, A. C. (N/A). *INSTALACION DEL TUBO DE CONCRETO*.

Obtenido de <https://grupo->

[mondragon.s3.amazonaws.com/tubosgm/media/handbook_docs/ACPA_MANUAL_INSTALACION_TUBO_DE_CONCRETO_ESPANOL.pdf](https://grupo-mondragon.s3.amazonaws.com/tubosgm/media/handbook_docs/ACPA_MANUAL_INSTALACION_TUBO_DE_CONCRETO_ESPANOL.pdf)

ASTMD2321-11. (s.f.). ASTM D2321-11. *practica estandar pala las instalaciones de tubos termoplasticos para drenaje y otras aplicaciones de flujo a gravedad*. ASTM INTERNACIONAL, EE.UU.

ASTMF1962-99. (s.f.). Guía estándar para el uso de perforación direccional maxihorizontal para la colocación de tuberías o conductos de polietileno debajo de obstáculos, incluidos los cruces de ríos. *Guía estándar para el uso de perforación direccional maxihorizontal para la colocación de tuberías o conductos de polietileno debajo de obstáculos, incluidos los cruces de ríos*. ASTM INTERNATIONAL, EE.UU. Obtenido de https://www.academia.edu/39339054/GUÍA_TÉCNICA_GTC_COLOMBIANA_231_GUÍA_PARA_EL_USO_DE_PERFORACIÓN_MAXI_HORIZONTAL_DIRIGIDA_PARA_INSTALACIÓN_DE_TUBOS_O_CONDUCTOS_DE_POLIETILENO_BAJO_OBSTÁCULOS_INCLUYENDO_CRUCE_DE_RÍOS

AWWA C901 Norma para Tuberías y Tubos de Polietileno a Presión (PE), 1/2 pulg. (13 mm) a 3 pulg. (76 mm) para Servicio de Agua

AWWA C906 Norma para Tuberías y Tubos de Polietileno a Presión (PE), 4 pulg. (100 mm) a 63 pulg. (1575 mm) para la Distribución y Transmisión de Agua

ASTM D3035-12 Un estándar nacional americano especificación estándar para tubería de plástico de polietileno (PE) (DR-PR) basada en control diámetro externo

ASTM F1962– 11 Guía estándar para uso de perforación direccional maxi horizontal para la colocación de tubería o conducto de polietileno debajo de obstáculos, incluidos cruces de ríos

BoreStore. (2024, agosto 26). *Ultra X3 325 10-in (25-cm) Fluted Reamer (P) X 24k swl | Vermeer Borestore Europe*. https://borestore.eu/en-us/catalog/ultra-x3-drilling-system_ultra-x3-325/products/296555372_ultra-x3-325-10-in-25-cm-fluted-reamer-p-x-24k-sw1

Características de las excavaciones a cielo abierto. (s. f.). Recuperado 22 de agosto de 2024, de https://www.construccionesvale.com/caracteristicas-de-las-excavaciones-a-cielo-abierto_fb128093.html

CASTRO Y GUADARRAMA. (2007). *PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRECCIONAL EJEMPLO DE APLICACIÓN: CRUZAMIENTO SUBFLUVIAL* [Tesis]. <https://infonavit.smart-ed.mx/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=50acbe50536fa8140cdc1a819605e3ff>

Condor. (2024, noviembre). *¿Cómo se realizan las uniones entre tuberías y accesorios de polietileno?* <https://generaldefundicion.com/como-se-realizan-las-uniones-entre-tuberias-y-accesorios-de-polietileno/>

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. *Ingeniero Mecánico*. Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú.

Obtenido de

https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/3313/Aldo%20Flores_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Departamento de seguro de Texas,

<https://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresources/spwpexcav.pdf>

Elektra light | Conductos de Presión | RITMO | Fittings Machines Manufacturing.

(s. f.). Recuperado 26 de agosto de 2024, de

<https://www.ritmo.it/es/elettro-fusion/elektra-light/>

Falcon F2, F. (s. f.). *Falcon-F2-manuel-UK-MOST.pdf.*

<http://www.mostfrance.com/wp-content/uploads/2016/01/Falcon-F2-manuel-UK-MOST.pdf>

Fichas técnicas—Durman CAM. (2023, diciembre 12).

<https://durman.com/fichas-tecnicas/>

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.

Universidad Tecnológica del Perú.

<http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3313>

FV UNDERGROUND. (2016). *FV UNDERGROUND.* Obtenido de FV

UNDERGROUND: www.fvundergorund.com

F2620-13 Práctica estándar para uniones por termofusión de tuberías y accesorios de Polietileno

Gardeneas, R. (2017, febrero 10). *Tuberías de polietileno. ¿Uso alimentario o agrícola?* Gardeneas. <https://gardeneas.com/tuberias-de-polietileno/>

Grupo Hidraulica. (2022, diciembre 9). *¿Cuáles son las partes de una máquina de termofusión a tope?* Grupo Hidraulica.

<https://grupohidraulica.com/noticias/2022/12/09/partes-de-maquina-de-termofusion-a-tope/>

Garcia, F. S. (2019). Perforación Horizontal Dirreccional en obstaculos urbanos. *Perforación Horizontal Dirreccional en obstaculos urbanos.*

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, Ciudad de Mexico. Obtenido de

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/17148/3/Tesis.pdf>

Hierro Dúctil – AquaWorks. (s. f.). Recuperado 22 de agosto de 2024, de

<https://aquaworksca.com/product/tuberia-y-accs-pvc/>

Home | Molecor. (s. f.). Recuperado 16 de febrero de 2025, de

<https://molecor.com/es>

HOLCIM. (s.f.). TUBERIAS DE CONCRETO. *TUBERIAS DE CONCRETO.*

HOLCIM.

ICIA S.A. DE C.V. (2023, junio). *Estudio de Suelos Condominio las Nubes.*

- Koplast Industrial (Director). (2024). *¿Cómo realizar una soldadura de electrofusión para tuberías de polietileno (HDPE)?* [Video recording].
<https://www.youtube.com/watch?v=xixcElyw8Cs>
- INTERNATIONAL, M. (N/A). *TUBERÍA DE HIERRO DÚCTIL*. Birmingham.
Obtenido de <https://mcwane.com/upl/downloads/catalog/products/iso-en-tuber-a-de-hierro-d-ctil-651dfd91.pdf>
- INTREC. (2024). *INTREC Trabajos Subterráneos*. Obtenido de INTREC
Trabajos Subterráneos: <https://www.intrecsv.com/>
- Oficina Nacional de Estadística y Censos. (2007). *BANCO CENTRAL DE RESERVA DE EL SALVADOR*. Obtenido de
<https://www.bcr.gob.sv/documental/Inicio/busqueda/145#>
- Piqueras, V. Y. (2015). *ASPECTOS GENERALES DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL*. *Curso de Postgrado 2015*. Universitat Politècnica de València, Madrid. Obtenido de
<https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://victoryepes.blogs.upv.es/files/2015/11/M7-2Resumen-Ref-M7-2-Yepes.pdf&hl=es>
- RITMO500, P. W. (s.f.). *MANUAL DE INSTRUCCIONES Y MANTENIMIENTO DELTA 500 TR-E*. RITMO PLASTIC WELDING TECHNOLOGY.
- RODRÍGUEZ, C. (2022). *MANUAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PERFORACIONES*. *TRABAJO DE GRADUACIÓN*. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE EL SALVADOR, EL SALVADOR.

- S.A, Nicoll Peru. (2006). *MANUAL DE TUBOS Y ACCESORIOS DE PVC*. Lima-Peru: Decimoprimer edición.
- Santiago, F. M. (2015). METODO S DE EXCAVACIÓN SIN ZANJAS. *METODO S DE EXCAVACIÓN SIN ZANJAS*. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, MADRID, ESPAÑA. Obtenido de https://oa.upm.es/37225/1/Tesis_master_Felicidad_Minguez_Santiago.pdf
- Marcony, L. (2022). *Tabla de Dimensiones de Zanja para Tubería de Agua Potable y Alcantarillado | Marcony LopC*. uDocz. <https://www.udocz.com/apuntes/505030/tabla-anchos-de-zanja>
- Minguez Santiago, F. (2015). *Métodos de excavación sin zanjas* [Masters, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM)]. <https://oa.upm.es/37225/>
- M&L Negofer S.A.C. (Director). (2021). *Accesorios HDPE M&L Negofer SAC* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=iJw7dn8mCvc>
- Molecor. (2018, abril 11). *Tuberías de PVC-O* [Pvc_o_tcm]. pvc_o_tcm. https://www.mapa.gob.es/images/es/pvc_o_tcm30-446549.pdf
- Molecor. (2021). *Ficha Tecnica PVC-O* [Ficha Tecnica PVC-O]. Ficha Tecnica PVC-O. <https://molecor.com/sites/default/files/technicalreportes.pdf>
- Moreno, R. (2023, junio 8). ¿Cómo realizar termofusión de tubería PEAD? *GC Tratamiento*. <https://gctratamiento.mx/termofusion-tuberia-pead/>
- NICOLL. (2006, octubre 10). *MANUAL DE TUBOS Y ACCESORIOS PVC*.

<https://www.cat.com>

Piqueras, V. Y. (2015). *ASPECTOS GENERALES DE LA PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA*.

Sanchez, F. (2019). *Perforación Horizontal Direccional en Obstáculos Urbanos*.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/17148/3/Tesis.pdf>

Tubería • Delpin. (s. f.). *Delpin*. Recuperado 22 de agosto de 2024, de

<https://www.grupodelpin.com/linea-de-producto/tuberia/>

Trazo, <https://www.trazo.html>

Yepes, V. (2016, abril 15). *Introducción a la Perforación Horizontal Dirigida*

(PHD) – El blog de Víctor Yepes

[<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/04/15/introduccion-a-la-perforacion-horizontal-dirigida-phd/>].

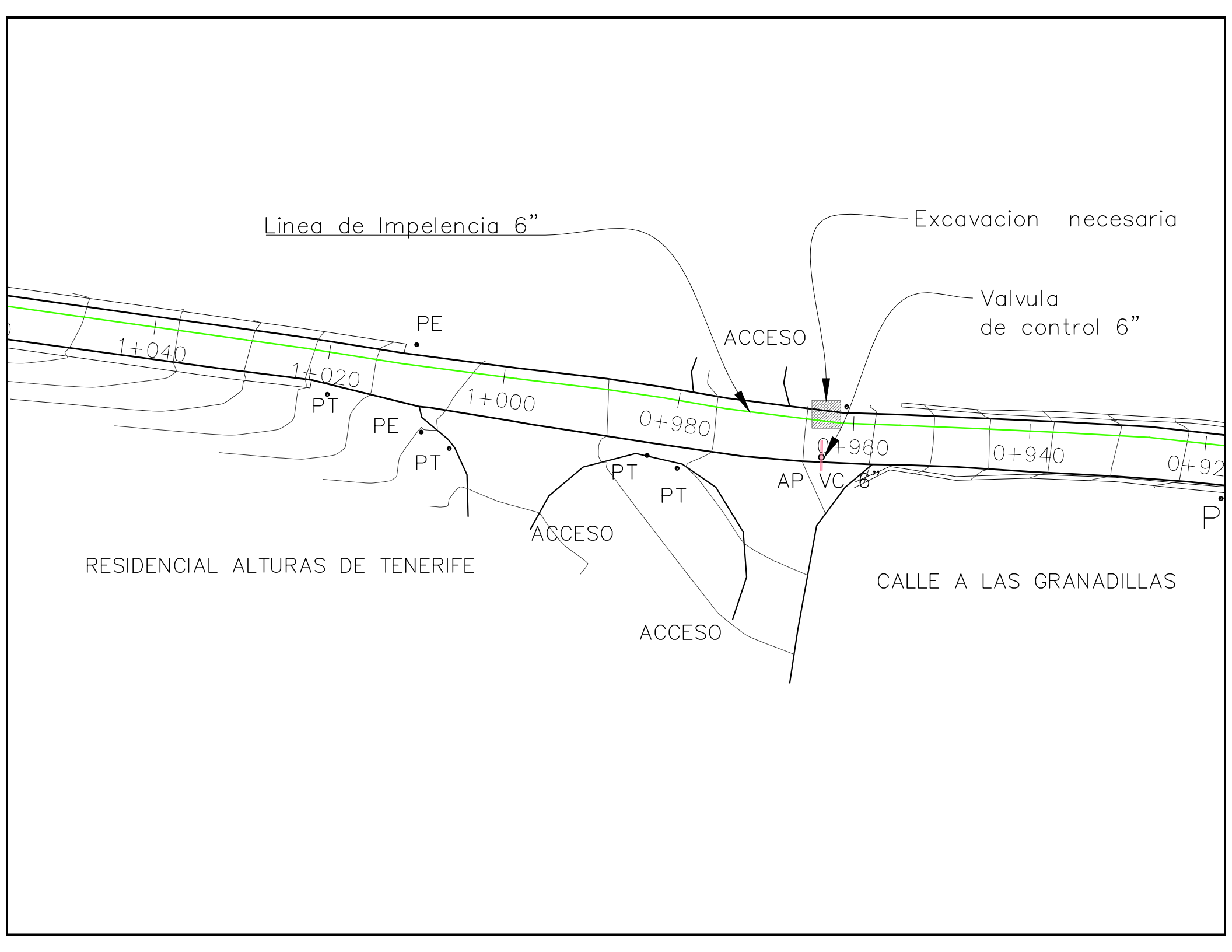
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/04/15/introduccion-a-la-perforacion-horizontal-dirigida-phd/>

(YICHAO, 2024), <https://www.xcmghddrig.com/es/> (Agua, 2009)

ANEXOS

Anexo 1

Esquema de obstáculo #1



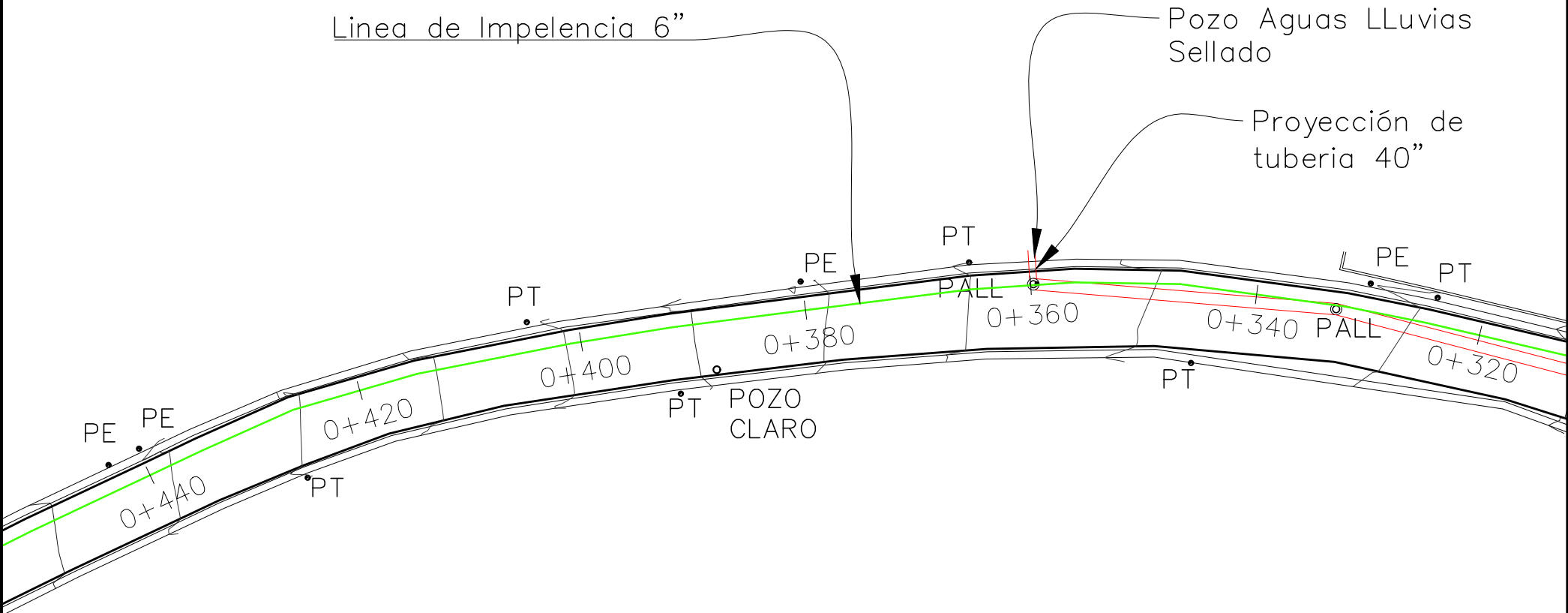
Anexo 2

Esquema de obstáculo #2

Linea de Impelencia 6"

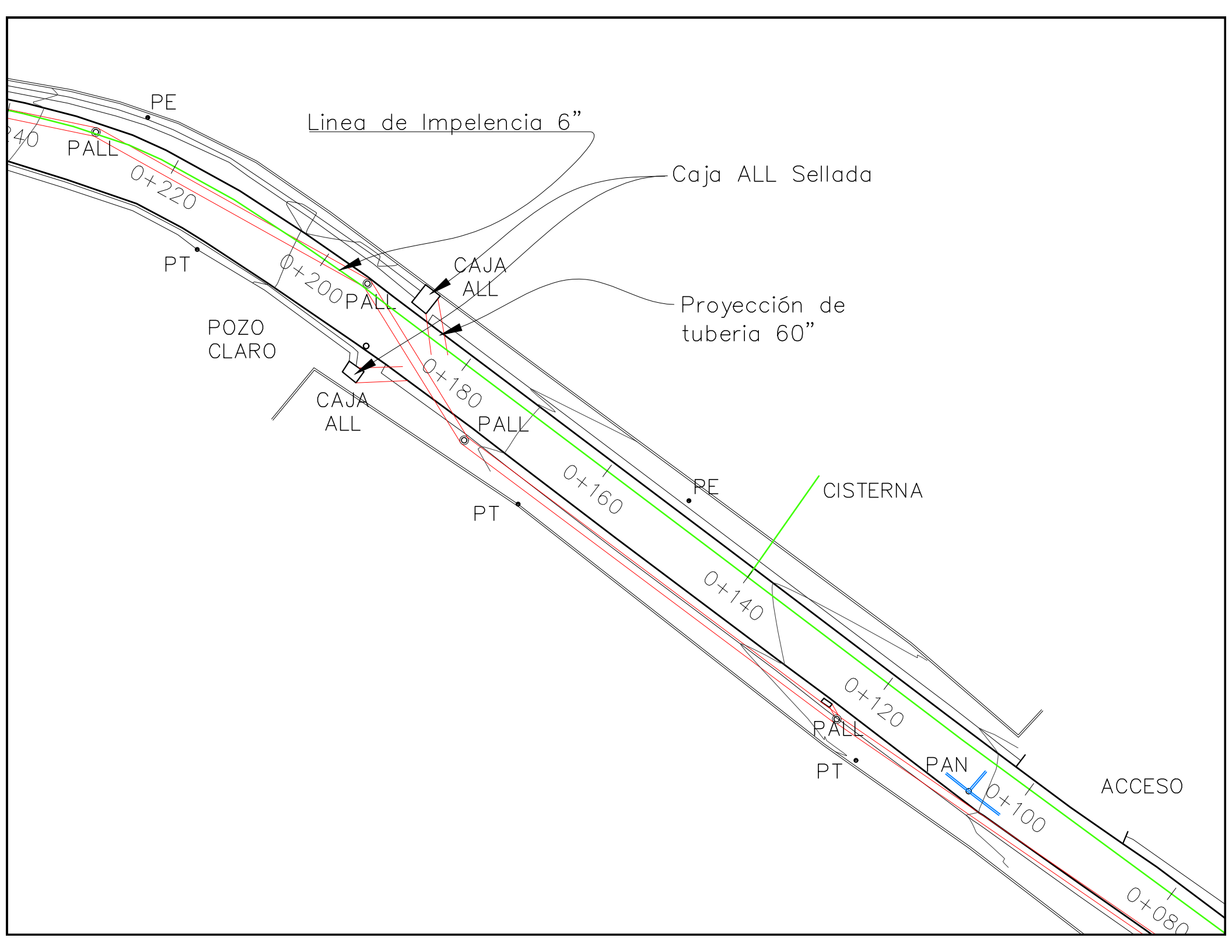
Pozo Aguas LLuvias Sellado

Proyección de tubería 40"



Anexo 3

Esquema de obstáculo #3

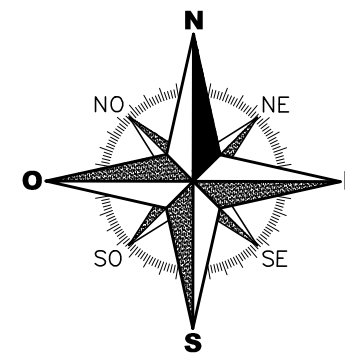


Anexo 4

Esquema de obstáculo #4

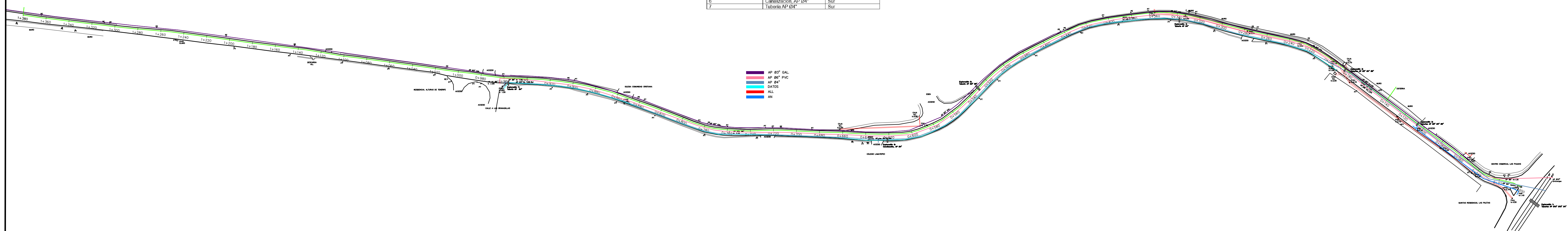
Anexo 5

**Levantamiento Topográfico de
Condominios “Las Nubes”**

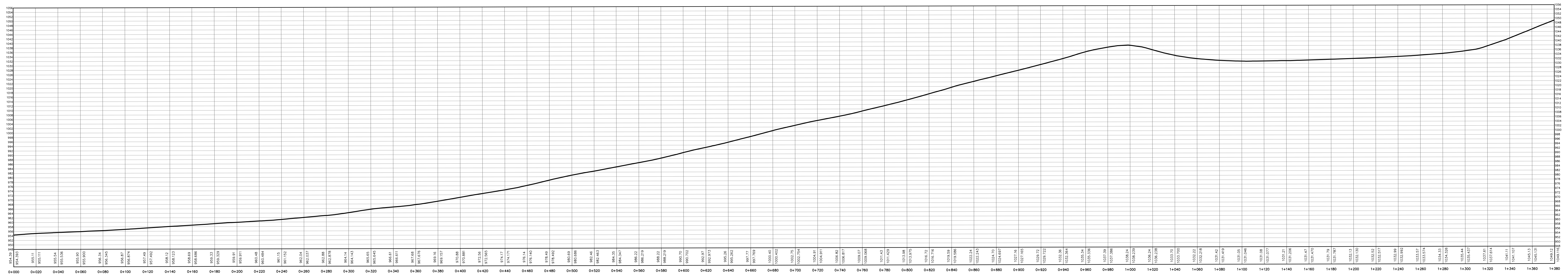


Exploración	Dirección	Ubicación de referencias
1	Tuberías AP Ø11" Ø4"	Punto de Estructuras
2	Tuberías AP Ø3" Ø4" Ø6"	Norte
3	Tuberías AP Ø3" Ø4" Ø6"	Norte
4	Tuberías AP Ø4"	Sur
5	Tuberías AP Ø3" Ø6"	Norte
6	Canalización AP Ø4"	Sur
7	Tuberías AP Ø4"	Sur

AP Ø3" GAL
AP Ø4" PVC
AP Ø4"
SATSS
ALL
AN



LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
Esc. 1:1250

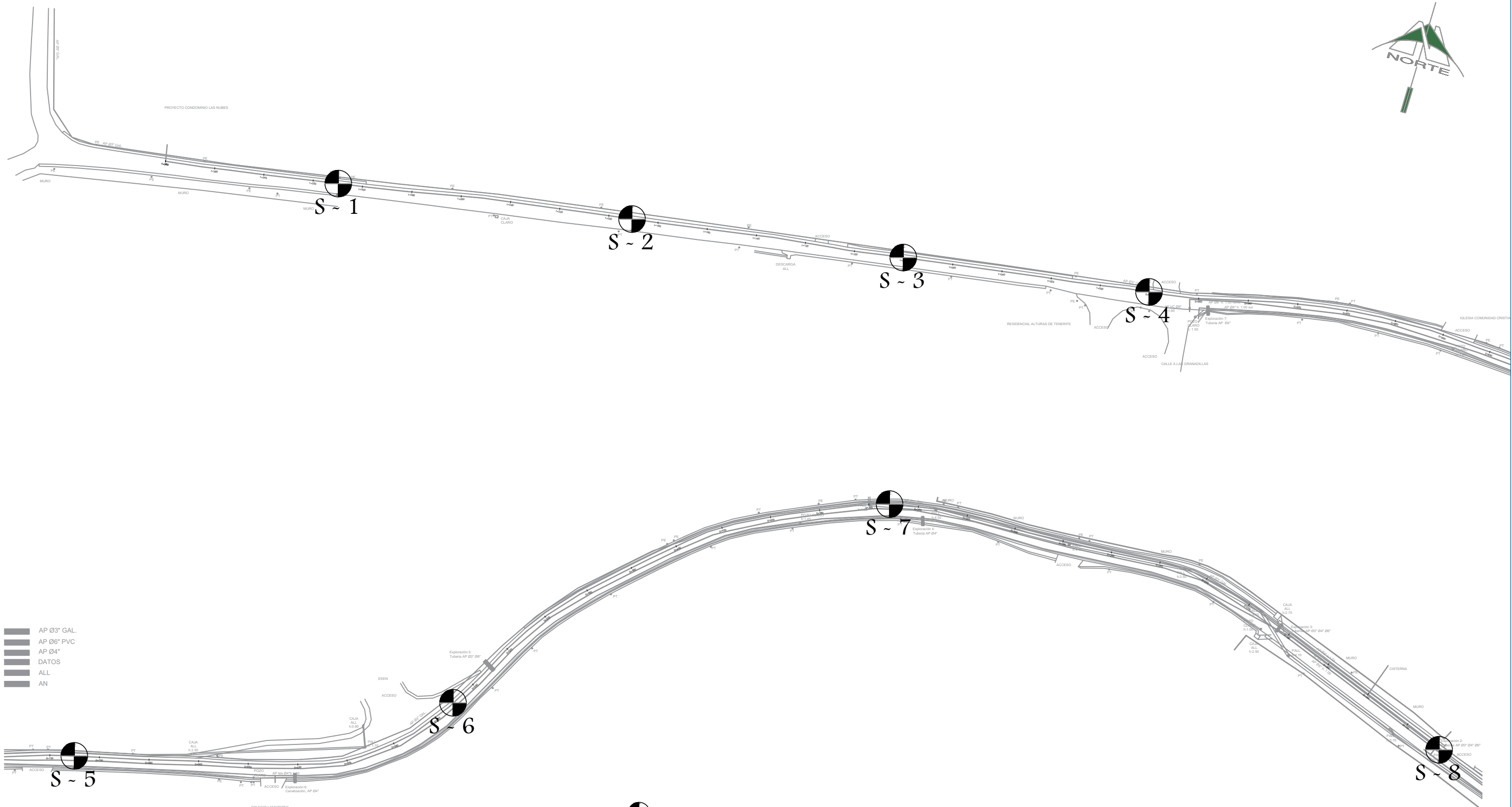


PERFIL LONGITUDINAL
Esc. 1:1250

CONTENIDO:		
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO		
UBICACIÓN: Calle al Matazano, Cantón El Matazano, Nueva San Salvador, La Libertad.		
PROPIETARIO:		
PRESENTA:	FECHA: MAYO 2023	HOJA: 1/1
LEVANTÓ:	ESCALA: INDICADA	
REVISÓ:		

Anexo 6

**Plano de ubicación de sondeo de
Condominios “Las Nubes”**



- AP Ø3" GAL.
- AP Ø6" PVC
- AP Ø4"
- DATOS
- ALL
- AN

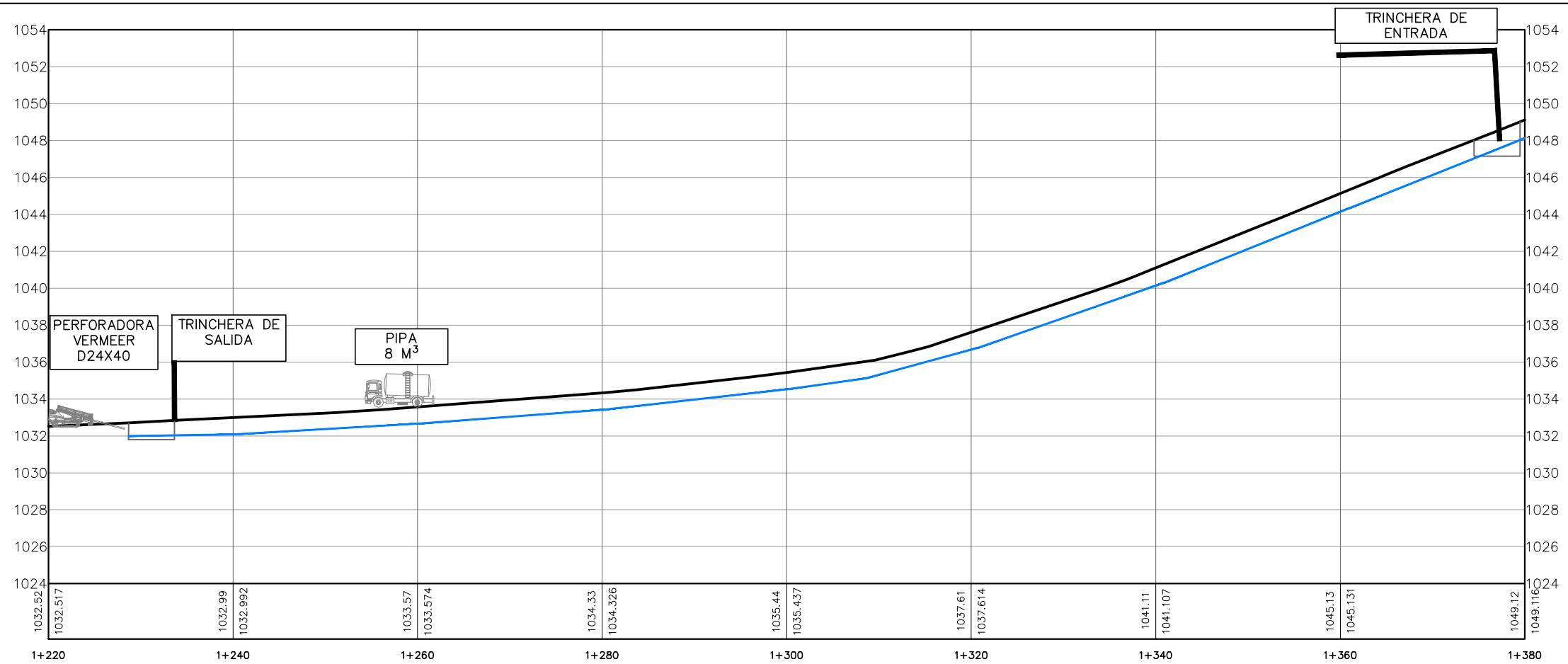
NOMENCLATURA SONDEO DE PENETRACION ESTANDAR ASTM D 1586

NOTA: LA UBICACIÓN DE LOS SONDEOS ES APROXIMADA

PROYECTO=	CONDOMINIO LAS NUBES	SOLICITA=		REVISO=		ANEXO
UBICACION=	CALLE A EL MATAZANO, CANTÓN EL MATAZANO, MUNICIPIO DE SANTA TECLA, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD.	TITULO=	PLANO DE UBICACIÓN DE SONDEOS	DIBUJO=		2
		PRESENTA=		F. PERFORACION=	11/mayo/2023	
				ESCALA=	1:1500	REFERENCIA=ES-146-2023

Anexo 7

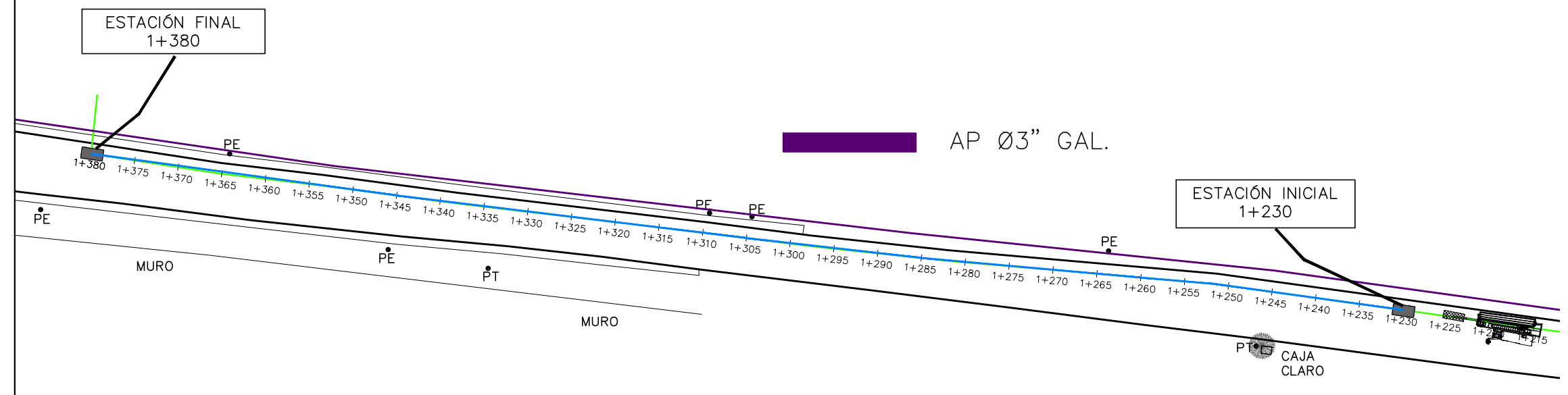
Diseño de línea de perforación tramo #1



DESCRIPCIÓN	DATOS
Tipo de Suelo	Limo Arenoso-Café Oscuro-Suelto
Estacionamiento Inicial	1+230
Estacionamiento Final	1+380
Longitud Efectiva	150.00
Longitud de Perforación	155
Profundidad de Instalación (m)	1.5
Diámetro a Instalar	6"
DR	9
Material	Polietileno de Alta Densidad
Número de Tubos	13 tubos
Número de Pegas	14
Área de Trinchera (m2)	1.00 X 1.50
Área de Ingreso de barra (m2)	1.5
	0.80 X 0.30
	0.24

PERFIL DE TRAMO #01
TRAMO #01 1:500

PROYECTO CONDOMINIO LAS NUBES

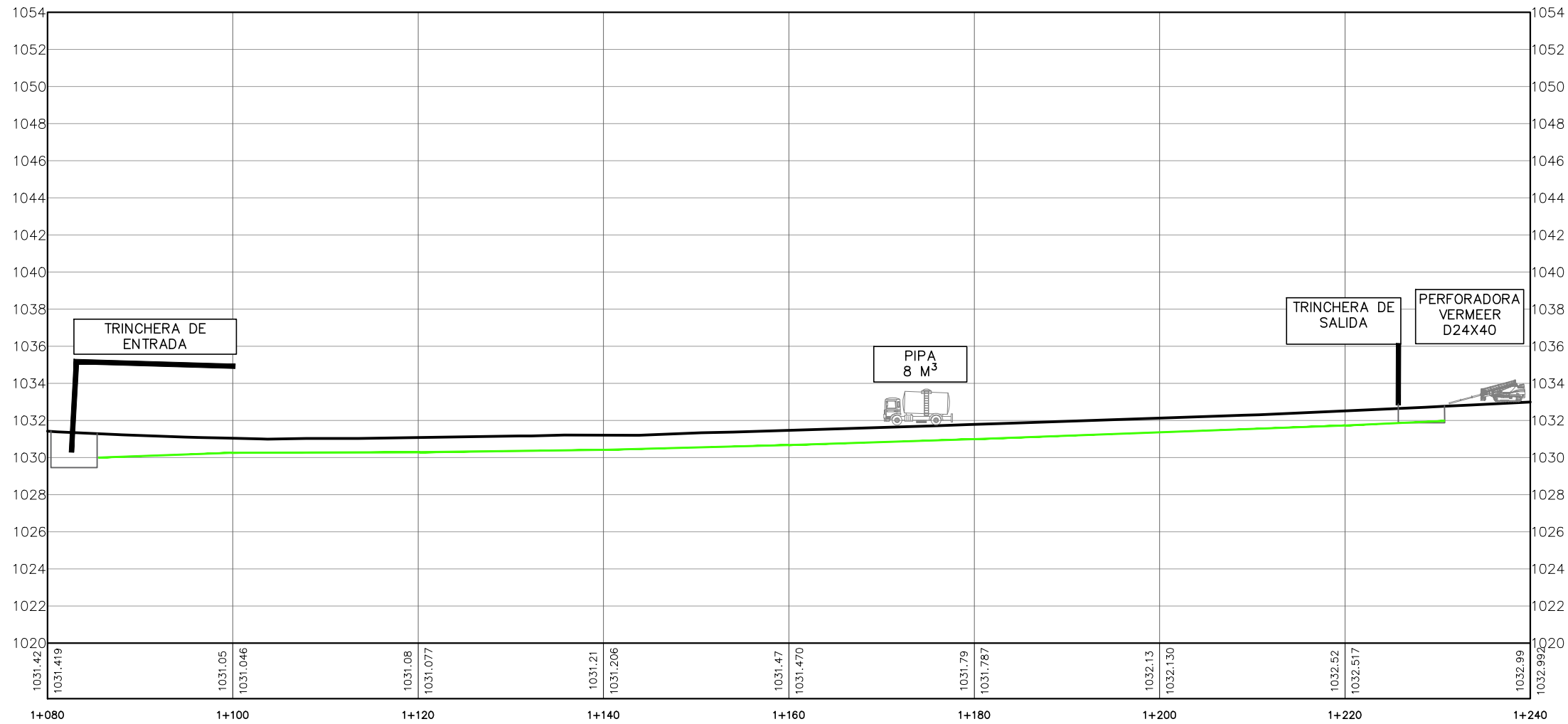


MQ1 - PLANTA DE TRAMO #01 - EST: 1+230
TRAMO #01 1:500

	PROYECTO:	"CONTRATO DE LÍNEA DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE CALLE A COMASAGUA"	ARCHIVO:	
	FECHA:		19/07/2023	
	CONTENIDO:	PLANO TALLER #1 6IN DR 9 EST IN: 1+230 EST FIN: 1+380	PRESENTA:	
			ESCALA:	Nº DE HOJA:
			INDICADAS	1

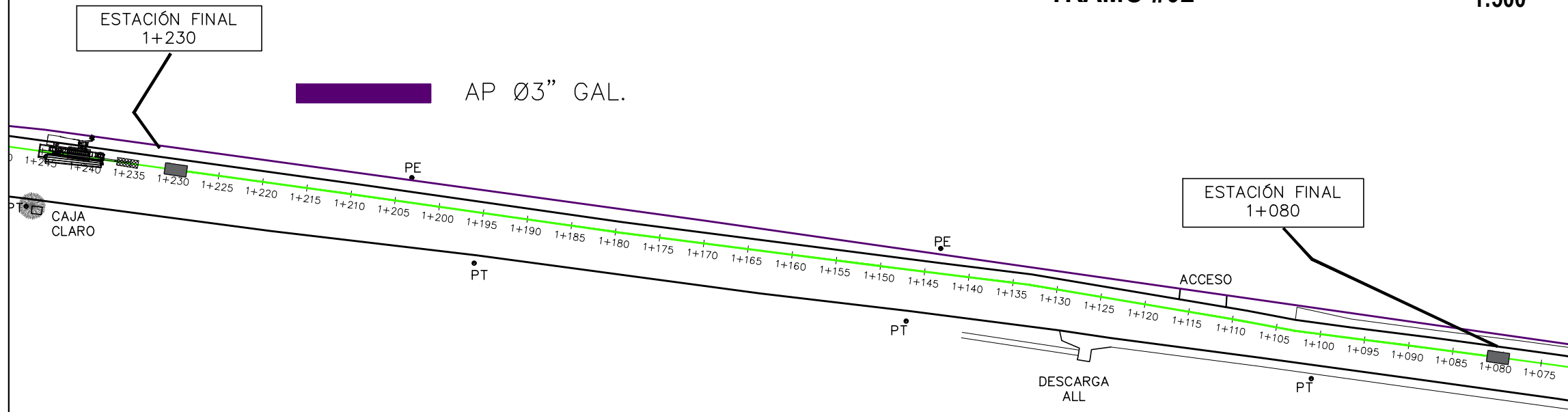
Anexo 8

Diseño de línea de perforación tramo #2



PERFIL DE TRAMO #02
TRAMO #02 1:500

DESCRIPCIÓN	DATOS
Tipo de Suelo	Arena limosa con pómez-Café Claro-Suelto
Estacionamiento Inicial	1+230
Estacionamiento Final	1+080
Longitud Efectiva	150 m
Longitud de Perforación	155 m
Profundidad de Instalación (m)	1.50m
Diámetro a Instalar	6"
DR	9
Material	Polietileno de Alta Densidad
Número de Tubos	13 tubos
Número de Pegas	14
Área de Trinchera (m2)	1.00 X 1.50
	1.5
Área de Ingreso de barra (m2)	0.80 X 0.30
	0.24

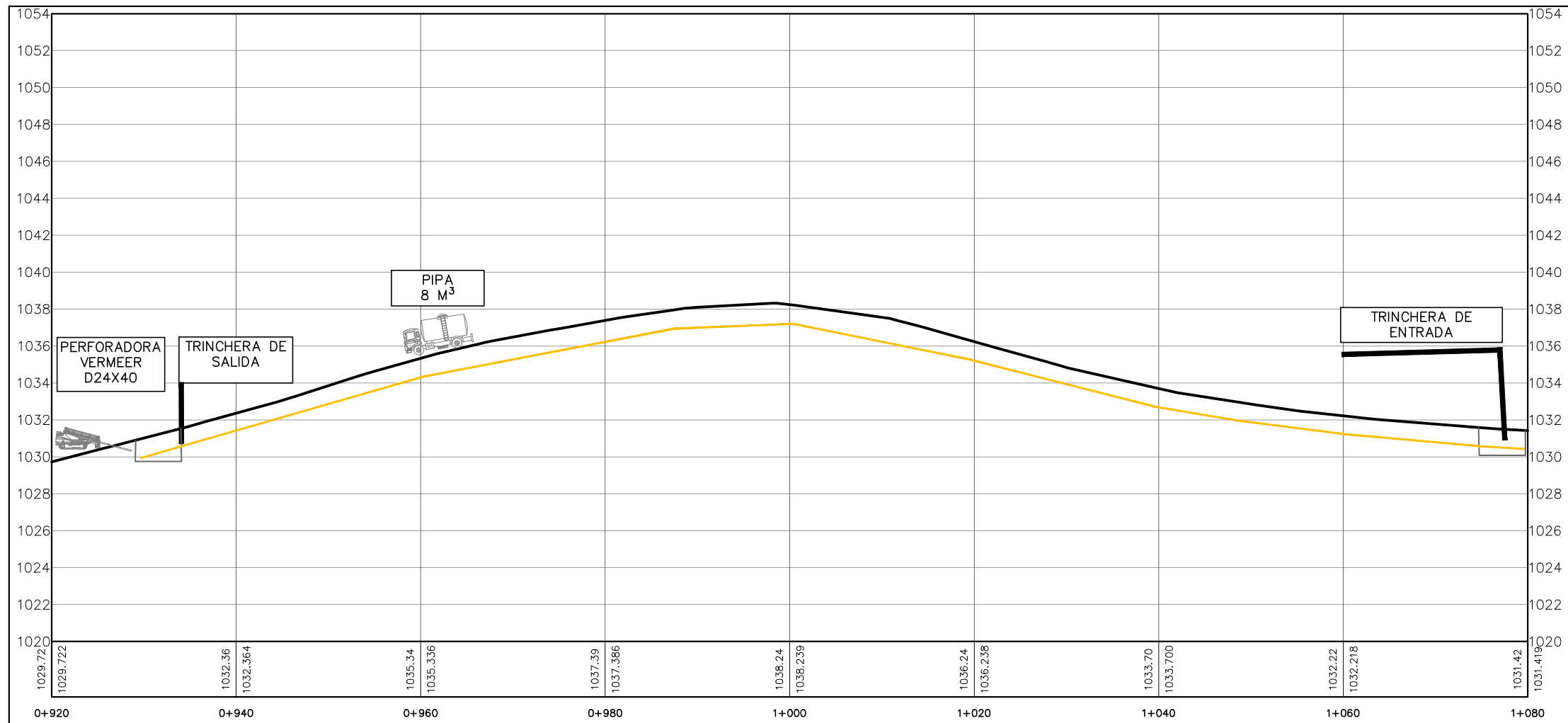


MQ1 - PLANTA DE TRAMO #02 - EST: 1+230
TRAMO #02 1:500

CONDOMINIO LAS NUBES	PROYECTO:	"CONTRATO DE LÍNEA DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE CALLE A COMASAGUA"		ARCHIVO:	
	CONTENIDO:	PLANO TALLER #2 6IN DR 9 EST IN: 1+230 EST FIN: 1+080	PRESENTA:	FECHA:	23/07/2023
				ESCALA:	Nº DE HOJA:
				INDICADAS	2

Anexo 9

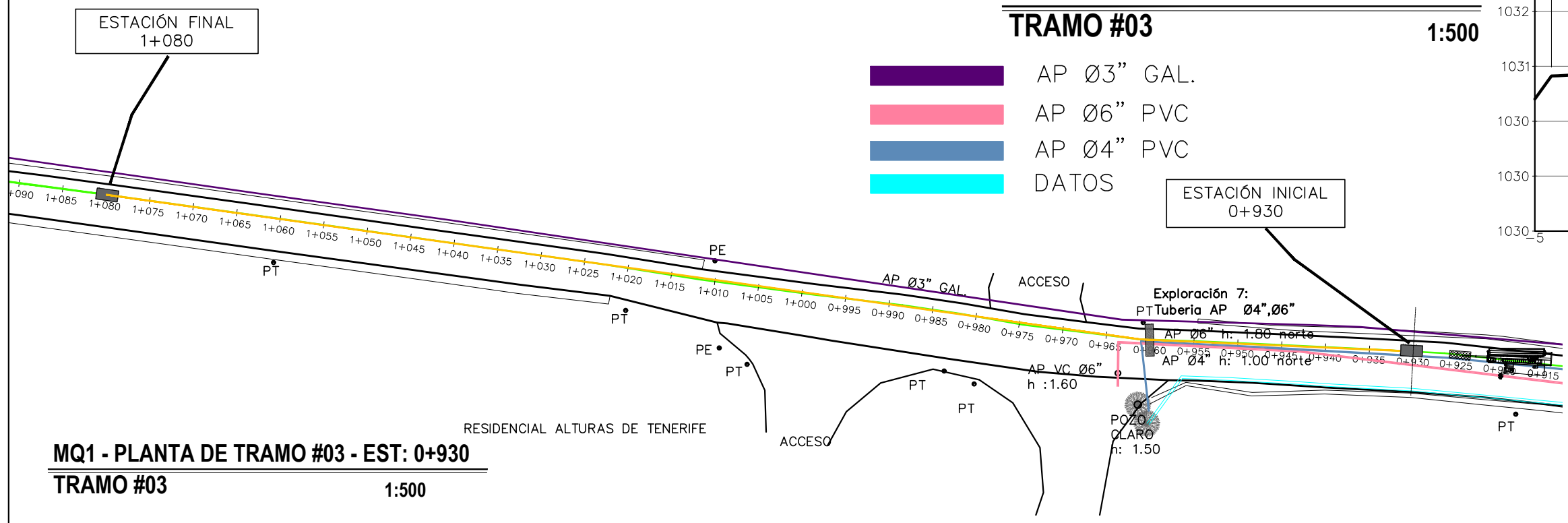
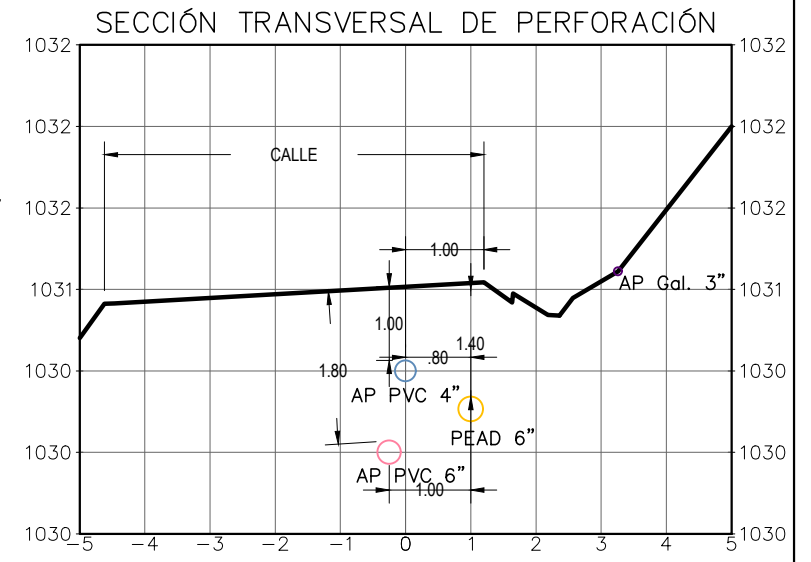
Diseño de línea de perforación tramo #3



DESCRIPCIÓN	DATOS
Tipo de Suelo	Limo arenoso-Café oscuro-Semi denso
Estacionamiento Inicial	0+930
Estacionamiento Final	1+080
Longitud Efectiva	150 m
Longitud de Perforación (m)	155 m
Profundidad de Instalación	1.50m
Diámetro a Instalar	6"
DR	9
Material	Polietileno de Alta Densidad
Número de Tubos	13 tubos
Número de Pegas	14
Área de Trinchera (m2)	1.00 X 1.50
	1.5
Área de Ingreso de barra (m2)	0.80 X 0.30
	0.24

PERFIL DE TRAMO #03
TRAMO #03 1:500

- AP Ø3" GAL.
- AP Ø6" PVC
- AP Ø4" PVC
- DATOS

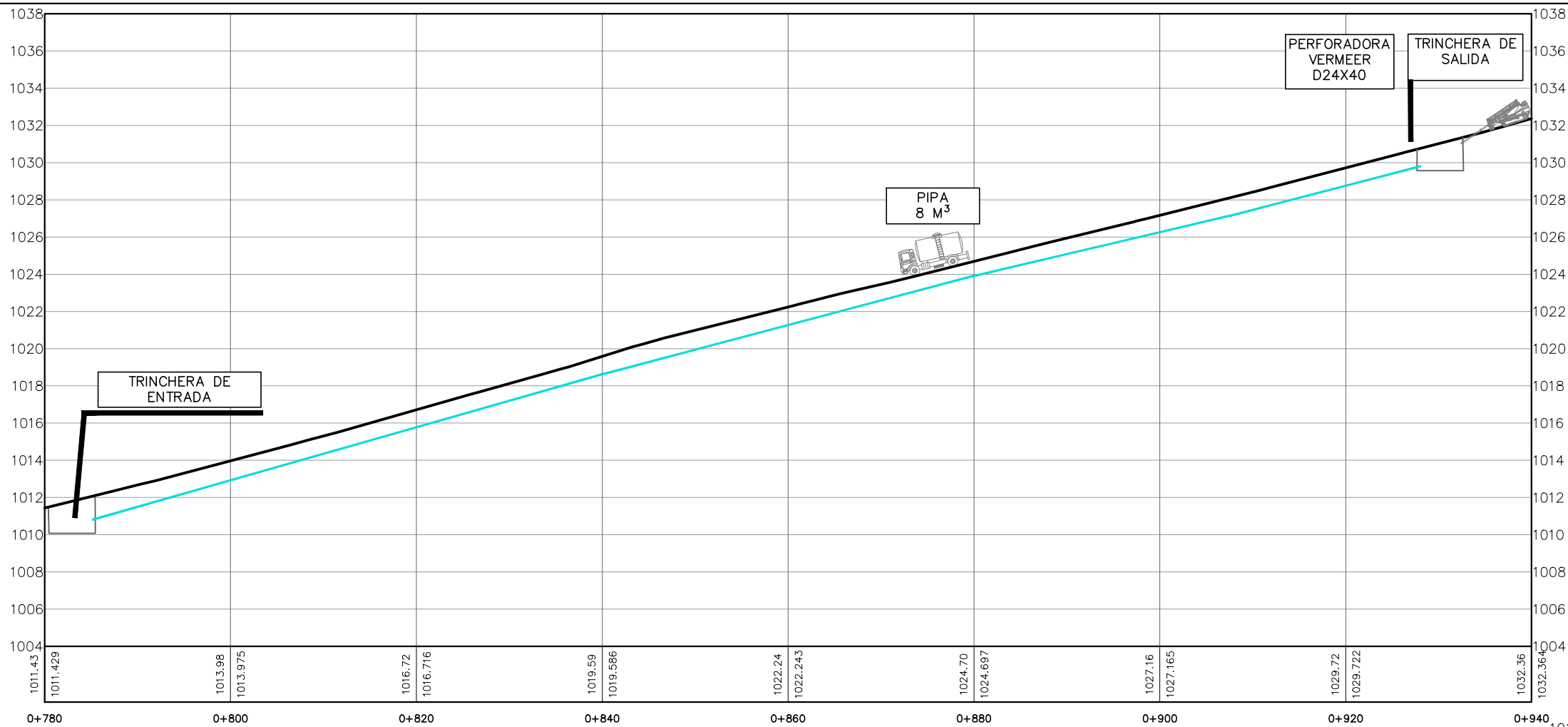


MQ1 - PLANTA DE TRAMO #03 - EST: 0+930
TRAMO #03 1:500

CONDominio LAS NUBES	PROYECTO:	"CONTRATO DE LÍNEA DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE CALLE A COMASAGUA"		ARCHIVO:	
	FECHA:	06/08/2023		ESCALA:	INDICADAS
	CONTENIDO:	PLANO TALLER #3 6IN DR 9 EST IN: 0+930 EST FIN: 1+080	PRESENTA:		Nº DE HOJA: 3

Anexo 10

Diseño de línea de perforación tramo #4

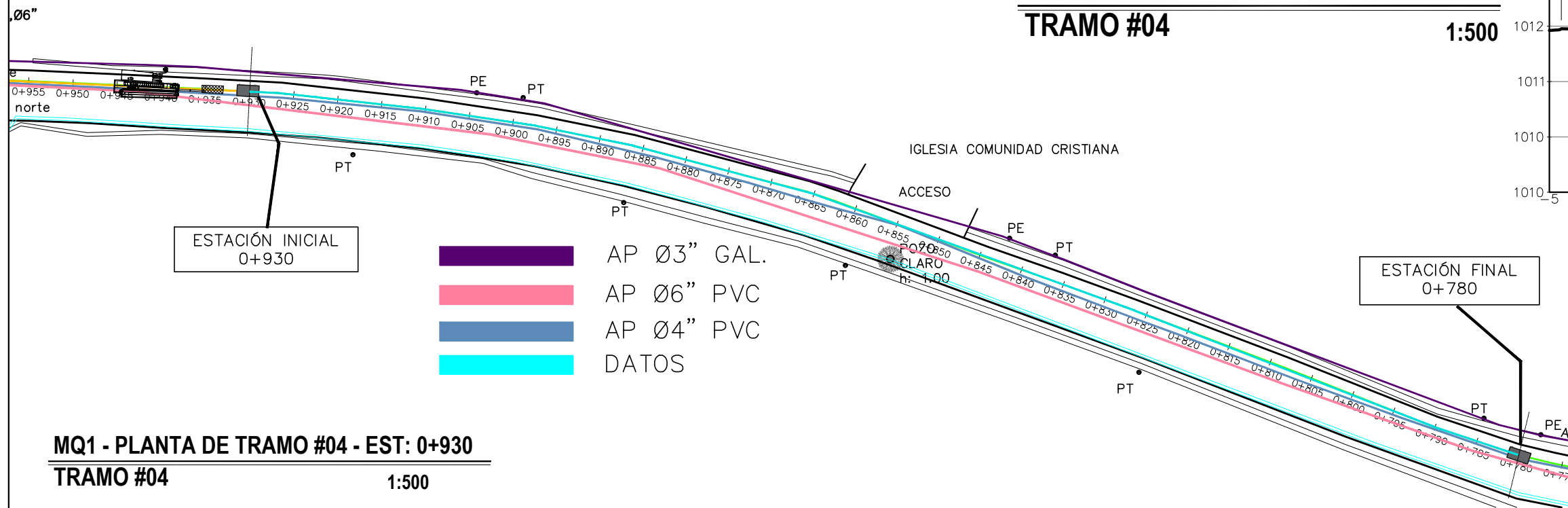
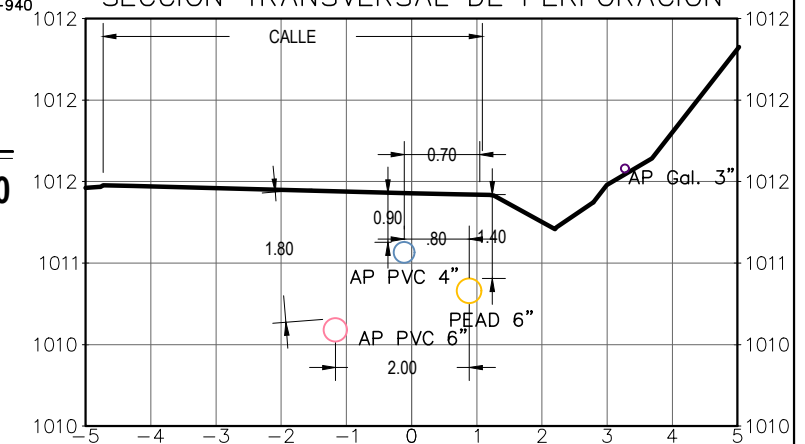


DESCRIPCIÓN	DATOS
Tipo de Suelo	Limo arenoso-Café oscuro-Media Plasticidad
Estacionamiento Inicial	0+930
Estacionamiento Final	0+780
Longitud Efectiva	150 m
Longitud de Perforación	155 m
Profundidad de Instalación (m)	1.50m
Diámetro a Instalar	6"
DR	9
Material	Poliétileno de Alta Densidad
Número de Tubos	13 tubos
Número de Pegas	14
Área de Trinchera (m2)	1.00 X 1.50
Área de Ingreso de barra (m2)	0.80 X 0.30
	0.24

PERFIL DE TRAMO #04
TRAMO #04

1:500

SECCIÓN TRANSVERSAL DE PERFORACIÓN



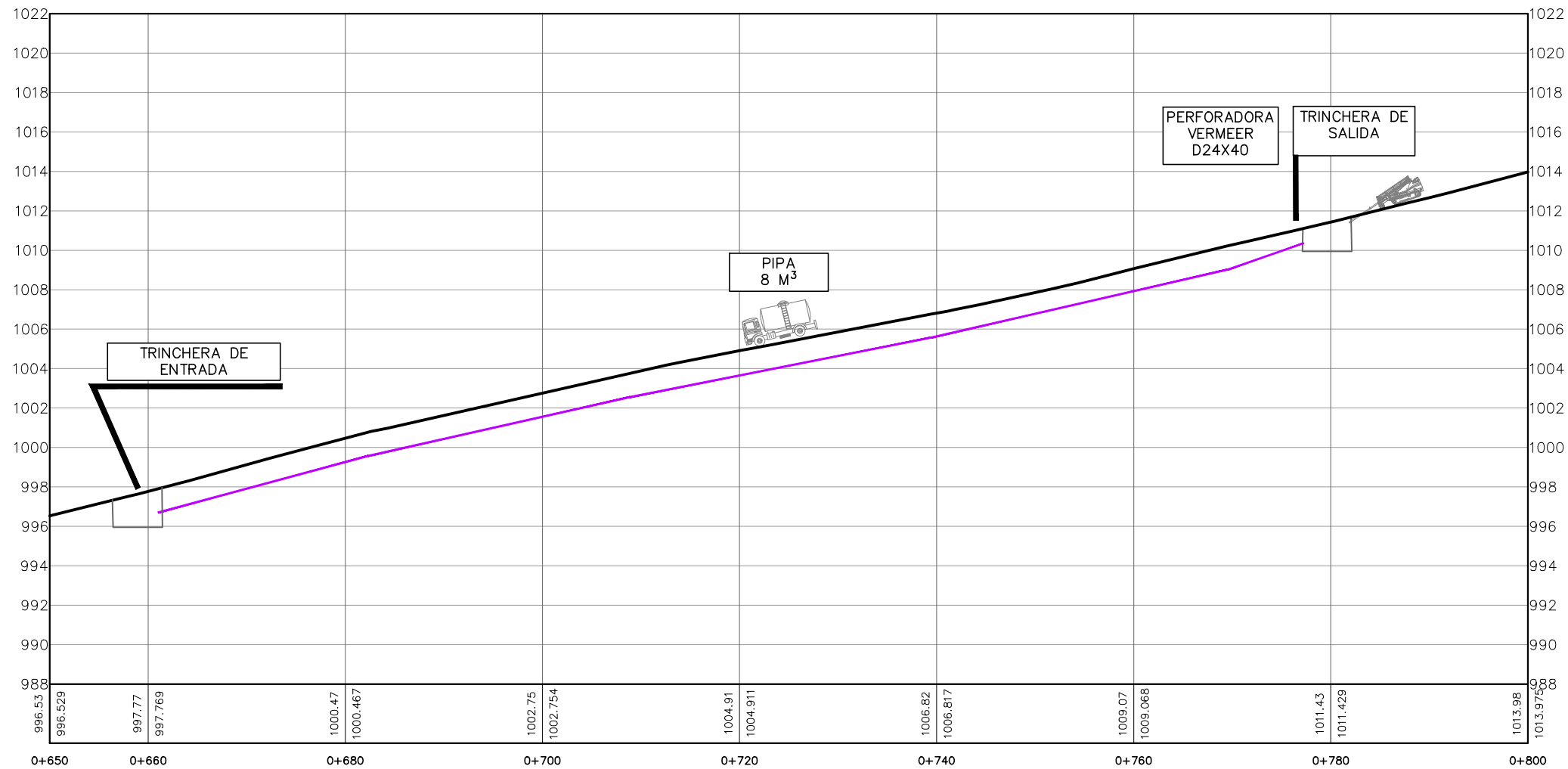
MQ1 - PLANTA DE TRAMO #04 - EST: 0+930
TRAMO #04

1:500

CONDominio LAS NUBES	PROYECTO:	"CONTRATO DE LÍNEA DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE CALLE A COMASAGUA"		ARCHIVO:	
	CONTENIDO:	PLANO TALLER #4 6IN DR 9 EST IN: 0+930 EST FIN: 0+780	PRESENTA:	FECHA:	15/08/2023
				ESCALA:	Nº DE HOJA:
				INDICADAS	4

Anexo 11

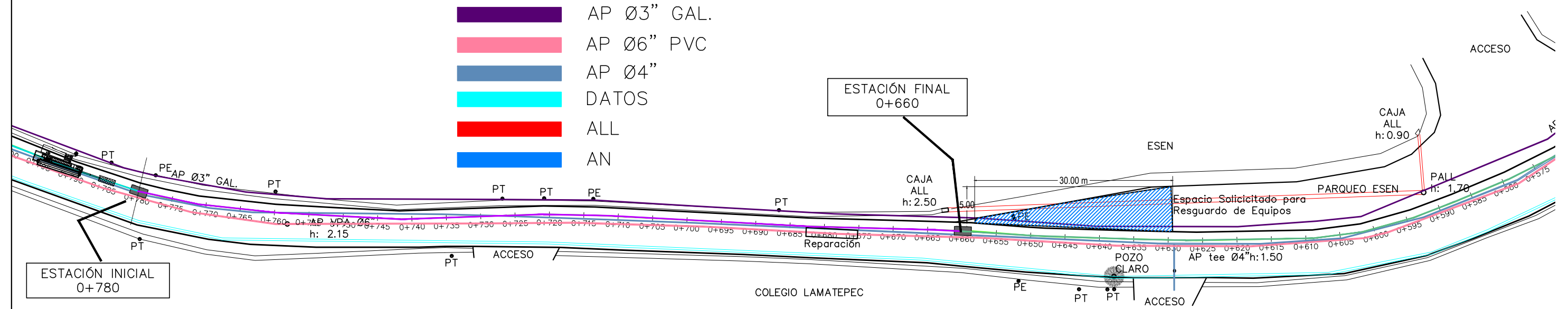
Diseño de línea de perforación tramo #5



DESCRIPCIÓN	DATOS
Tipo de Suelo	Limo arenoso-Café oscuro-Media Plasticidad
Estacionamiento Inicial	0+780
Estacionamiento Final	0+660
Longitud Efectiva	120 m
Longitud de Perforación	125 m
Profundidad de Instalación	1.50m
Diámetro a Instalar	6"
DR	9
Material	Polietileno de Alta Densidad
Número de Tubos	11
Número de Pegas	12
Área de Trinchera (m2)	1.00 X 2.00
	2
Área de Ingreso de barra (m2)	0.80 X 0.30
	0.24

PERFIL DE TRAMO #05
TRAMO #05 1:500

- AP Ø3" GAL.
- AP Ø6" PVC
- AP Ø4"
- DATOS
- ALL
- AN



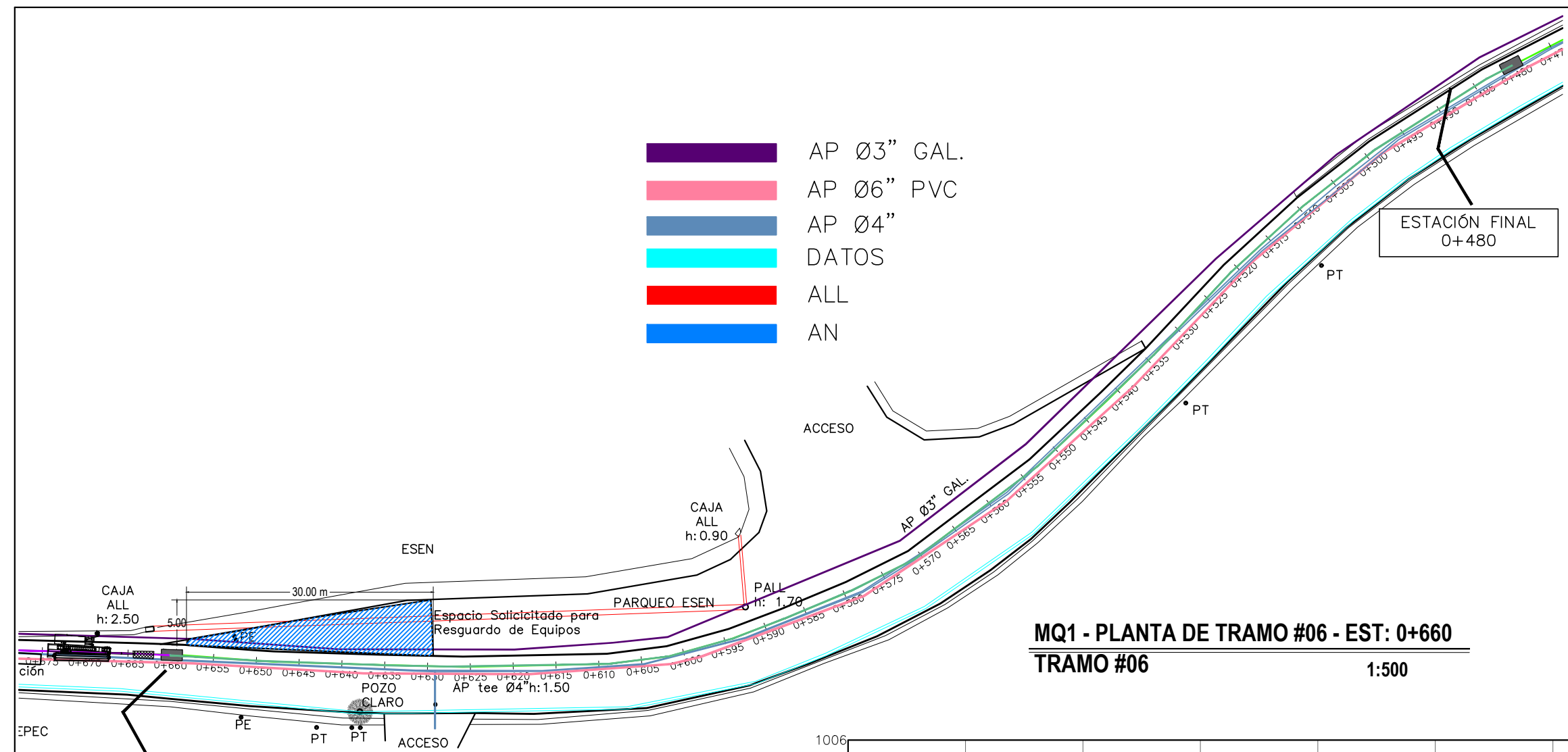
MQ1 - PLANTA DE TRAMO #05 - EST: 0+780
TRAMO #05 1:500

CONDominio LAS NUBES	PROYECTO:	"CONTRATO DE LÍNEA DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE CALLE A COMASAGUA"		ARCHIVO:	
	CONTENIDO:	PLANO TALLER #5 6IN DR 9 EST IN: 0+780 EST FIN: 0+660	PRESENTA:	FECHA:	27/08/2023
				ESCALA:	Nº DE HOJA:
				INDICADAS	5

Anexo 12

Diseño de línea de perforación tramo #6

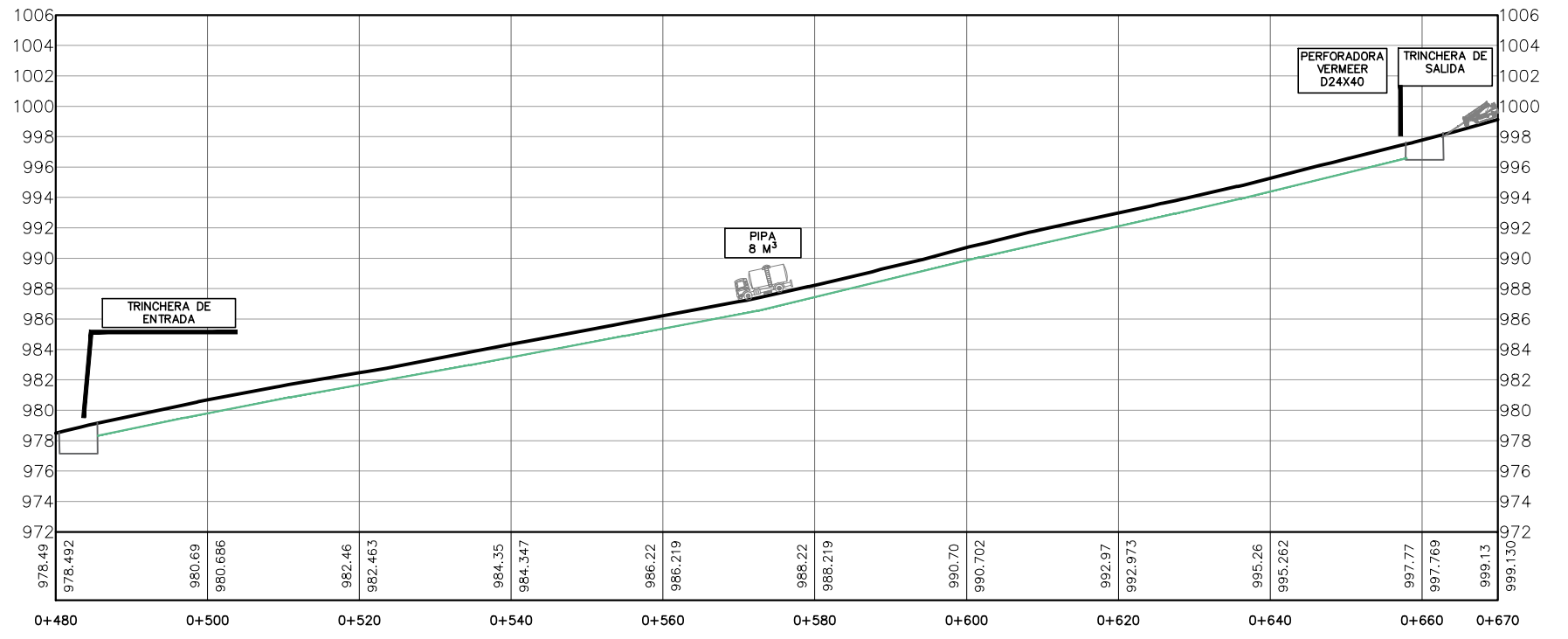
- AP Ø3" GAL.
- AP Ø6" PVC
- AP Ø4"
- DATOS
- ALL
- AN



MQ1 - PLANTA DE TRAMO #06 - EST: 0+660
TRAMO #06 1:500

ESTACIÓN INICIAL
0+660

DESCRIPCIÓN	DATOS
Tipo de Suelo	Arena Mal Graduada-Café oscuro-Con Fragmentos de Roca
Estacionamiento Inicial	0+660
Estacionamiento Final	0+480
Longitud Efectiva	180 m
Longitud de Perforación	185 m
Profundidad de Instalación (m)	1.50m
Diámetro a Instalar	6"
DR	9
Material	Poliétileno de Alta Densidad
Número de Tubos	16 tubos
Número de Pegas	17
Área de Trinchera (m2)	1.00 X 2.00
Área de Ingreso de barra	0.80 X 0.30

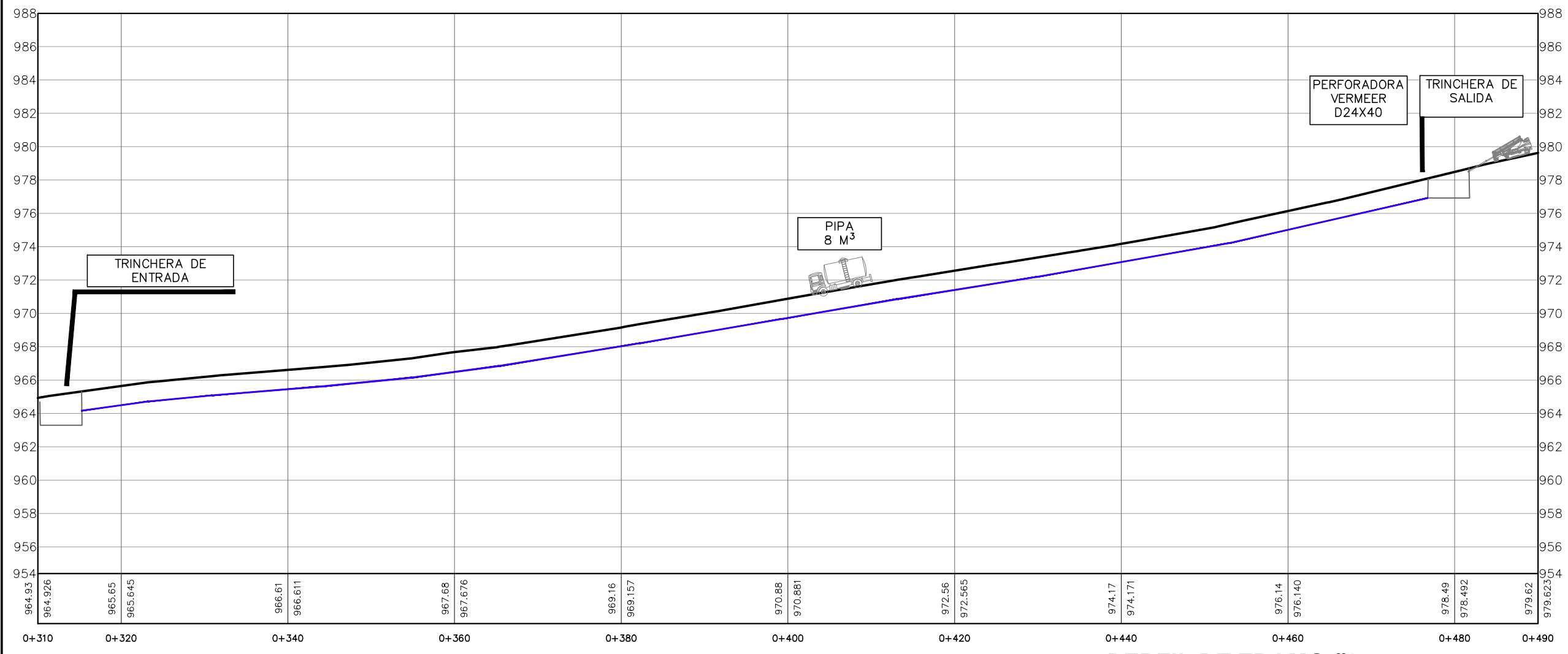


PERFIL DE TRAMO #06
TRAMO #06 1:750

CONDOMINIO LAS NUBES	PROYECTO:	"CONTRATO DE LÍNEA DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE CALLE A COMASAGUA"		ARCHIVO:	
	FECHA:			27/08/2023	
	CONTENIDO:	PLANO TALLER #6 6IN DR 9 EST IN: 0+660 EST FIN: 0+480	PRESENTA:		ESCALA: INDICADAS
					Nº DE HOJA: 6

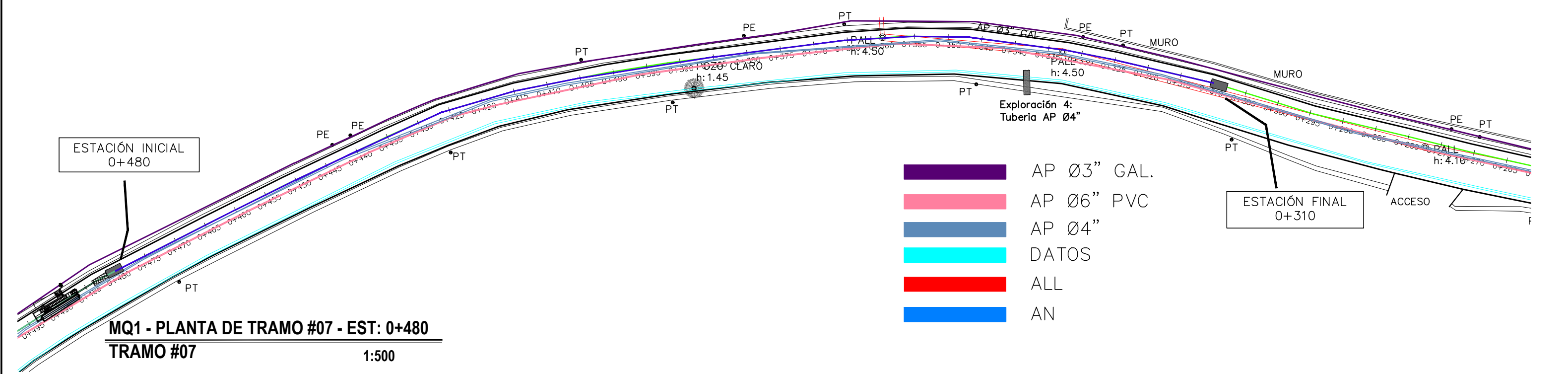
Anexo 13

Diseño de línea de perforación tramo #7



DESCRIPCIÓN	DATOS
Tipo de Suelo	Limo Arenoso-Café oscuro-Parcial Saturado
Estacionamiento Inicial	0+480
Estacionamiento Final	0+310
Longitud Efectiva	170 m
Longitud de Perforación	175 m
Profundidad de Instalación (m)	1.50m
Diámetro a Instalar	6"
DR	9
Material	Polietileno de Alta Densidad
Número de Tubos	15
Número de Pegas	16
Área de Trinchera (m2)	1.00 X 2.00 2
Área de Ingreso de barra (m2)	0.80 X 0.30 0.24

PERFIL DE TRAMO #07
TRAMO #07 1:750

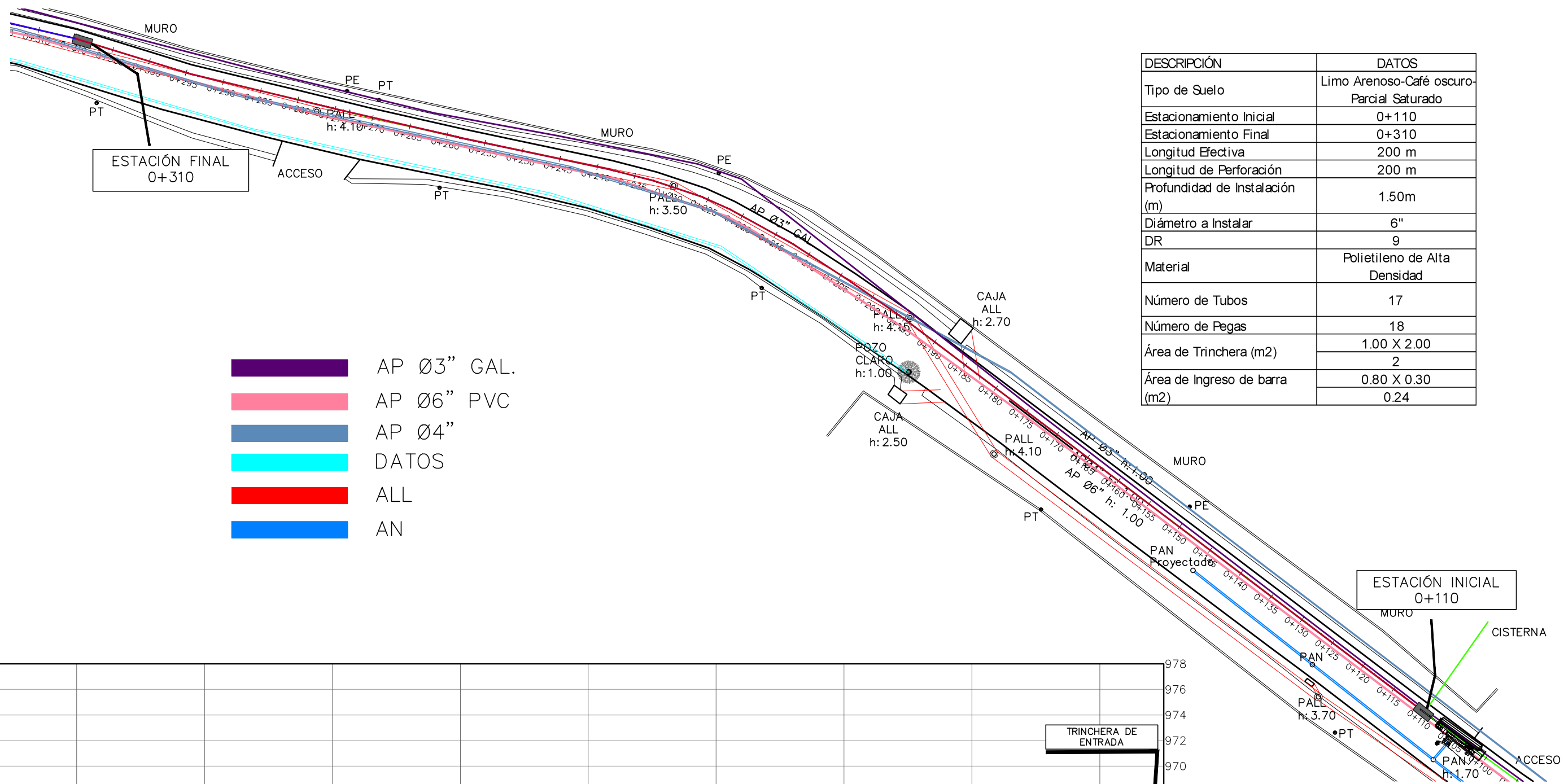


MQ1 - PLANTA DE TRAMO #07 - EST: 0+480
TRAMO #07 1:500

CONDominio LAS NUBES	PROYECTO:	"CONTRATO DE LÍNEA DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE CALLE A COMASAGUA"		ARCHIVO:	
	FECHA:	19/09/2023		ESCALA:	INDICADAS
	CONTENIDO:	PLANO TALLER #7 6IN DR 9 EST IN: 0+480 EST FIN: 0+310	PRESENTA:		N° DE HOJA: 7

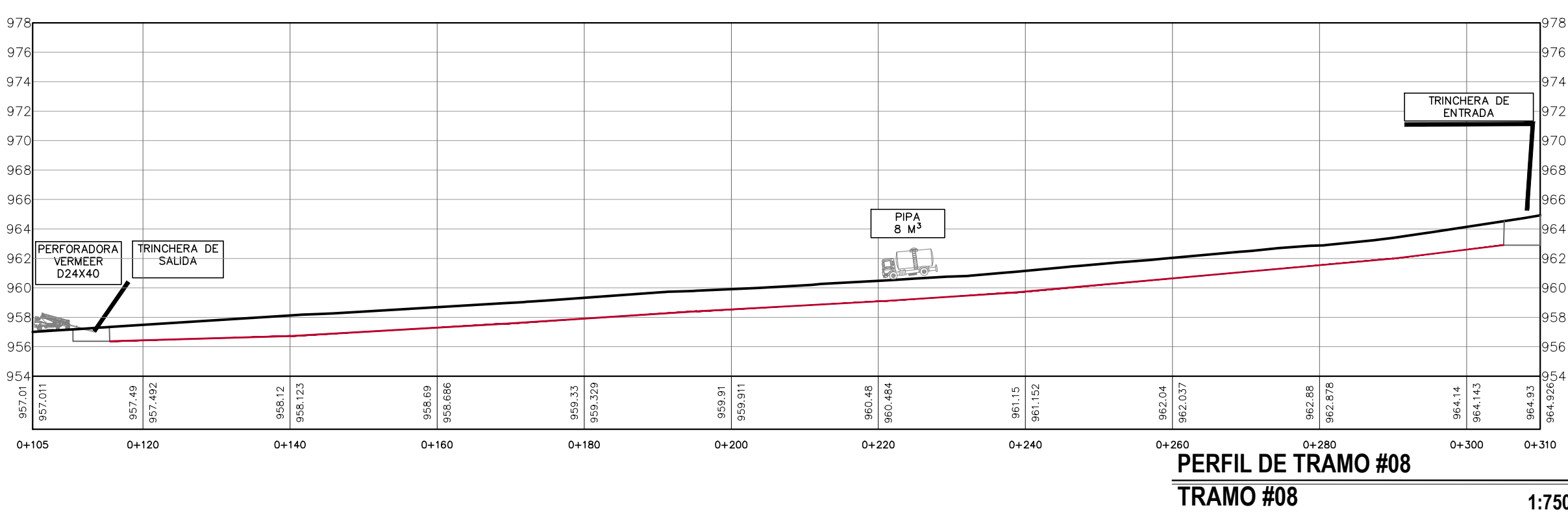
Anexo 14

Diseño de línea de perforación tramo #8



DESCRIPCIÓN	DATOS
Tipo de Suelo	Limo Arenoso-Café oscuro-Parcial Saturado
Estacionamiento Inicial	0+110
Estacionamiento Final	0+310
Longitud Efectiva	200 m
Longitud de Perforación	200 m
Profundidad de Instalación (m)	1.50m
Diámetro a Instalar	6"
DR	9
Material	Polietileno de Alta Densidad
Número de Tubos	17
Número de Pegas	18
Área de Trinchera (m2)	1.00 X 2.00
Área de Ingreso de barra (m2)	2 0.80 X 0.30 0.24

- AP Ø3" GAL.
- AP Ø6" PVC
- AP Ø4"
- DATOS
- ALL
- AN



MQ1 - PLANTA DE TRAMO #08 - EST: 0+110
TRAMO #08 1:500

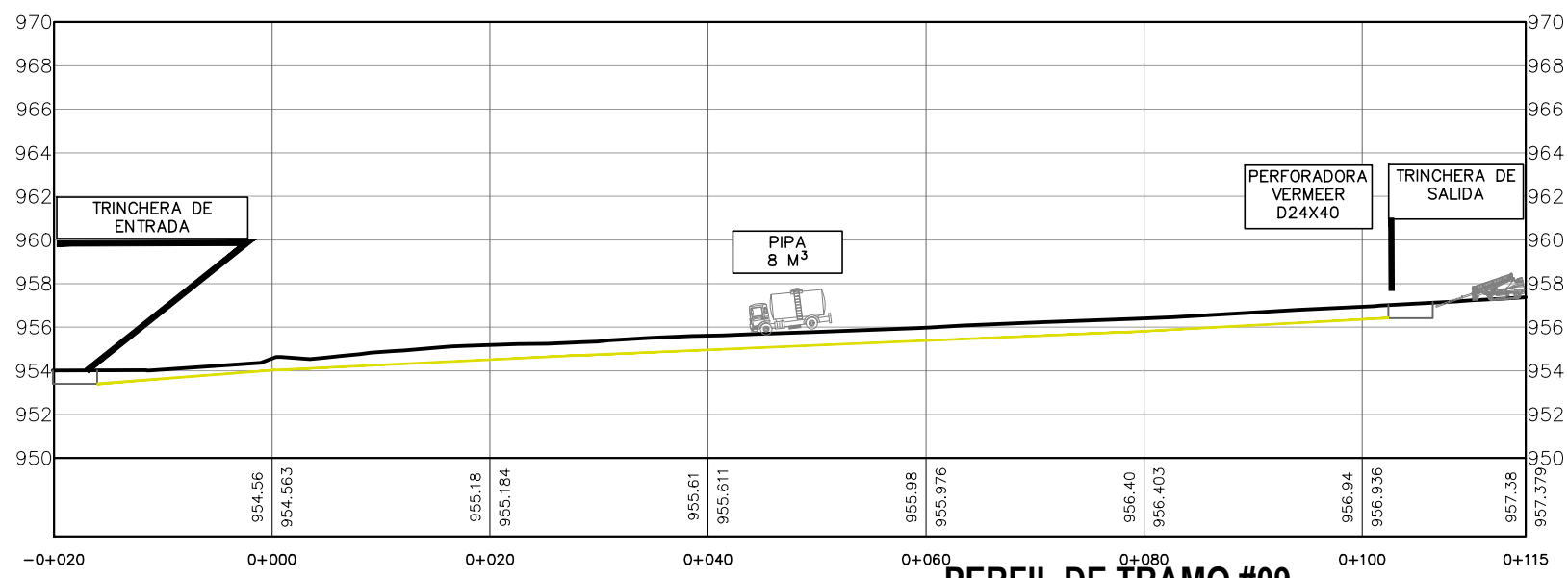
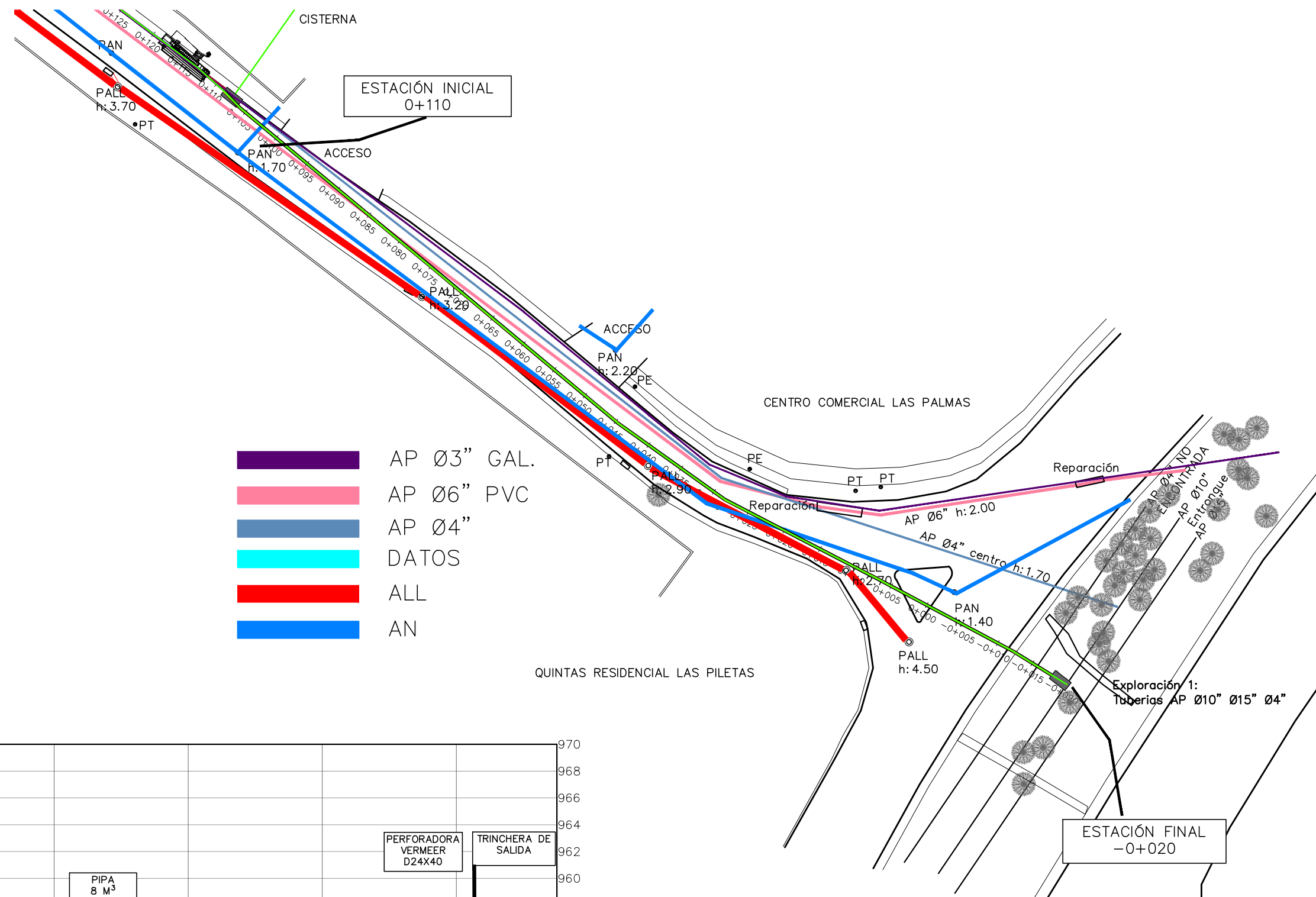
PERFIL DE TRAMO #08
TRAMO #08 1:750

	CONDominio LAS NUBES	PROYECTO: "CONTRATO DE LÍNEA DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE CALLE A COMASAGUA" CONTENIDO: PLANO TALLER #8 6IN DR 9 EST IN: 0+110 EST FIN: 0+310	ARCHIVO: FECHA: 02/10/2023 ESCALA: INDICADAS N° DE HOJA: 8
		PRESENTA:	

Anexo 15

Diseño de línea de perforación tramo #9

DESCRIPCIÓN	DATOS
Tipo de Suelo	Arena Limosa-Café oscuro con pomez-Parcial Saturado
Estacionamiento Inicial	0+110
Estacionamiento Final	-0+020
Longitud Efectiva	130 m
Longitud de Perforación	130 m
Profundidad de Instalación (m)	1.00m
Diámetro a Instalar	4"
DR	9
Material	Polietileno de Alta Densidad
Número de Tubos	11
Número de Pegas	12
Área de Trinchera (m2)	1.00 X 2.00
Área de Ingreso de barra (m2)	0.80 X 0.30
	0.24



PERFIL DE TRAMO #09
TRAMO #09 1:750

MQ1 - PLANTA DE TRAMO #09 - EST: 0+110
TRAMO #09 1:500

CONDominio LAS NUBES	PROYECTO:	"CONTRATO DE LÍNEA DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE CALLE A COMASAGUA"		ARCHIVO:	
	FECHA:	16/10/2023		ESCALA:	INDICADAS
	CONTENIDO:	PLANO TALLER #9 4IN DR 9 EST IN: 0+110 EST FIN: -0+020	PRESENTA:		Nº DE HOJA: 9

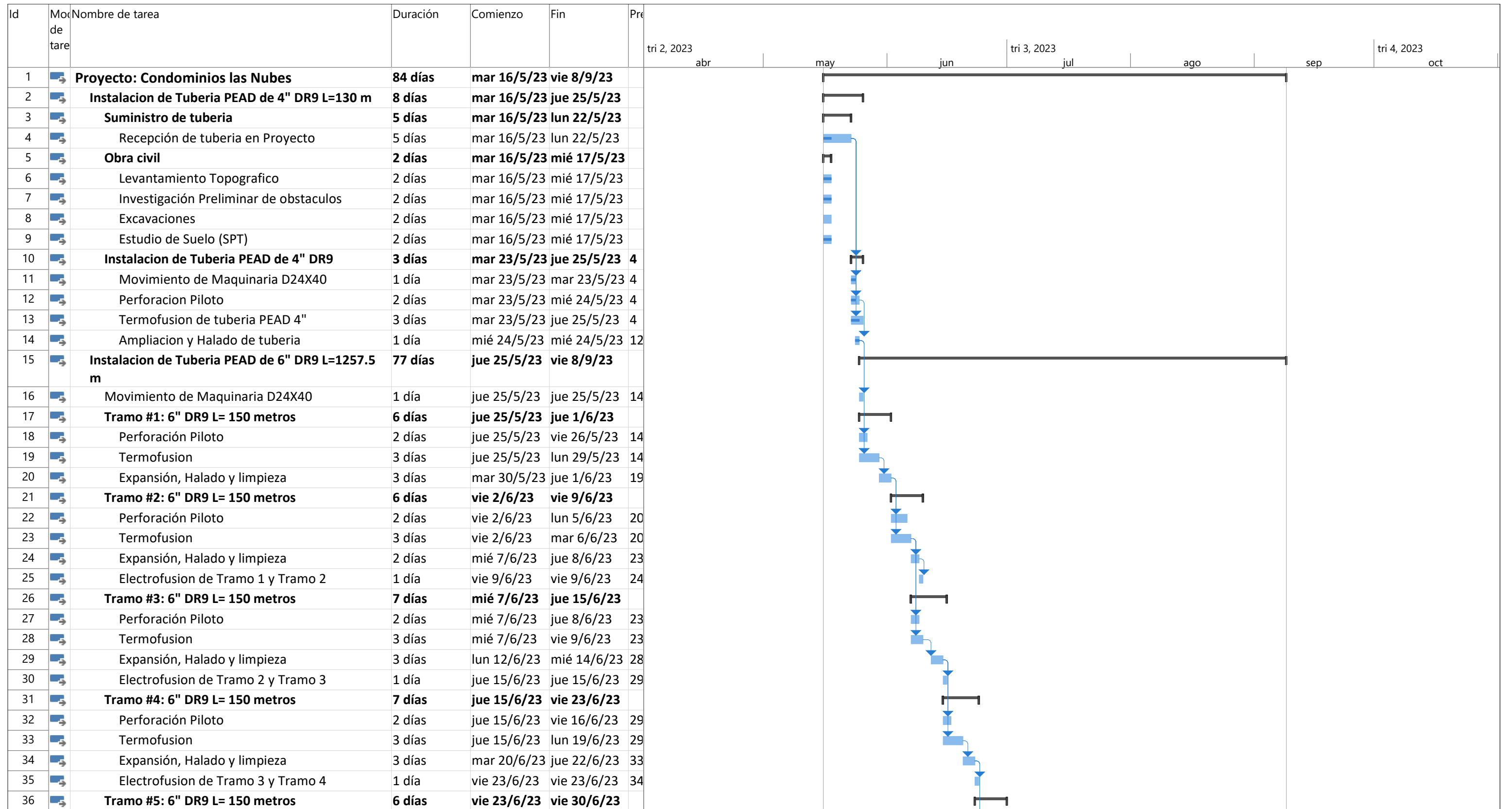
Anexo 16

**Cronograma de trabajo del método de
zanjas a cielo abierto**

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	14 may '23	21 may '23	28 may '23	4 jun '23	11 jun '23	18 jun '23	25 jun '23	2 jul '23	9 jul '23	16 jul '23	23 jul '23	30 jul '23	6 ago '23	13 ago '23	20 ago '23	27 ago '23	3 sep '23	10 sep '23	17 sep '23	24 sep '23	1 oct '23	8 oct '23	15 oct '23	22 oct '23	29 oct '23		
1	LÍNEA DE ADUCCIÓN Y DE IMPELENCIA PARA AGUA POTABLE EN CONDOMINIO LAS NUBES	140 días	mar 16/5/23	lun 30/10/23																											
2	INSTALACION DE TUBERIA DE POLIETILENO DE 4 PULGADAS	16 días	mar 16/5/23	sáb 3/6/23																											
3	Trazo y nivelación	1 día	mar 16/5/23	mié 17/5/23																											
4	Corte y demolición de capa asfáltica de 10 cm de espesor, para introduccion de tuberías de agua potable	1 día	mié 17/5/23	jue 18/5/23																											
5	Excavación	3 días	mié 17/5/23	sáb 20/5/23																											
6	Compactación con material selecto	0.5 días	sáb 20/5/23	sáb 20/5/23																											
7	Suministro e instalación de tubería de PEAD de 4", incluye accesorios, anclajes o soportería.	3.5 días	sáb 20/5/23	jue 25/5/23																											
8	Prueba de estanqueidad, presion y desinfeccion de tubería de PEAD de 4"	0.5 días	jue 25/5/23	jue 25/5/23																											
9	Compactación con material del lugar	6.5 días	jue 25/5/23	vie 2/6/23																											
10	Desalojo	0.5 días	vie 2/6/23	vie 2/6/23																											
11	INSTALACION DE TUBERIA DE POLIETILENO DE 6 PULGADAS	140 días	mar 16/5/23	lun 30/10/23																											
12	Trazo y nivelación	3 días	mar 16/5/23	jue 18/5/23																											
13	Corte y demolición de capa asfáltica de 10 cm de espesor, para introduccion de tuberías de agua potable	4 días	vie 19/5/23	mar 23/5/23																											
14	Excavación	35 días	vie 19/5/23	jue 29/6/23																											
15	Compactación con material selecto	7 días	lun 26/6/23	lun 3/7/23																											
16	Suministro e instalación de tubería de PEAD de 6", incluye accesorios, anclajes o soportería.	20 días	mar 4/7/23	mié 26/7/23																											
17	Prueba de estanqueidad, presion y desinfeccion de tubería de PEAD de 6"	1 día	jue 27/7/23	jue 27/7/23																											
18	Compactación con material del lugar	75 días	vie 28/7/23	mié 25/10/23																											
19	Desalojo	3 días	jue 26/10/23	sáb 28/10/23																											
20	FIN DE PROYECTO	0 días	lun 30/10/23	lun 30/10/23																											

Anexo 17

Cronograma de trabajo del método de la perforación horizontal dirigida

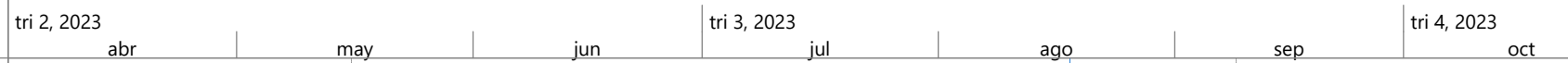


Proyecto: Proyecto_Condominio Fecha: dom 18/5/25	Tarea		Resumen del proyecto		Tarea manual		solo el comienzo		Fecha límite	
	División		Tarea inactiva		solo duración		solo fin		Progreso	
	Hito		Hito inactivo		Informe de resumen manual		Tareas externas		Progreso manual	
	Resumen		Resumen inactivo		Resumen manual		Hito externo			

Id	Mo de tare	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pre	Gantt Chart																
							tri 2, 2023	abr	may	jun	tri 3, 2023	jul	ago	sep	tri 4, 2023	oct							
37	→	Perforación Piloto	2 días	vie 23/6/23	lun 26/6/23	34																	
38	→	Termofusion	3 días	vie 23/6/23	mar 27/6/23	34																	
39	→	Expansión, Halado y limpieza	2 días	mié 28/6/23	jue 29/6/23	38																	
40	→	Electrofusion de Tramo 4 y Tramo 5	1 día	vie 30/6/23	vie 30/6/23	39																	
41	→	Tramo #6: 6" DR9 L= 150 metros	7 días	vie 30/6/23	lun 10/7/23																		
42	→	Perforación Piloto	2 días	vie 30/6/23	lun 3/7/23	39																	
43	→	Termofusion	3 días	vie 30/6/23	mar 4/7/23	39																	
44	→	Expansión, Halado y limpieza	3 días	mié 5/7/23	vie 7/7/23	43																	
45	→	Electrofusion de Tramo 5 y Tramo 6	1 día	lun 10/7/23	lun 10/7/23	44																	
46	→	Tramo #7: 6" DR9 L= 150 metros	7 días	lun 10/7/23	mar 18/7/23																		
47	→	Perforación Piloto	2 días	lun 10/7/23	mar 11/7/23	44																	
48	→	Termofusion	3 días	lun 10/7/23	mié 12/7/23	44																	
49	→	Expansión, Halado y limpieza	3 días	jue 13/7/23	lun 17/7/23	48																	
50	→	Electrofusion de Tramo 6 y Tramo 7	1 día	mar 18/7/23	mar 18/7/23	49																	
51	→	Tramo #8: 6" DR9 L= 150 metros	6 días	mar 18/7/23	mar 25/7/23																		
52	→	Perforación Piloto	2 días	mar 18/7/23	mié 19/7/23	49																	
53	→	Termofusion	3 días	mar 18/7/23	jue 20/7/23	49																	
54	→	Expansión, Halado y limpieza	2 días	vie 21/7/23	lun 24/7/23	53																	
55	→	Electrofusion de Tramo 7 y Tramo 8	1 día	mar 25/7/23	mar 25/7/23	54																	
56	→	Tramo #9: 6" DR9 L= 40 metros	4 días	mar 25/7/23	vie 28/7/23																		
57	→	Perforación Piloto	1 día	mar 25/7/23	mar 25/7/23	54																	
58	→	Termofusion	1 día	mar 25/7/23	mar 25/7/23	54																	
59	→	Expansión, Halado y limpieza	2 días	mié 26/7/23	jue 27/7/23	58																	
60	→	Electrofusion de Tramo 8 y Tramo 9	1 día	vie 28/7/23	vie 28/7/23	59																	
61	→	Tramo #1: 4" DR9 L= 140 metros	6 días	vie 28/7/23	vie 4/8/23																		
62	→	Perforación Piloto	2 días	vie 28/7/23	lun 31/7/23	59																	
63	→	Termofusion	3 días	vie 28/7/23	mar 1/8/23	59																	
64	→	Expansión, Halado y limpieza	3 días	mié 2/8/23	vie 4/8/23	63																	
65	→	Prueba de Presion , Hermeticidad y desinfeccion	8 días	lun 7/8/23	mié 16/8/23																		
66	→	Colocacion de Bridas y Tapaderas de 4" y 6"	1 día	lun 7/8/23	lun 7/8/23	64																	
67	→	llenado de tuberias	2 días	mar 8/8/23	mié 9/8/23	66																	
68	→	Prueba de presion, hermeticidad y desinfeccion	2 días	jue 10/8/23	vie 11/8/23	67																	
69	→	desfogue de agua y limpieza	2 días	lun 14/8/23	mar 15/8/23	68																	
70	→	Desacoble de tapaderas	1 día	mié 16/8/23	mié 16/8/23	69																	

Proyecto: Proyecto_Condominio Fecha: dom 18/5/25	Tarea		Resumen del proyecto		Tarea manual		solo el comienzo		Fecha límite	
	División		Tarea inactiva		solo duración		solo fin		Progreso	
	Hito		Hito inactivo		Informe de resumen manual		Tareas externas		Progreso manual	
	Resumen		Resumen inactivo		Resumen manual		Hito externo			

Id	Mo de tare	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pre
71	→	Restauracion de terreno	13 días	jue 17/8/23	lun 4/9/23	
72	→	Relleno y compactacion	10 días	jue 17/8/23	mié 30/8/23	70
73	→	Restauracion capa asfaltica	3 días	jue 31/8/23	lun 4/9/23	72
74	→	Levantamiento topografico de obra terminada	1 día	vie 8/9/23	vie 8/9/23	



Proyecto: Proyecto_Condominio
Fecha: dom 18/5/25

Tarea		Resumen del proyecto		Tarea manual		solo el comienzo		Fecha límite	
División		Tarea inactiva		solo duración		solo fin		Progreso	
Hito		Hito inactivo		Informe de resumen manual		Tareas externas		Progreso manual	
Resumen		Resumen inactivo		Resumen manual		Hito externo			

Anexo 18

**Costos indirectos para el Método de
Zanjas a Cielo Abierto**

COSTO INDIRECTO

Proyecto: Condominios "Las Nubes"		
Plazo de Ejecución (meses)	4	
Costo directo:	\$ 234,934.55	
Costo total:	1.25	\$ 293,668.19

Fianzas requeridas:		
De oferta		\$ 25,000.00
De anticipo	30.00%	\$ 88,100.46
De fiel cumplimiento	10%	\$ 29,366.82
Fianza de buena obra	10%	\$ 29,366.82
Declaración Jurada de Solvencia		\$ 30.00
Seguro requerido		\$ 10,000.00

LICITACION		
Documentos de licitación		\$50.00
Gastos notariales y otros		\$ 100.00
Gastos de garantía de la oferta	3.25%	\$ 9,544.22
Gastos de elaboración de presupuesto		\$ 160.00
Gasto de prueba o estudios		\$ 400.00
Programación y control de proyecto		\$ 250.00
	SUBTOTAL	\$ 1,772.50

1. ADMINISTRACION DE CAMPO	7.81%			
Empleado	Sueldo	Cantidad	Tiempo	Costo
Ingeniero Residente	\$1,200.00	1	4	\$ 4,800.00
Maestro de obra	\$799.80	1	4	\$ 3,199.20
Ingeniero control de calidad	\$1,000.00	1	4	\$ 4,000.00
banderrillas	\$360.00	4	4	\$ 5,760.00
			SUBTOTAL 1	\$ 17,759.20
Prestaciones Administración de Campo				
Tipo	Personas	Precio	%	Costo
ISSS		\$ 17,759.20	7.50%	\$ 1,331.94
AFP		\$ 17,759.20	6.75%	\$ 1,198.75
Días festivos		\$ 17,759.20	4.17%	\$ 740.56
Indemnización		\$ 17,759.20	8.33%	\$ 1,479.34
Seguro colectivo por mes	7	\$ 15.00	4	\$ 420.00
			SUBTOTAL 2	\$ 5,170.59

2. ADMINISTRACION DE OFICINA	2.84%			
Empleado	Sueldo	Cantidad	Tiempo	Costo
Gerente	\$ 2,000.00	0.25	5	\$ 2,500.00
Contador	\$ 800.00	0.25	5	\$ 1,000.00
Secretaria	\$ 450.00	0.25	5	\$ 562.50

Motorista	\$ 400.00	0.2	4	\$ 320.00
			SUBTOTAL1	\$ 4,382.50
Prestaciones Administración de Oficina				
Tipo	Personas	Subtotal1	%	Costo
ISSS		\$ 4,382.50	7.50%	\$ 328.69
AFP		\$ 4,382.50	6.75%	\$ 295.82
Aguinaldo y vacaciones		\$ 4,382.50	14%	\$ 613.55
Días festivos		\$ 4,382.50	4.17%	\$ 182.75
Indemnización		\$ 4,382.50	8.33%	\$ 365.06
Seguro colectivo por mes	4	\$ 25.00	5	\$ 500.00
			SUBTOTAL	\$ 2,285.87

3. FIANZAS, GASTOS NOTARIALES Y OTROS	5.06%		
Fianza de oferta	\$ 25,000.00	3%	\$ 750.00
Fianza de Fiel cumplimiento	\$ 29,366.82	3%	\$ 881.00
Fianza de Anticipo	\$ 88,100.46	3%	\$ 2,643.01
Fianza de Buena obra	\$ 29,366.82	3%	\$ 881.00
Gastos de Abogado	\$ 293,668.19	0.25%	\$ 734.17
		SUBTOTAL	\$ 5,889.19
Gasto de Contra Garantía			
Hipoteca	3.10%	\$ 150,796.16	\$ 4,674.68
Deshipotecar	0.75%	\$ 150,796.16	\$ 1,130.97
Declaración Jurada a Subcontratista	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Garantía de Buena Calidad de obra	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Seguro de Responsabilidad civil	1.50%	\$ 10,000.00	\$ 150.00
		SUBTOTAL	\$ 6,005.65

4. FINANCIEROS	0.15%		
Capital de trabajo	10%	\$293,668.19	\$34,653.73
Intereses	12%	4	\$1,386.15
Gastos Notariales			
Documentos bancarios	1%	\$34,653.73	\$346.54
		SUBTOTAL	\$ 36,386.42

5. TRANSPORTE	1.35%		
Distancia en Km	15.00		
Días	5.00		
Costo por Km	\$1.65		
Transporte para Ing. Residente	123.75	2	\$247.50
Por 4 semanas	\$ 990.00		
Por 4 meses	\$ 3,960.00		

6. IMPREVISTO	3%		
Imprevisto	3%	\$ 234,934.55	\$ 7,048.04

7. UTILIDAD	10%		
Utilidad	10%	\$ 234,934.55	\$ 23,493.46

8. IMPUESTOS	2.18%		
Impuestos	2.18%	\$ 234,934.55	\$ 5,121.57
Impuestos municipales	1.50%	\$ 234,934.55	\$ 3,524.02
		SUBTOTAL	\$ 8,645.59

Costo Indirecto	32.39%
------------------------	--------

Anexo 19

**Costo directo para el Método de Zanja a
Cielo Abierto**

COSTOS UNITARIOS

GENERALES:

PROYECTO : Condominios "Las Nubes"

UBICACIÓN : En carretera que conduce a Comasagua, Distrito de Comasagua, Municipio de La Libertad Sur, La Libertad.

FECHA: Mayo 2023

PARTIDA

PARTIDA : TRAZO Y NIVELACION

DESCRIPCION :

UNIDAD : ML

CANTIDAD: 1.00

DETALLE

1							
MATERIALES							
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.		PARCIAL	%
	Costanera de pino 2x2	varas	0.34	\$ 1.50		\$0.51	
	Regla pacha de pino	varas	0.34	\$ 1.11		\$0.38	
	Clavo 1"	libras	0.02	\$ 0.97		\$0.02	
	Clavo 3"	libras	0.04	\$ 0.75		\$0.03	
	Hilo nylon para trazo	unidad	0.02	\$ 1.55		\$0.03	
	cal	lb	0.10	\$ 0.40		\$0.04	
						\$1.01	10%
2							
MANO DE OBRA							
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	F.P.	PARCIAL	%
	6 Auxiliares	dia	0.30	\$12.00	1.68	\$6.05	
	Tecnico construccion	dia	0.05	\$30.00	1.66	\$2.49	
						\$8.54	87%
3							
HERRAMIENTA							
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.		PARCIAL	%
	Herramienta en porcentaje a la mano de obra	%mo	0.03	\$8.54		\$0.26	
						\$0.26	3%
4							
EQUIPO							
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.		PARCIAL	%
						\$0.00	0%
5							
SUB CONTRATO							
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.		PARCIAL	%
						\$0.00	0%

NOTA.
 EN EL COSTO SE INCLUYEN EL
 IMPUESTO DEL VALOR AGREGADO IVA.

RESUMEN	MONTO	%
A) SUMAS (1 + 2 + 3 + 4 + 5)	\$9.80	100%
B) CANTIDAD DE ANALISIS	1.00	
C) COSTO UNITARIO DIRECTO (A / B)	\$9.80	0%

COSTOS UNITARIOS

GENERALES:

PROYECTO : Condominios "Las Nubes"

UBICACIÓN : En carretera que conduce a Comasagua,
Distrito de Comasagua, Municipio de La Libertad Sur, La Libertad.

FECHA: Mayo 2023

DETALLE

PARTIDA

PARTIDA : Prueba de estanqueidad, presión y desinfección de tubería de PEAD de 4"

DESCRIPCION : 4"

UNIDAD : ml

CANTIDAD: 130.00

1

MATERIALES								
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.		PARCIAL	%	
	Portabrida con Brida de 4"	unidad	2.00	\$ 124.06		\$248.12		
	Tapaderas ciegas de hierro fundido	unidad	2.00	\$ 55.00		\$110.00		
	Agua	m3	29.00	\$ 5.55		\$160.95		
	cloro	galon	5.00	\$ 2.55		\$12.75		
						\$531.82	76%	

2

MANO DE OBRA								
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	F.P.	PARCIAL	%	
	auxiliares	dia	1.00	\$12.00	1.85	\$22.20		
						\$22.20	3%	

3

HERRAMIENTA								
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.		PARCIAL	%	
	Herramienta en porcentaje a la mano de obra	%mo	0.03	\$22.20		\$0.67		
						\$0.67	0%	

4

EQUIPO								
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.		PARCIAL	%	
	bomba manual para pruebas hidroestaticas	unidad	0.50	\$292.04		\$146.02		
						\$146.02	21%	

5

SUB CONTRATO								
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.		PARCIAL	%	
						\$0.00	0%	

NOTA.
EN EL COSTO SE INCLUYEN EL
IMPUESTO DEL VALOR AGREGADO IVA.

RESUMEN	MONTO	%
A) SUMAS (1 + 2 + 3 + 4 + 5)	\$700.71	100%
B) CANTIDAD DE ANALISIS	130.00	
C) COSTO UNITARIO DIRECTO (A / B)	\$5.39	0%

Anexo 20

**Costo directo para el Método de la
Perforación Horizontal Dirigida**

COSTOS UNITARIOS

No 1.01A/ 2.01A/ 1.01BH/ 2.01B/1.01C

GENERALES:	DETALLE:
<p>PROYECTO : Condominios "Las Nubes"</p> <p>UBICACIÓN : En carretera que conduce a Comasagua, Distrito de Comasagua, Municipio de La Libertad Sur, La Libertad.</p> <p>FECHA: Mayo 2023</p>	
PARTIDA	
<p>PARTIDA : INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE 4"</p> <p>DESCRIPCION Perforación, suministro e instalación de tubería de agua potable de 4", PEAD TR9 (250.0 PSI)</p> <p>UNIDAD : ml</p> <p>CANTIDAD: 130</p>	

1 MATERIALES						
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	PARCIAL	%
	Tuberías de polietileno de alta densidad de 4" de 12 metros de largo	unidad	12.00	\$ 143.02	\$1,716.24	
	Portabrida con Brida de 4"	unidad	2.00	\$ 50.48	\$100.96	
	Uniones	unidad	2.00	\$ 18.00	\$36.00	
	Bentonita	bolsa	50.00	\$ 14.51	\$725.50	
	Tapaderas ciegas de hierro fundido	unidad	2.00	\$ 55.00	\$110.00	
	Agua	m3	27.00	\$ 5.55	\$149.85	
	Cemento	bolsa	16.00	\$ 8.23	\$131.68	
	Supreme Patch	bolsa	24.00	\$ 7.74	\$185.76	
	Diesel	galón	30.00	\$ 3.25	\$97.50	
	Gasolina	galón	15.00	\$ 3.51	\$52.65	
					\$1,589.90	12%

2 MANO DE OBRA							
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	F.P.	PARCIAL	%
	ingeniero residente	dia	7.0	\$40.00	1.66	\$464.80	
	cuadrilla topografica	dia	1.0	\$100.00	1.66	\$166.00	
	maestro de obra	dia	7.0	\$26.66	1.66	\$309.79	
		dia	3.0	\$23.33	1.66	\$116.18	
	tecnico en localización y navegación	dia	3.0	\$23.33	1.66	\$116.18	
	asistente técnico	dia	3.0	\$20.00	1.66	\$99.60	
	operador de retroexcavadora	dia	7.0	\$25.00	1.66	\$290.50	
	5 auxiliares	dia	7.0	\$60.00	1.68	\$705.60	
	2 operador de termofusion	dia	3.0	\$46.66	1.66	\$232.37	
	operador de lodo	dia	3.0	\$23.33	1.66	\$116.18	
	4 Banderilleras	dia	7.0	\$48.00	1.68	\$564.48	
						\$3,181.69	25%

3 HERRAMIENTA						
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	PARCIAL	%
	Herramienta en porcentaje a la mano de obra	%mo	0.03	\$3,181.69	\$95.45	
					\$95.45	1%

4 EQUIPO						
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	PARCIAL	%
	tanqueta vermeer	unidad	0.05	\$110,000.00	\$5,500.00	
	Hausing	unidad	0.01	\$22,200.00	\$222.00	
	digitrak +F5	unidad	0.01	\$8,000.00	\$80.00	
	ensanchador	unidad	0.01	\$5,000.00	\$40.00	
	ensanchador	unidad	0.01	\$4,000.00	\$32.00	
	termofundidora	unidad	0.05	\$29,182.00	\$1,459.10	
	generador	unidad	0.01	\$3,000.00	\$30.00	
	retroexcavadora	dia	0.50	\$840.00	\$420.00	
	cortadora de concreto	unidad	0.05	\$1,900.00	\$95.00	
		unidad	0.10	\$259.00	\$25.90	
		unidad	0.010	\$12,553.51	\$125.54	
	bomba manual para pruebas hidroestaticas	unidad	0.15	\$292.04	\$43.81	
					\$8,073.34	62%

5 SUB CONTRATO						
CODIG.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U.	PARCIAL	%
	Desalojo	SG				
						0%

NOTA.
EN EL COSTO SE INCLUYEN EL IMPUESTO DEL VALOR AGREGADO IVA.

RESUMEN	MONTO	%
A) SUMAS (1 + 2 + 3 + 4 + 5)	\$12,940.38	100%
B) CANTIDAD DE ANALISIS	130.00	
C) COSTO UNITARIO DIRECTO (A / B)	\$99.54	63%
D) COSTO INDIRECTO (% 40.00%)	\$39.82	25%
E) SUB TOTAL	\$139.36	
E) IVA 13%	\$18.12	12%
E) TOTAL PRECIO UNITARIO (C + E)	\$157.47	100%

