



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Construcción de una obra  
inducida (colector de concreto  
reforzado de 107 centímetros de  
diámetro en una zona urbana)**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero civil**

**P R E S E N T A**

Roberto Amir Espíndola Gjumlich

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Heriberto Esquivel Castellanos



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/007/18

Señor  
ROBERTO AMIR ESPÍNDOLA GJUMLICH  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. HERIBERTO ESQUIVEL CASTELLANOS, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"CONSTRUCCIÓN DE UNA OBRA INDUCIDA (COLECTOR DE CONCRETO REFORZADO DE 107 CENTÍMETROS DE DIÁMETRO EN UNA ZONA URBANA)"**

- INTRODUCCIÓN
- I. OBRAS INDUCIDAS
  - II. CASO DE ESTUDIO: "DESVÍO DE UN COLECTOR DE CONCRETO REFORZADO DE 107 CENTÍMETROS DE DIÁMETRO EN UNA ZONA URBANIZADA"
  - III. CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 7 de febrero del 2018.  
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LOPEZ RINCÓN

GLR/MTH\*gar.



*A mi familia, con cariño.*



## Agradecimientos

A mi familia por su apoyo incondicional y sus acertados consejos que me impulsaron a cumplir esta meta.

Al Arq. Alfonso Rosendo Reyes Izquierdo por su apoyo para realizar esta tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Ingeniería por ser parte fundamental en mi formación académica y profesional.

Al Ing. Heriberto Esquivel Castellanos por sus recomendaciones y el tiempo que le dedicó a esta tesis.

A mis sinodales por su tiempo y por hacer posible este trabajo.

A todos mis amigos y compañeros que formaron parte del camino para cumplir esta meta.





# Índice

Índice .....	5
Índice de diagramas .....	7
Índice de tablas .....	7
Índice de ilustraciones .....	7
Introducción.....	10
Objetivo general.....	11
Objetivos particulares .....	11
1. Obras inducidas .....	12
1.1. Definición .....	12
1.2. Obras inducidas comunes.....	12
1.2.1. Agua potable.....	12
1.2.2. Alcantarillado.....	12
1.2.3. Señalamiento horizontal, vertical y dispositivos de seguridad en zona de obras viales .....	16
1.2.4. Adecuaciones viales.....	18
1.3. Obras inducidas especiales.....	19
1.3.1. Instalaciones de voz y datos (fibra óptica).....	19
1.3.2. Gasoductos y oleoductos .....	19
1.3.3. Energía eléctrica .....	20
1.4. Trabajos previos a la construcción de un colector de concreto reforzado.....	20
1.4.1. Impacto ambiental.....	20
1.4.2. Protección y conservación de zonas arqueológicas o culturales .....	21
1.4.3. Atención a la comunidad aledaña a la obra.....	21
1.4.4. Levantamientos notariales.....	21
1.4.5. Identificación de interferencias (calas y sondeos) .....	22
1.4.6. Almacén y oficina en obra .....	23
1.4.7. Confinamiento de la zona de obra.....	23
1.5. Conceptos de obra usualmente usados en la construcción de un colector.....	24
1.5.1. Trazo y nivelación (alineación y pendiente).....	24
1.5.2. Corte con sierra circular .....	24
1.5.3. Demolición .....	25
1.5.4. Excavación.....	25
1.5.5. Carga y acarreo de material producto de excavación y demolición .....	29
1.5.6. Cama de arena .....	29
1.5.7. Relleno de zanjas.....	29
1.5.8. Estructura de pavimento flexible.....	31



1.6.	Control de calidad .....	32
1.6.1.	Concreto hidráulico .....	33
1.6.2.	Rellenos y estructura de pavimento .....	37
1.6.3.	Tuberías de concreto reforzado.....	40
1.6.4.	Otros ejemplos de pruebas y muestreos realizados .....	43
1.7.	Trabajos posteriores a la construcción .....	43
2.	Caso de estudio “Desvío de un colector de concreto reforzado de 107 centímetros de diámetro en una zona urbanizada” .....	45
2.1.	Descripción del proyecto .....	45
2.2.	Proceso constructivo .....	48
2.3.	Trabajos previos a la construcción del colector .....	48
2.3.1.	Impacto ambiental.....	49
2.3.2.	Sondeos y calas.....	50
2.3.3.	Señalización temporal para protección en zona de obras.....	51
2.3.4.	Confinamiento de zona de obra.....	54
2.3.5.	Adecuaciones viales.....	55
2.3.6.	Desvío de líneas de agua potable .....	57
2.4.	Trazo y corte .....	61
2.5.	Demolición .....	63
2.5.1.	Carga y acarreo de material producto de excavación y demolición .....	63
2.6.	Sistemas de contención para excavaciones .....	64
2.6.1.	Pilas de contención .....	65
2.6.2.	Muro Berlín .....	66
2.7.	Excavación.....	69
2.7.1.	Interferencias en la excavación .....	71
2.8.	Cama de arena .....	75
2.9.	Pozos caja, cajas de deflexión y cajas de conexión .....	75
2.10.	Instalación de tubería de concreto reforzado .....	87
2.11.	Rellenos.....	92
2.12.	Estructura de pavimento flexible .....	94
2.13.	Trabajos complementarios.....	100
2.13.1.	Calafateo interior de tubería .....	100
2.13.2.	Proceso de cierre o apertura de drenaje (pegue) .....	100
2.13.3.	Pintado de señalamiento horizontal.....	103
2.13.4.	Retiro del señalamiento temporal.....	104
2.13.5.	Elaboración de los planos definitivos.....	104



3. Conclusiones.....	106
Bibliografía .....	107

## Índice de diagramas

Diagrama 1 Proceso de elaboración de prueba de compactación en campo.....	39
Diagrama 2 Resumen de conceptos a realizar para la construcción del colector.....	48
Diagrama 3 Resumen de conceptos a realizar para la construcción de pilas de concreto reforzado .....	65
Diagrama 4 Proceso constructivo del muro Berlín .....	66
Diagrama 5 Proceso constructivo de un pozo caja .....	76
Diagrama 6 Proceso para la colocación de tubería de concreto reforzado .....	88
Diagrama 7 Proceso constructivo de la estructura de pavimento .....	95
Diagrama 8 Proceso para realizar pegue .....	101

## Índice de tablas

Tabla 1 Separación máxima recomendada en pozos de visita y/o pozos caja.....	15
Tabla 2 Distancia mínima de seguridad de equipos y maquinarias a líneas eléctricas .....	20
Tabla 3 Anchos de zanja para tubería de concreto circular .....	26
Tabla 4 Requisitos de calidad de materiales para capa subrasante .....	30
Tabla 5 Valor nominal y tolerancias para el revenimiento.....	35
Tabla 6 Temperatura del concreto.....	37
Tabla 7 Causas comunes de falla en prueba de hermeticidad.....	41
Tabla 8 Ejemplos de pruebas y muestreos de materiales utilizados en la industria de la construcción.....	43
Tabla 9 Nivel de ruido de la maquinaria empleada en la obra según fabricantes.....	50
Tabla 10 Números de estiba máxima (recomendada) .....	88

## Índice de ilustraciones

Figura 1 Isométrico de un pozo caja.....	14
Figura 2 Isométrico de una caja de conexión.....	15
Figura 3 Isométrico de una caja de deflexión.....	15
Figura 4 Dibujo representativo de una galería .....	16
Figura 5 Ejemplo de señalamientos y dispositivos para protección en obra .....	18
Figura 6 Apuntalamiento con tabloncillos colocados de forma combinada y polines para troquelar.....	27
Figura 7 Ademado con tres niveles de troqueles .....	28
Figura 8 Figuras esquemáticas de una excavación con tablaestacas apuntaladas .....	28
Figura 9 Sección transversal de una zanja para la colocación de tubería de concreto reforzado .....	30
Figura 10 Sección típica de un pavimento flexible .....	31
Figura 11 Obtención del revenimiento en una muestra de concreto en estado fresco .....	33
Figura 12 Determinación de la masa volumétrica del concreto en campo .....	36
Figura 13 Termómetro colocado en concreto en estado fresco .....	37
Figura 14 Anillo para realizar prueba de hermeticidad neumática en una tubería de 213 cm de diámetro.....	42
Figura 15 Croquis en planta del desvío del colector de Avenida uno.....	47
Figura 16 Ubicación del camellón central de Avenida uno.....	49
Figura 17 Calas realizadas para ubicar tubería de gas natural y colector existente.....	50
Figura 18 Señales informativas colocadas en la zona de obra .....	51



Figura 19 Barreras fijas colocadas en serie usadas para canalizar tránsito .....	52
Figura 20 Señalamiento de desvío de tránsito para realizar el cierre de gaza de incorporación de Av. tres hacia Av. uno .....	53
Figura 21 Almacén y oficinas en obra.....	54
Figura 22 Zona de obra confinada con tapial y barreras de concreto desde CD-03 a PC-04' .....	54
Figura 23 Ampliación de radio de giro sobre Avenida dos .....	55
Figura 24 Retorno realizado sobre Avenida uno.....	56
Figura 25 Demolición de guarnición sobre Avenida uno .....	56
Figura 26 Desvío de tubería de agua potable de 6" en CD-01.....	57
Figura 27 Desvío de línea de agua potable de 4" en CC-01 .....	58
Figura 28 Desvío de tubería de agua potable de PEAD de 12" .....	59
Figura 29 Tubería de agua potable de 12".....	60
Figura 30 Zanja con relleno.....	61
Figura 31 Prueba de hermeticidad hidrostática.....	61
Figura 32 Trazos realizados por brigada de topografía.....	62
Figura 33 Corte con sierra circular a una profundidad de 10 centímetros .....	62
Figura 34 Demolición de carpeta asfáltica, se observa que no se realizó corte con sierra circular .....	63
Figura 35 Carga de material producto de excavación y demolición .....	64
Figura 36 Armado de las pilas de concreto en el perímetro de caja de conexión CC-02 .....	65
Figura 37 Perforación en el suelo para construir muro Berlín como sistema de contención.....	67
Figura 38 Colocación de viga IR en perforación, trabajos previos a la excavación de zanja para tubería.....	67
Figura 39 Colocación de relleno fluido en perforaciones con vigas IPR para construir el muro Berlín. ....	68
Figura 40 Colocación de tablonces, varillas y polines para formar pared flexible del muro berlín. ....	68
Figura 41 Excavación de zanja con retroexcavadora CAT 320 D. ....	69
Figura 42 Secciones transversales en excavación de zanjas .....	70
Figura 43 Colector de 107 cm que se ubica entre PC-07 y CC-02.....	71
Figura 44 Tubería de 61 cm que cruzó con el eje de nuestro colector de 107 cm de diámetro.....	72
Figura 45 Tubería de gas natural encontrada en el km 0+301.80 .....	72
Figura 46 Colganteo de tuberías de gas natural .....	73
Figura 47 Tubería de acero de 8" y 12" que generaron interferencia con el eje del colector de 107 cm de diámetro .....	74
Figura 48 Ubicación de la trinchera de PEMEX sobre Avenida dos.....	74
Figura 49 Colocación y compactación de cama de arena con pisón elaborado en obra .....	75
Figura 50 Colado de plantilla de concreto pobre fabricado en obra .....	77
Figura 51 Armado de losa de fondo y muros perimetrales con varillas del número 4 (1/2") para pozo caja ...	77
Figura 52 Armado de muros perimetrales de un pozo caja.....	78
Figura 53 Caja de deflexión CD-02 con cimbra de primer módulo de muro perimetral y cimbra de caja de deflexión CD-03.....	79
Figura 54 Descimbrado de muros perimetrales en cajas de deflexión CD-01 y CD-02.....	80
Figura 55 Colocación de cimbra para losa tapa de un pozo caja .....	80
Figura 56 Losas tapa de pozos caja con acero de refuerzo colocado, listas para ser coladas.....	81
Figura 57 Colado de diferentes losas tapa de pozos caja PC-01 y PC-07 .....	81
Figura 58 Construcción de un pozo de visita con ladrillo rojo recocido sobre losa tapa de un pozo caja .....	84
Figura 59 Cimbra y colado de trabe perimetral de brocal con tapa de hierro dúctil sobre un pozo de visita...	85
Figura 60 Detalle de pozo de visita "tipo".....	85
Figura 61 Armado y cimbrado de un paso hombre sobre losa tapa de una caja de deflexión.....	86
Figura 62 Aplicación de impermeabilizante en losa de fondo en un pozo caja .....	87
Figura 63 Tubos de concreto reforzado estibados en obra .....	87
Figura 64 Colocación de anillo de hule en tubería de concreto reforzado de 107 cm de diámetro.....	89



Figura 65 Instalación de tubería de aguas abajo hacia aguas arriba .....	89
Figura 66 Herramientas empleadas para izar tubos de concreto reforzado .....	90
Figura 67 Dispositivo de tracción para instalación de tubería .....	90
Figura 68 Separación mínima y máxima entre tubos .....	91
Figura 69 Muro berlín, tubería instalada y acostillado de tubería .....	91
Figura 70 Suministro de materiales para acostillado y relleno de zanja .....	92
Figura 71 Tubería de concreto reforzado en proceso de acostillado.....	92
Figura 72 Capas de relleno de zanja de tubería .....	93
Figura 73 Compactación del material de relleno con rodillo vibratorio en tándem y apisonador manual (bailarina) .....	94
Figura 74 Motoconformadora y rodillo vibrocompactador liso empleados para estructura de pavimento .....	95
Figura 75 Vaciado de relleno fluido como base y sub-base de la estructura de pavimento.....	96
Figura 76 Barredora mecánica realizando limpieza de polvo y tierra previo al riego de liga.....	97
Figura 77 Colocación de riego de liga previo al asfaltado .....	97
Figura 78 Pavimentadora autopropulsada colocando material asfáltico.....	98
Figura 79 Compactación de carpeta asfáltica con diferentes máquinas .....	99
Figura 80 Sello colocado posterior a la compactación .....	99
Figura 81 Trabajos de calafateo al interior de la tubería de 107 centímetros .....	100
Figura 82 Cierre de compuertas de la presa.....	101
Figura 83 Corte de tubería de concreto reforzado con hilo diamantado.....	102
Figura 84 Retiro del colector que se encontraba en servicio.....	102
Figura 85 Detalle constructivo y fotografías de muro tapón .....	103
Figura 86 Pintado de balizamiento después de la restitución de la vialidad.....	104
Figura 87 Croquis en planta del desvío del colector de Avenida Uno .....	105

## Introducción

Una de las principales necesidades y prioridades en cualquier población, sea zona urbana o rural, es el abastecimiento de agua potable, ya que sin este recurso resulta complicado lograr el desarrollo de una población. Una vez que esa necesidad ha sido cubierta, el paso subsecuente es identificar la vía por la cual el agua, que ya fue utilizada, será desalojada con el fin de evitar que el agua residual se estanque y provoque enfermedades a la población y afectaciones a la infraestructura civil.

Una posible solución al inconveniente antes mencionado es la construcción de un sistema de alcantarillado sanitario que conduzca las aguas residuales hasta una planta de tratamiento o a su disposición final, producidas por los habitantes, el comercio y la industria.

El flujo operativo de esta construcción debe ser realizado por un ingeniero civil, profesionalista capacitado con conocimientos físico-matemáticos, que le permiten transformar óptimamente los recursos de la naturaleza para la realización de obras civiles de servicio colectivo, en el que se cubren las etapas de *planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento* de las mismas (Mendoza, 1989). Este profesionalista se desenvuelve dentro de un marco legal establecido, el cual trata de garantizar la seguridad, economía y preservación del medio ambiente.

La construcción de redes de alcantarillado prevé la contaminación del agua subterránea que, en algunos casos, es utilizada para abastecer a la población. Asimismo, funge como conducto para evitar inundaciones de las aguas que provienen de la precipitación pluvial, las cuales también fácilmente se estancan por la poca permeabilidad del suelo en las ciudades. Lo anterior, hace mención a la realización de obras civiles, cuyo punto de partida surge de una necesidad o algún problema no resuelto correspondiente a alguna deficiencia en la infraestructura de las obras públicas.

Esta tesis se centra en la construcción del desvío de un colector sin contemplar las etapas del diseño, planeación, operación y mantenimiento de este proyecto.

La estructura del presente trabajo consta de dos partes: en el capítulo uno se define y ejemplifica qué son las obras inducidas haciendo énfasis en las obras hidráulicas inducidas. También, se describe a grandes rasgos los trabajos, normatividad aplicable, pruebas de calidad a los diferentes materiales y actividades previas, durante y posteriores a la construcción del desvío de un colector de concreto reforzado en una zona urbana, en donde se tienen instalaciones de todo tipo: hidráulicas, sanitarias, voz y datos, gasoductos, oleoductos y tránsito de vehículos (ligeros y pesados).

En el capítulo dos, que presenta el caso de estudio, se describen los trabajos realizados en la construcción del desvío del colector, se hace énfasis en la parte constructiva y detalla paso a paso con texto, diagramas, dibujos y fotografías el proceso que se siguió en la instalación de tubos de concreto reforzado, tuberías de agua potable, la construcción de cajas especiales y la estructura de pavimento.

Al tener tantas ilustraciones, esta tesis pretende ser lo más didáctica posible para que cualquier estudiante de ingeniería civil pueda comprender los términos, conceptos y generalidades que se emplearon en la obra.



En el texto se omiten datos importantes en el área de construcción como tiempos de ejecución e importes ya que no es el objetivo de este trabajo de investigación de campo.

### Objetivo general

Esta tesis busca mostrar el antes, durante y después de la construcción del desvío de un colector de concreto reforzado con diámetro de 107 centímetros ubicado en una zona urbana, así como la problemática encontrada y derivada de la construcción del mismo.

### Objetivos particulares

Definir qué son las obras inducidas y mencionar algunos ejemplos de estas.

Mostrar las diferentes áreas que intervienen en la construcción del desvío de un colector de concreto reforzado.

Presentar material didáctico para la carrera ingeniería civil mostrando, definiendo y describiendo términos y conceptos utilizados en este tipo de obras y algunos casos extraordinarios que pudieran presentarse durante el proceso constructivo de un drenaje en una zona urbana.



## 1. Obras inducidas

### 1.1. Definición

No existe literatura especializada que defina lo que es una obra inducida, pero con base en la experiencia personal, se puede decir que las obras inducidas son aquellas que se tienen que elaborar para dejar totalmente libre de interferencias una zona determinada en la cual se pretende realizar una obra de mayor relevancia.

Sin embargo, sí se puede encontrar una clasificación de las obras inducidas, según el personal que lo realice. Estas obras se dividen en dos grandes ramas, obras inducidas comunes y especiales.

### 1.2. Obras inducidas comunes

Son las obras que la empresa contratista puede realizar por sus propios medios sin tener que contar con asesoría y/o ayuda de personal autorizado de alguna empresa o dependencia.

A continuación, se describen algunas obras inducidas comunes acompañado de una breve explicación.

#### 1.2.1. Agua potable

Una red de agua potable es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que transportan el agua desde tanques de distribución hasta las tomas domiciliarias. La función principal de estas redes es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como extinguir incendios (CONAGUA, 1994).

Cuando algún elemento de la red de agua potable interfiere con el trazo del nuevo proyecto, es posible realizar el desvío de esta, considerando que se deberán conservar las condiciones de funcionamiento preexistentes a la modificación, es decir, afectarlas en la menor medida para garantizar su adecuado funcionamiento.

En los desvíos de las instalaciones de agua potable se deben respetar los diámetros de la instalación existente, con la finalidad de no cambiar las características del diseño y se tratarán de evitar cambios de dirección innecesarios que generen pérdidas de carga locales por accesorios o cambios de dirección que puedan influir en la continuidad del suministro.

#### 1.2.2. Alcantarillado

Una red de alcantarillado está formada por un conjunto de conductos con diferentes características (materiales y diámetros) y estructuras complementarias. Su objetivo principal es recolectar, transportar, alejar y desalojar las aguas residuales generadas por una población determinada y los escurrimientos superficiales generados por las precipitaciones las cuales deben terminar en un destino correcto para evitar impactos ambientales negativos en el medio (CONAGUA, 2009).



Según el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (2009) existen varios tipos de alcantarillado según el tipo de agua que transportan, estos se clasifican en sanitario, pluvial o mixto.

- Alcantarillado sanitario: Es la red de tuberías que conduce aguas residuales domésticas, comerciales y/o industriales hacia una planta de tratamiento.
- Alcantarillado pluvial: Es la red de tuberías que recolecta y conduce aguas producto del escurrimiento superficial del agua de lluvia hacia su disposición final.
- Alcantarillado mixto: Es la red de conducto que combina los dos tipos de alcantarillado mencionados anteriormente.

### Componentes de las redes de alcantarillado

- Atarjeas: es una red de tuberías de diámetros mayores a 15 centímetros (6 pulgadas) que transportan aguas residuales (domésticas, comerciales o industriales). Estas dan inicio a la red de alcantarillado.
- Colector: es el conducto que recolecta y conduce las aguas negras de las atarjeas y/o escurrimientos pluviales a un emisor o a una planta de tratamiento.
- Interceptor: son las tuberías que interceptan las aportaciones de aguas negras de dos o más colectores y terminan en un emisor o en la planta de tratamiento.
- Emisor: es el conducto que recibe las aguas de uno o más colectores o interceptores; no recibe ninguna aportación adicional (atarjeas o descargas domiciliarias) en su trayecto y su función es transportar las aguas residuales hasta la planta de tratamiento.
- Planta de tratamiento: son las instalaciones en donde a las aguas residuales se les retiran los contaminantes para poder ser reutilizada en actividades de la vida cotidiana.

Cabe destacar que la vida útil<sup>1</sup> de estos componentes debe ser de al menos 50 años según la tabla 1.1 “Vida útil de elementos de un sistema de agua potable y alcantarillado” del libro Datos Básicos del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) de la Comisión Nacional del Agua.

A continuación, se describen los elementos que generalmente conforman un colector.

### Tuberías

Las tuberías de las redes de alcantarillado se componen de tubos (acoplados herméticamente) que sirven como conducto de las aguas residuales. Existen tuberías de acero, polietileno de alta densidad (PEAD), policloruro de vinilo (PVC), fibrocemento, concreto simple y concreto reforzado. La selección del material depende de las características del proyecto tales como: durabilidad, economía, características del suelo, resistencia del material, facilidad de manejo, etc.

---

<sup>1</sup> Vida útil hace referencia al tiempo que se espera que la obra sirva para los propósitos de diseño, sin tener gastos de operación y mantenimiento elevados, que hagan antieconómico su uso o que requiera ser eliminada por insuficiente o ineficiente (CONAGUA “Datos básicos” p. 3, 2009).

## Estructuras en una red de alcantarillado

A parte de la tubería, una red de alcantarillado se complementa con estructuras que cumplen varias funciones, las más destacadas son las siguientes:

- Conexión de dos o más tuberías
- Cambio de dirección
- Cambio de pendiente
- Ventilación de la alcantarilla
- Mantenimiento de la alcantarilla
- Acceso a la tubería
- Estructura de caída

### Pozo de visita

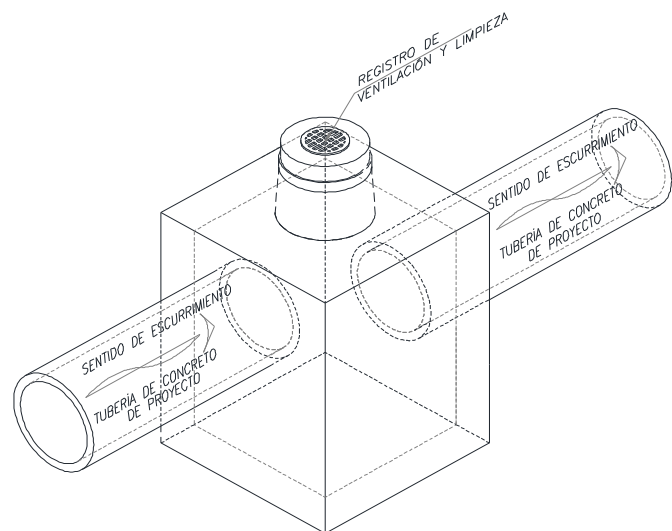
Por lo común se trata de estructuras prefabricadas o fabricadas en sitio con tabique o mampostería. Estos tienen una forma similar a una chimenea, es decir, tienen geometría cilíndrica en la parte inferior y troncocónica en la parte superior; estas permiten entrar a diferentes instalaciones subterráneas desde el terreno natural o la superficie de rodamiento.

### Pozo caja

Son estructuras fabricadas en sitio con concreto reforzado, las cuales se complementan con una o varias chimeneas de tabique (pozo de visita) que llegan hasta el nivel de terreno natural. Su función principal es ventilar la alcantarilla y como acceso a la tubería para poder dar mantenimiento a la red.

La geometría de cada pozo caja se define de acuerdo a las necesidades del proyecto.

Figura 1 Isométrico de un pozo caja



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

La separación máxima de estas cajas debe ser la adecuada para facilitar las operaciones de inspección y limpieza. (Ver Tabla 1)

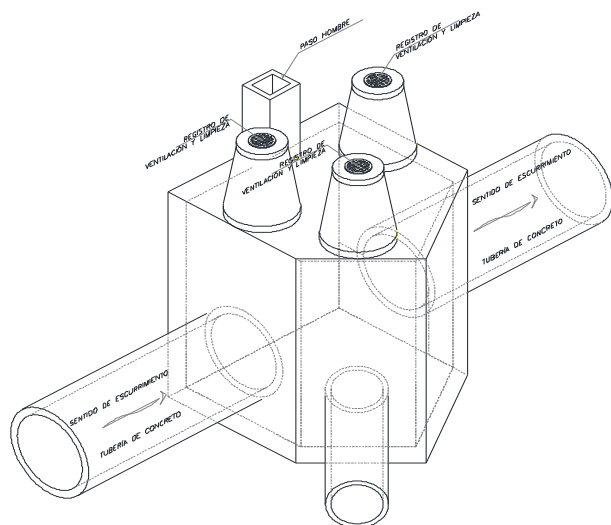
Tabla 1 Separación máxima recomendada en pozos de visita y/o pozos caja

Diámetros de tubería de proyecto (m)		Separación máxima de pozos de visita y/o pozos caja (m)
Desde	Hasta	
0.20	0.61	125
0.61	1.22	150
1.22	3.05	175

Fuente: Comisión Nacional del Agua. (2011). Manual de agua potable, Alcantarillado y Saneamiento: Alcantarillado Sanitario. p.71

### Cajas de conexión o unión

Figura 2 Isométrico de una caja de conexión



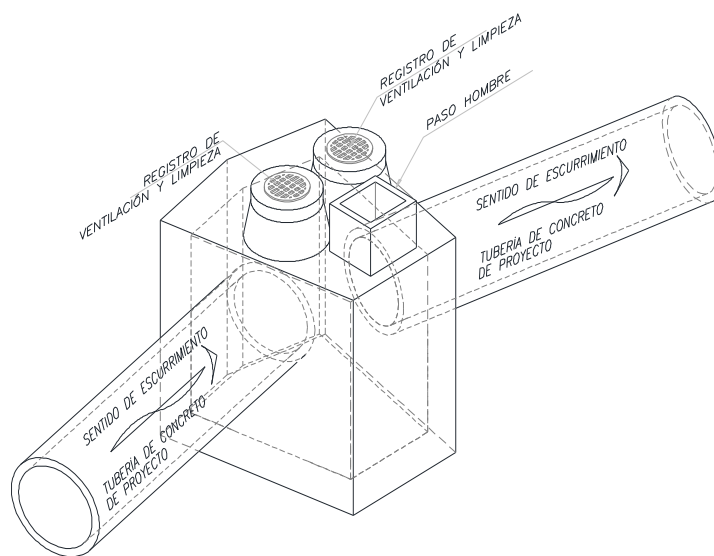
Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

La función principal de estas cajas es unir dos o más tuberías de diferentes diámetros o materiales. Regularmente son de mayor tamaño que los pozos caja o las cajas de deflexión ya que reciben una aportación mayor de las tuberías que se conectan a estas.

### Cajas de deflexión

Figura 3 Isométrico de una caja de deflexión

Estos pozos se construyen cuando se tienen tuberías con diámetros mayores a 122 centímetros y menores o iguales a 305 centímetros, en las cuales se necesita un cambio de dirección (el máximo es de 45 grados) en el eje de la trayectoria; cabe señalar que solo tienen una entrada y una salida, no se conectan más tuberías en esta caja.

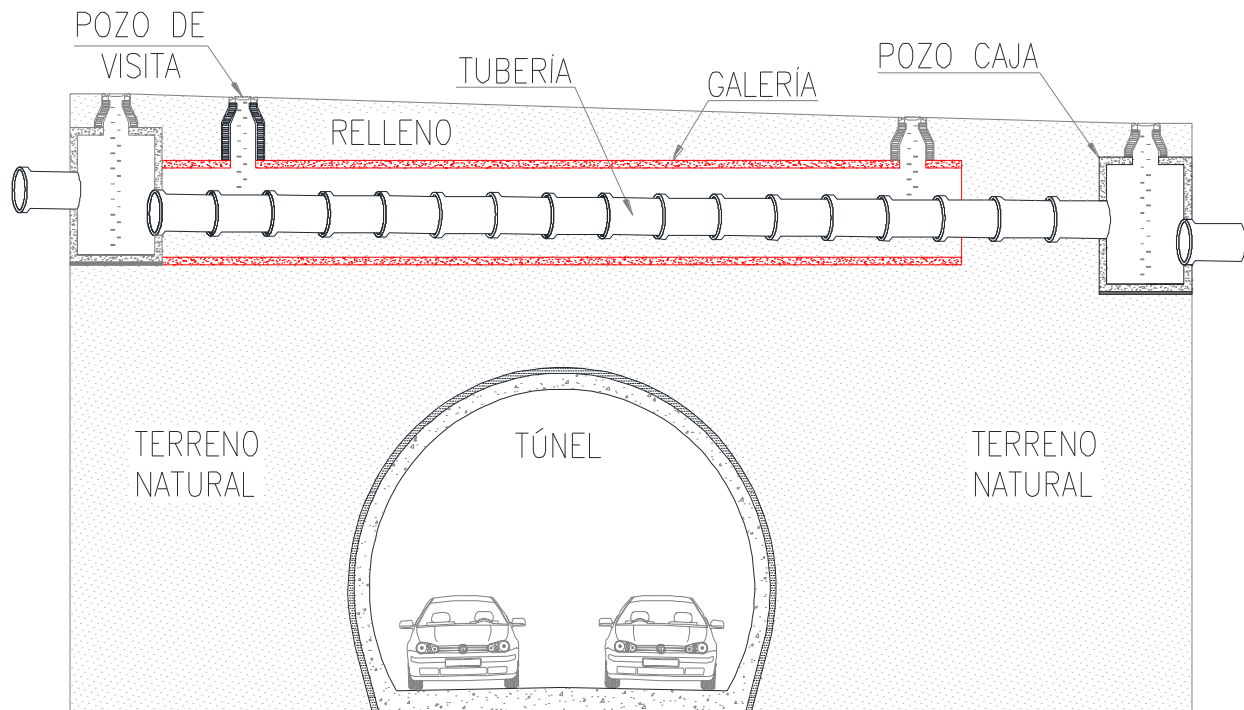


Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

## Galería

Una galería es una estructura de concreto reforzado que sirve como protección a las tuberías del sistema de aguas residuales en su cruce con algún paso deprimido, túnel carretero o del sistema de transporte público Metro. Esta galería nos asegura que en el tramo que esta cubre no existirán asentamientos diferenciales en la tubería, también tiene el fin de mitigar los posibles aportes de infiltración.

Figura 4 Dibujo representativo de una galería



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

### 1.2.3. Señalamiento horizontal, vertical y dispositivos de seguridad en zona de obras viales

Este tipo de señalamiento es colocado provisionalmente para informar, guiar y proteger a las personas que transitan a pie y en vehículos por la zona de obra, así como al personal que trabaja en las obras de construcción. También se debe de mantener iluminada la zona de obra para evitar que se generen condiciones de inseguridad.

Es común que previo al inicio de la obra se entreguen trípticos a los habitantes de la zona colindante con la obra para darles una descripción detallada de los trabajos, vías afectadas y rutas alternas que se tendrán a lo largo de esta.

El tiempo que el señalamiento está colocado es variable, por lo tanto, es necesario definir el momento adecuado para su colocación y retiro, tomando en cuenta que los trabajos en la obra no se podrán iniciar si no se tienen colocadas las señales necesarias. Asimismo, se deberá poner atención al retiro inmediato de este señalamiento una vez que terminó la obra, ya que de no hacerlo puede causar confusión a los peatones y vehículos que transiten por la zona.

## Señalamiento vertical

El señalamiento vertical es el conjunto de señales en tableros con leyendas y pictogramas que se encuentran dentro del cono visual de los vehículos y peatones que transitan por la obra o sus alrededores; su principal objetivo es llamar la atención y transmitir un mensaje claro para informar, guiar, prevenir o restringir al tránsito. La colocación de estos dispositivos es responsabilidad de la empresa contratista o de la dependencia gubernamental encargada de la obra.

Es importante identificar las ubicaciones en las que se requiere dicha señalización (a no menos de 150 metros y a no más de 1000 metros de la zona de obra), con base en la velocidad de circulación y las características de la obra. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT], 2014)

Sin importar las características de cada señal, el soporte y el reverso pintado será de color gris mate. El color de fondo está normalizado por la SCT, en el caso de protección a obras será de color naranja con acabado reflejante y los símbolos, letras y filete serán de color blanco.

## Señalamiento horizontal

El señalamiento horizontal está constituido por marcas, símbolos, objetos o leyendas que se pintan sobre la superficie de rodamiento, banquetas y guarniciones en zonas cercanas al frente de trabajo, estas regulan, canalizan y proporcionan información a los peatones y vehículos que transitan por la zona de obra (SCT, 2014).

## Canalizadores

Los canalizadores son dispositivos de seguridad flexibles, semirrígidos o rígidos, instalados longitudinalmente en la vialidad como barreras, conos y/o dispositivos luminosos, que sirven para encausar al tránsito vehicular o a los peatones. Estos dispositivos evitan que el tránsito salga de la ruta de manera no controlada (SCT, 2014).

## Señalamiento manual

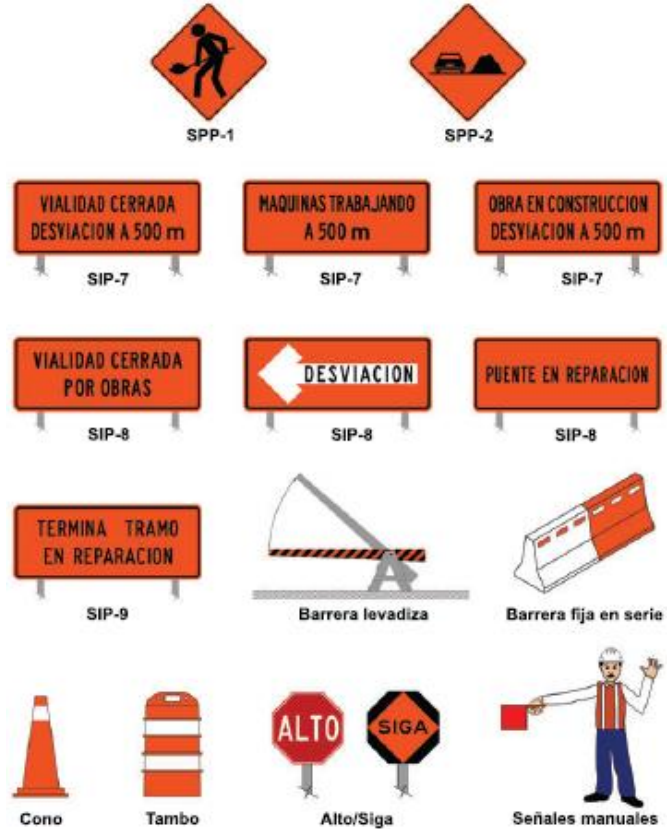
Las señales manuales son banderas de tela de color rojo reflejante de 60 X 60 centímetros acopladas a un asta de 100 centímetros de longitud y sujetas por una persona conocida como *banderero*, previamente capacitada y con equipo adecuado (SCT, 2014).

La función de los bandereros es importante ya que son las personas encargadas de guiar el tránsito con seguridad a través del área de trabajo.

El banderero debe ser altamente visible y tiene que llevar equipo de protección personal, el cual aparte de protegerlo, lo distingue como una persona de autoridad, por lo que siempre lo debe usar durante sus labores.

La obra deberá contar con mínimo dos cuadrillas de bandereros, una para el turno diurno y otra para el turno nocturno. Estas cuadrillas deben contar con el personal necesario para cubrir todos los puntos donde sea necesaria su presencia.

Figura 5 Ejemplo de señalamientos y dispositivos para protección en obra



Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad. p. 511

## Proyecto de señalamiento y dispositivos

Los proyectos de señalización necesarios para la construcción de cualquier obra, se deben presentar en planos en planta elaborados con las especificaciones generales y particulares de los aspectos técnicos requeridos para la fabricación, ubicación e instalación de las señales y los dispositivos. Estos planos se deben realizar para cada etapa de la obra.

Los planos en planta deben mostrar la geometría de la vialidad y deben representar en forma esquemática todos los elementos del señalamiento (horizontal y vertical) y de los dispositivos.

### 1.2.4. Adecuaciones viales

En obras donde se requiera realizar adecuaciones viales, tales como demoliciones y construyendo elementos como guarniciones, banquetas, camellones centrales, retornos y superficies de rodamiento vehicular, es necesario planificar la obra por etapas para que esta se desarrolle organizadamente y se afecte lo menos posible al tránsito vehicular y peatonal, teniendo como premisa la seguridad vial.



Todas las adecuaciones que se realicen a la vialidad deben de estar autorizadas por la secretaria que regula las vialidades y la secretaría de seguridad.

### 1.3. Obras inducidas especiales

Las obras inducidas especiales se refieren a las instalaciones de servicios públicos y privados, subterráneas, superficiales o elevadas, que no pueden ser restituidas, manipuladas, reubicadas, señalizadas y/o alteradas por personas ajenas a las dependencias, empresas propietarias u organismos operadores que administran estas instalaciones.

A continuación, se describen ejemplos de obras inducidas especiales:

#### 1.3.1. Instalaciones de voz y datos (fibra óptica)

Reubicación de postes, registros, teléfonos públicos, cámaras de vigilancia.

Dado que la fibra óptica debe estar conectada desde el origen hasta el final en una sola pieza es necesario reubicar estas instalaciones desde el punto inicial hasta el punto final.

#### 1.3.2. Gasoductos y oleoductos

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-007-SECRE-2010, Transporte de gas natural, los gasoductos y oleoductos son tuberías y accesorios para transportar gas combustible o petróleo a grandes distancias. Estos son de especial cuidado debido a que su ruptura puede ocasionar accidentes graves.

Este tipo de instalaciones están señalizadas superficialmente y es necesario elaborar un proyecto con base en las normas y especificaciones de cada empresa para realizar el desvío o en su defecto se debe llevar a cabo un proyecto específico para pasar por debajo de estas instalaciones.

Según la NOM-007-SECRE-2010 la separación mínima de estas instalaciones en su cruce o paralelismo con otras instalaciones es de 30 centímetros, exceptuando las líneas eléctricas, las cuales deben estar a una distancia mínima de un metro.

Regularmente, en una zona urbana estas instalaciones están enterradas, por lo que es necesario consultar el cuadro 1 “cubierta mínima” de la norma antes mencionada para conocer la profundidad aproximada dependiendo la localización o el tipo de cruce.

Cuando existan este tipo de interferencias en la obra es necesario tener un supervisor de seguridad de instalaciones de estos ductos, el cual se encarga de vigilar la no afectación a los ductos antes, durante y al final de las obras.

### 1.3.3. Energía eléctrica

Con base en la NOM-001-SEDE-2012 “*Instalaciones eléctricas*”, estas instalaciones son de especial cuidado debido a los dos tipos de riesgos mayores que representan, como corrientes de choque y las temperaturas excesivas que pueden provocar quemaduras, incendios u otros efectos peligrosos.

Estas instalaciones tienen muchas limitantes para realizar desvíos y reubicación de cableados, postes y registros de líneas de energía eléctrica. Dichas limitantes están dadas por el derecho de vía<sup>2</sup> con el que cuenta la dependencia que regula este servicio.

Por seguridad es necesario mantener a una distancia mínima de seguridad la maquinaria y equipo, especialmente los que cuenten con brazo (excavadoras o retroexcavadoras), equipos de izaje (grúas) y otros similares, cuando estén cerca de líneas aéreas de energía eléctrica.

La norma oficial mexicana NOM-031-STPS-2011, “*Construcción-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo*” nos muestra una tabla de la distancia mínima de seguridad de equipos y maquinarias a líneas eléctricas que se debe cumplir para evitar poner en riesgo a los trabajadores.

Tabla 2 Distancia mínima de seguridad de equipos y maquinarias a líneas eléctricas

<b>Voltaje (fase a fase) (V)</b>	<b>Distancia mínima de seguridad (m)</b>
Hasta 50 000	3.10
Hasta 73 000	3.33
Hasta 85 000	3.45
Hasta 115 000	3.75
Hasta 140 000	4.00
Hasta 230 000	4.90
Hasta 400 000	6.60
Hasta 600 000	8.60

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-031-STPS-2011, Construcción-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo

## 1.4. Trabajos previos a la construcción de un colector de concreto reforzado

Antes de comenzar con los trabajos de obra civil (construcción) del colector es necesario realizar actividades específicas para poder trabajar sin paros derivados de la comunidad aledaña a la obra, prevenir accidentes, informar a los vehículos que transitan por la zona, etc.

### 1.4.1. Impacto ambiental

Con la construcción de un nuevo proyecto pueden surgir afectaciones ambientales, por lo cual, se deberá seguir un Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental con base en las características del proyecto, por medio de la realización de un Informe Preventivo, Declaratoria de Impacto Ambiental o Manifestación de Impacto Ambiental en modalidad Particular o Regional. El tipo de procedimiento de evaluación se elegirá con base en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

<sup>2</sup> Según la NRF-014-CFE-2001, derecho de vía es una franja de terreno que se ubica a lo largo de cada línea área, cuyo eje coincide con el central longitudinal de las estructuras o con el eje de trazo topográfico.



(LGEEPA) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Se realizará una evaluación sobre lo entregado para dar un Resolutivo de Impacto Ambiental el cual podrá ser de tres tipos: “autorizar la realización de la obra o actividad de que se trate, en los términos solicitados, autorizar de manera condicionada la obra o actividad de que se trate o negar la autorización solicitada (SEMARNAT, 2017).

Con la finalidad de dar seguimiento al Resolutivo de Impacto Ambiental, la empresa contratista deberá tener personal capacitado y experimentado para implementar las medidas y acciones a seguir en cada una de las etapas del proyecto, con la finalidad de prevenir, minimizar, restaurar o compensar, cada uno de los impactos que la obra genere al medio ambiente.

#### 1.4.2. Protección y conservación de zonas arqueológicas o culturales

Para actuar oportunamente en el caso de que se tengan que realizar trabajos de rescate arqueológico se debe vigilar el proceso de construcción, especialmente durante las excavaciones, debiendo considerar estas actividades como una posible afectación al programa de obra.

El Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), es la dependencia responsable de dar autorización del inicio y/o continuación de los trabajos de excavación, una vez que libere el tramo por no encontrar vestigios arqueológicos.

#### 1.4.3. Atención a la comunidad aledaña a la obra

Es necesario contar con personal especializado, para atender las inquietudes vecinales respecto al desarrollo de los trabajos, por lo que se deberá considerar sus necesidades y conciliar situaciones que se puedan presentar para evitar inconformidades, es necesario sensibilizar a la población proporcionando material gráfico, explicaciones técnicas sobre la obra, dar aviso de reuniones informativas y realizar levantamientos notariales necesarios, con el fin de evitar conflictos e incluso manifestaciones que pudieran provocar el cierre temporal o definitivo de la obra.

El personal de atención ciudadana debe de mantener comunicación directa con el personal encargado de la obra para que en conjunto puedan dar una solución eficaz y viable a la problemática vecinal.

#### 1.4.4. Levantamientos notariales

Previo al inicio de una obra de cierta magnitud, se deberán realizar levantamientos del estado físico que guarda el pavimento, mobiliario urbano, árboles y estructuras aledañas a la zona de obra. Estos levantamientos deben ser realizados por un Director Responsable de Obra (DRO) facultado conforme a la normatividad aplicable vigente, en presencia de un Notario Público.

Estos levantamientos se deben hacer en el área de influencia, la cual es diferente para cada obra, tomando en cuenta los procedimientos constructivos especificados en el proyecto.

No se tiene un formato específico para la elaboración de estos levantamientos notariados, a continuación se describen algunos de los datos que deberá contener.

- Dirección del inmueble.
- Fecha y hora de las visitas físicas.
- Nombre y teléfono del propietario, poseedor o inquilino, o en su caso de la persona que atendió la diligencia.
- Croquis de localización del inmueble, indicando calle, número oficial, calles transversales y los números oficiales colindantes, código postal, colonia y delegación; así como algunas referencias que faciliten su localización.
- Descripción del inmueble indicando su estado físico en acabados en muros, pisos, techos (de concreto, cielo raso, falsos plafones, azoteas e instalaciones especiales), cisternas, bombas, etc.
- Croquis de distribución (recamaras, cocina, sala, comedor, etc.) con medidas aproximadas en planta y corte. La descripción de los inmuebles se deberá apoyar con fotografías de los mismos
- Descripción estructural del inmueble, es decir, el tipo de construcción (si esta es a base de muros de carga, muros divisorios, losas de concreto macizas, techo de lámina, madera, etc. trabes, columnas de concreto o acero y el tipo de cimentación.
- Descripción detallada y fotográfica de daños importantes o deterioros por fallas estructurales, asentamientos del subsuelo o desplomes del inmueble o por falta de mantenimiento, apoyando con croquis en planta y elevación que sirva de referencia a los daños y fotografías.
- Descripción de la funcionalidad de los siguientes elementos:
  - Instalación eléctrica, hidráulica y sanitaria.
  - Puertas y ventanas.
  - Verificar físicamente los desplomes del inmueble mínimo en las cuatro esquinas.
- Al final del informe se deberá tener un rubro de conclusiones en donde se especifiquen las posibles causas de los daños del inmueble, que efectos pueden causar las construcciones aledañas (principalmente en colindancia con edificios) y recomendaciones técnicas para subsanar en lo posible los daños o en su caso las precauciones que deberán tomarse antes del inicio de la obra.

Cuando no se pueda tener acceso al inmueble, se deberá realizar un levantamiento notariado de la parte exterior y de los elementos que puedan observarse, así como registrar el hecho de no haber tenido acceso a este, el cual se debe firmar por el DRO y el Notario Público.

#### 1.4.5. Identificación de interferencias (calas y sondeos)

Al tener un proyecto ejecutivo se implementa una brigada especializada en obras inducidas, la cual debe de contar con los planos de trazo y nivelación del proyecto; con base en estos se realiza un recorrido por la zona de obra para detectar todas las interferencias comunes y especiales, las cuales deben ser trazadas antes de comenzar con los trabajos.

Posterior al trazo de las interferencias es necesario realizar sondeos para conocer su trayectoria y verificar que se encuentren en el lugar donde el proyecto las señala. Existen ocasiones en las cuales

no se cuenta con información de las interferencias; en otros casos, aunque no se cuente con registros se puede ver a simple vista parte de las instalaciones existentes, pero por no tener la certeza de su trayectoria o profundidad, se realizan calas<sup>3</sup> para ubicar y conocer la condición actual de dichas interferencias.

Los sondeos o calas, además de ayudarnos a identificar las interferencias se elaboran para conocer los espesores de las capas de rodamiento que existen, e identificar los materiales que componen el terreno.

Cuando se tienen identificadas las instalaciones subterráneas y se conoce su trayectoria de inicio a fin, la constructora y la supervisión en forma conjunta deben elaborar un proyecto especial detallando el proceso constructivo mediante memorias descriptivas y planos para ejecutar dichos trabajos de la manera más eficiente y segura.

#### 1.4.6. Almacén y oficina en obra

Es necesario establecer el lugar donde se ubicarán las oficinas y almacenes, los cuales deben estar cerca de la obra, contar con el espacio suficiente para la estiba de materiales, tener fácil acceso y que afecte en lo menor posible a la población aledaña a la zona donde se realizan los trabajos. El tamaño de estos lugares será en función de la magnitud del proyecto. Por ejemplo, en obras pequeñas donde se pueda transportar diariamente el material y herramientas de trabajo no es necesario contar con almacén y oficina de obra.

Los almacenes juegan un papel importante en los tiempos de ejecución de la obra, ya que el contar con material estibado minimiza los tiempos muertos derivados de la espera de la llegada de suministros.

#### 1.4.7. Confinamiento de la zona de obra

En los lugares donde se realicen maniobras o existan excavaciones, maquinaria o material, es necesario limitar el acceso para evitar que personas o vehículos ajenos a la obra ingresen y puedan sufrir un accidente.

Al tener construcciones en una zona urbana, es necesario confinar conforme se avancen los trabajos, por lo tanto, el material con el que se realice el confinamiento debe ser de fácil y rápida instalación, comúnmente se utilizan tapias de lámina galvanizada debido a la rapidez con la que se puede instalar, también es usual que las empresas contratistas utilicen barreras de concreto, las cuales dan mayor protección a la zona de obra, sin embargo, para su colocación es necesario contar con maquinaria (grúas HIAB<sup>4</sup>, excavadoras, retroexcavadoras, etc.) para poder mover estas barreras.

Es importante tener la zona de obra completamente confinada previo al inicio de cualquier trabajo con personal o maquinaria.

---

<sup>3</sup> Excavación que se realiza para ver o localizar drenajes, tuberías de agua potable, instalaciones eléctricas o conocer las características del suelo.

<sup>4</sup> Se les denomina grúa HIAB por el fabricante finlandés Hydrauliska Industri AB.

## 1.5. Conceptos de obra usualmente usados en la construcción de un colector

Según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2011), un concepto de obra es aquel conjunto de actividades, acciones o trabajos manuales o mecánicos que la empresa contratista debe ejecutar en la construcción de una obra.

En el catálogo de conceptos se presenta de manera simplificada la descripción de las actividades, por lo que regularmente no se especifica con claridad el proceso constructivo, materiales, herramientas a emplear o condiciones de seguridad, por lo anterior un concepto de obra siempre debe de ir acompañado de especificaciones las cuales son indispensables en cualquier proyecto ejecutivo porque definen materiales y normas de calidad, establecen modalidades de medición y forma de pago.

El hecho de no contar con especificaciones crea confusión y genera una calidad deficiente en la ejecución de los trabajos.

A continuación, se mencionan algunos conceptos de obra generales que se emplean usualmente en la construcción de un colector de concreto reforzado, es importante mencionar que cada proyecto tiene su particularidad y por ende cada catálogo de conceptos será diferente, por lo que habrá conceptos que no se mencionan.

### 1.5.1. Trazo y nivelación (alineación y pendiente)

El trazo es la acción de localizar y marcar en el terreno o en la superficie la línea del eje de la tubería, el cual está especificado en los planos del proyecto. Actualmente las brigadas de topografía realizan el trazo con ayuda de una estación total<sup>5</sup>.

La nivelación es la inclinación vertical de la tubería, sirve para conocer la diferencia de alturas de uno o varios puntos con respecto a uno conocido, el cual se denomina banco de nivel. Este nivel es importante debido a que las alcantarillas están diseñadas en función de su capacidad hidráulica con base en el diámetro y pendiente de la tubería.

Al combinar los dos conceptos anteriores, podemos definir que el trazo y nivelación es el conjunto de actividades en el cual se obtiene la referencia necesaria para ubicar al proyecto en el espacio de acuerdo a las dimensiones y niveles preestablecidos (Manuelette, Ramírez & Bencosme, 2003).

### 1.5.2. Corte con sierra circular

En una zona urbana es común tener superficies de rodamiento, banquetas, guarniciones, camellones y otros tipos de estructuras en las cuales es necesario realizar un corte con una sierra circular sobre el trazo mencionado para cuidar que durante la demolición y excavación de zanjas la caja quede perfilada, lo cual es útil para evitar que la tubería se dañe al ser bajada a la zanja (Sánchez, F. 2005).

---

<sup>5</sup> Aparato electro-óptico que mide ángulos, distancias y niveles, este es utilizado en topografía.

Dicho corte se realizará procurando que la profundidad sea la adecuada para no dañar alguna instalación que pueda pasar por la zona.

### 1.5.3. Demolición

Demolición es el proceso por el cual la empresa contratista deshace cualquier tipo de elemento físico o parte del mismo Normas de construcción de la administración pública del Distrito Federal (SOBSE, 2000). En este caso la superficie de rodamiento que puede ser concreto hidráulico o carpeta asfáltica.

Posterior al corte con sierra se procede a la demolición y el retiro de la superficie entre los cortes realizados. Esta demolición puede elaborarse con herramientas manuales o de forma mecánica, dependiendo el volumen a trabajar.

Una vez que se realizó la demolición y el retiro del material producto de esta, se deberá traspalear al sitio donde será cargado y se procederá a realizar la excavación.

### 1.5.4. Excavación

Según la norma N-CTR-CAR-1-01-007-11 de la SCT (2011), se define excavación como la acción de remover y extraer el terreno natural para alojar diferentes estructuras u obras de drenaje. Las excavaciones pueden ser subterráneas o a cielo abierto.

La excavación se podrá realizar con herramientas manuales o maquinaria, dependiendo del volumen de excavación, el tipo de suelo y el acceso a la zona de obra.

En muchas ocasiones, al realizar una obra en zona urbana se tienen limitantes como el cableado de energía o telecomunicaciones, puentes vehiculares o peatonales, etc. por lo que se tiene que prever que la maquinaria empleada tenga movilidad en la zona de obra.

## **Excavación de zanja**

La excavación se realiza a cielo abierto, varía en geometría, es decir, cuenta con una base, corona y profundidades que varían según el proyecto y la estructura a colocar, cabe destacar que las paredes de la excavación se realizarán tan verticales como el terreno lo permita para evitar un movimiento de tierras excesivo, también es necesario respetar la normatividad aplicable en este tema.

El ancho de la zanja está en función del diámetro nominal de la tubería a colocar, el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) nos indica el ancho de zanja recomendable para cada diámetro nominal de tubería de concreto reforzado.

Es importante que los anchos de zanja mencionados en la Tabla 3 se respeten, si el ancho de la zanja construida excede el ancho adoptado en el diseño, el tubo estará sobrecargado y posiblemente estructuralmente dañado (CONAGUA, 2011).

En caso de no poder respetar los anchos mencionados, éstos deberán de ser lo más estrecho posible con un espacio lateral libre lo suficientemente adecuado para asegurar una correcta compactación

del material de relleno a los lados del tubo. A partir del lomo de la tubería se puede realizar talud para evitar la colocación de un ademe.

Tabla 3 Anchos de zanja para tubería de concreto circular

Diámetro nominal (cm)	Ancho		Plantilla o cama		Colchón mínimo	
	Concreto simple	Concreto reforzado	Concreto simple	Concreto reforzado	Concreto simple	Concreto reforzado
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
15	54		8		30	
20	60		8		30	
25	68		8		30	
30	76	80	8	8	30	30
38	91	91	8	8	30	30
45	102	102	8	8	30	30
61	120	120	8	8	30	30
76		150		8		30
91		170		8		30
107		190		8		30
122		210		8		30
152		250		8		30
183		300		9		30
213		340		11		30
244		390		12		30
305		480		15		30

Fuente: Comisión Nacional del Agua. (2009). Manual de Instalación de Tubería para Drenaje Sanitario. p. 59

Es importante proteger las excavaciones de inundaciones y asegurar su estabilidad, por lo que todo el material suelto o inestable se deberá remover. De igual forma es necesario realizar un afine en las paredes y fondo de la excavación para evitar que el material sobresalga más de lo que indica el proyecto.

En algunos casos, el proyecto indica que las paredes de la excavación serán usadas como molde (cimbra) de un colado, en estos casos se deberá cuidar que la excavación no exceda en más de diez centímetros respecto a las dimensiones de proyecto, si exceden dicho límite se usarán moldes o cimbras.

La norma N-CTR-CAR-1-01-007-11 (SCT, 2011) indica que el material producto de excavación se puede reutilizar en el relleno de la misma, colocándolo en un lugar donde sus características no sean alteradas.

### Abatimiento del nivel freático

Es el conjunto de actividades u operaciones destinadas a la evacuación de las aguas subterráneas presentes en el terreno. En la Ciudad de México, es común que exista la necesidad de abatir este nivel para poder construir subestructuras como zapatas, drenajes o tuberías de conducción de agua.



En general, las soluciones para el abatimiento del nivel freático<sup>6</sup> consisten en el empleo de barreras físicas, sistemas de bombeo del agua fuera de la excavación o la combinación de ambas.

## Sistemas de contención para excavaciones

El propósito principal de los sistemas de contención es resistir las fuerzas ejercidas por el terreno natural contenido y transmitir las en forma segura a sitio fuera de la masa analizada de movimiento.

Estos sistemas son muy importantes en la seguridad de la obra y del personal que labora dentro de la misma, su colocación es necesaria para evitar hundimientos o desplome de las paredes de la excavación. En algunas ocasiones el sistema de contención se realiza previo a la excavación de la zanja, en otras ocasiones se realiza a la par de esta.

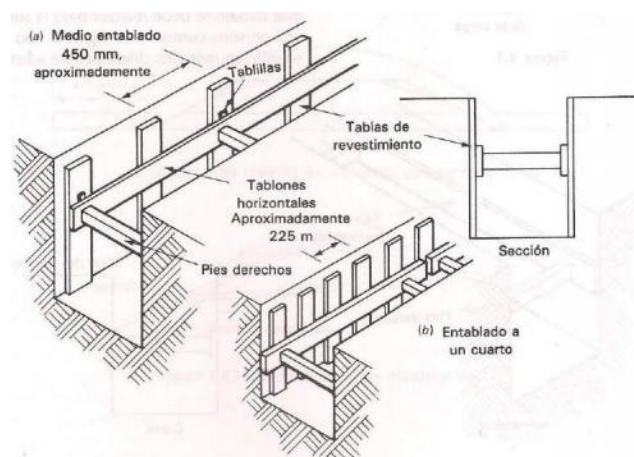
El sistema de contención deberá ser inspeccionado por un empleado competente antes y durante los trabajos en la excavación. De la misma forma, la persona encargada de la seguridad en la obra deberá colocar un barandal en todas las excavaciones con más de 2 metros de profundidad según la NOM-STPS-031-2011.

A continuación, se enumeran algunos de los sistemas de contención empleados en la construcción de colectores.

## Apuntalamiento

Este sistema es el más sencillo; consiste en colocar un par de tablas verticales en los lados opuestos de la zanja, con dos polines que las fijan. Se recomienda usar este sistema en zanjas poco profundas en terreno estable (CONAGUA, 2009).

Figura 6 Apuntalamiento con tabloncillos colocados de forma combinada y polines para troquelar

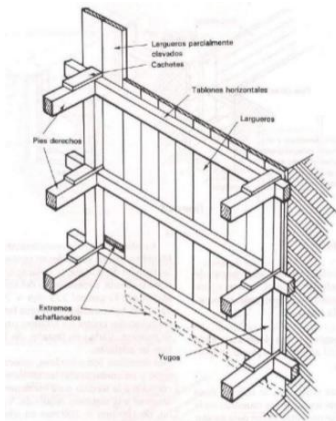


Fuente: Bailey, H. & Hancock, W. (2002)

<sup>6</sup> El nivel freático es la distancia concreta que hay entre el nivel del agua subterránea y la superficie.

## Ademe

Figura 7 Ademado con tres niveles de troqueles



Fuente: Bailey, H. & Hancock, W. (2002)

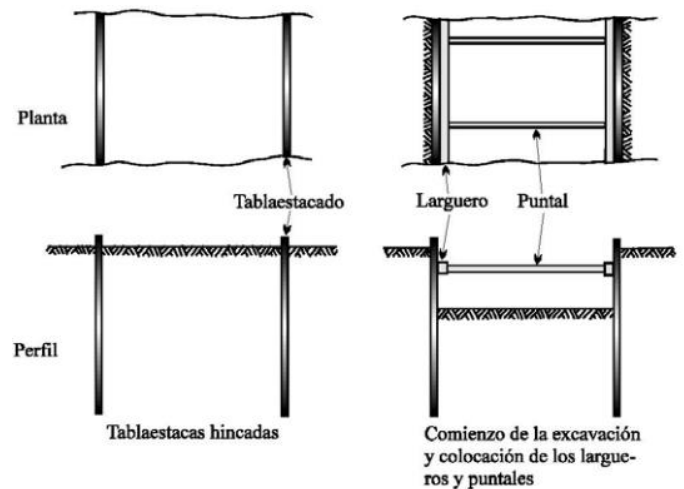
Con base en las definiciones de las Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal (2000), ademe es una estructura de madera (tablones y polines) que está en contacto con las paredes de la excavación, las cuales sirven para contrarrestar el empuje horizontal y/o vertical que ejerce el terreno en una excavación, el cual tiende a cerrar los espacios excavados, así como para evitar los derrumbes sobre los espacios vacíos. Los polines de madera sirven para troquelear y/o acuar los tablones, dependiendo la profundidad de la excavación se colocan dos o más niveles de troqueles.

## Tablaestacas

Son aquellos elementos estructurales que tienen una dimensión mucho mayor que las otras dos, los cuales son hincados en el suelo y que están interconectados. Forman una especie de cortina flexible, cuya estabilidad se basa en el anclaje de la parte empotrada del elemento, o bien por el soporte proporcionado por un sistema de puntales. Cabe destacar que este sistema es de los más costosos

En el pasado, los muros tablaestacados se construían de madera; sin embargo, en la actualidad, se utilizan principalmente tablaestacas de concreto reforzado o metálicas (en algunos casos reutilizables). Estas dos últimas presentan una alta relación entre resistencia y peso (CONAGUA, 2007).

Figura 8 Figuras esquemáticas de una excavación con tablaestacas apuntaladas



Fuente: CONAGUA. (2007). MAPAS - Geotecnia en construcción especializada. p.5

## Pilas de contención

Las pilas de contención son elementos estructurales alargados, cuyo diámetro o dimensión transversal generalmente es igual o mayor a los 60 centímetros, son elaborados en su lugar definitivo con concreto reforzado colado por dentro de excavaciones previas con o sin ademe (Couttolenc, 2016).



Este sistema se complementa con la colocación de malla electrosoldada y concreto lanzado<sup>7</sup> colocado en las zonas del suelo descubierto, así mismo con vigas para apuntalar las pilas.

## Muro Berlín

El muro Berlín también conocido como muro berlinés, es un proceso de apuntalamiento (entibación) que sirve para contener el terreno natural en una zanja o en una excavación. Consiste en perfiles metálicos hincados verticalmente, entre los cuales se colocan polines o tablonés de madera.

Estos muros son considerados flexibles (a comparación de pilotes) y son comúnmente utilizados debido a que son una solución económica y segura.

La mayor desventaja de esta técnica de contención es que no impide el paso del agua subterránea a la excavación o zanja. (Yepes, 2015)

### 1.5.5. Carga y acarreo de material producto de excavación y demolición

Según la SCT en su norma N-CTR-1-01-013/00 (2000), los acarreos son el transporte de material producto de bancos, cortes, excavaciones, desmontes, despalmes, demoliciones y derrumbes.

Una vez que la demolición y excavación fueron realizadas es necesario colocar este material en una zona donde no estorbe a la circulación vehicular o peatonal que puedan circular cerca de la zona de obra. Todo el material producto de excavación y demolición será cargado y acarreado a un banco de desperdicios autorizado por la dependencia.

### 1.5.6. Cama de arena

Es la colocación una plantilla o cama de apoyo, la cual se constituye por un material fino cuyo grado de compactación y espesor será definido por el tipo de terreno que se tenga en el proyecto, dicho trabajo se deberá efectuar para desplantar toda tubería (agua potable o alcantarillado).

Para tuberías de concreto se deberán de excavar cavidades (conchas) para alojar la campana de los tubos, esto se hace con el fin de desplantar la totalidad del tubo en la cama.

### 1.5.7. Relleno de zanjas

Con base en las definiciones de la norma N-CTR-CAR-1-01-011/11 (STC, 2007) y en las Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal (SOBSE, 2000), el relleno de zanja es el conjunto de operaciones que se realizan para colocar materiales (seleccionados o no) en excavaciones hechas para estructuras, obras de drenaje o algún tipo de tubería, hasta el nivel fijado en el proyecto.

---

<sup>7</sup> Concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie.

El relleno es el material que se utiliza para cubrir o llenar excavaciones, este se puede dividir en dos etapas, el relleno lateral o acostillado y el relleno principal. No es aceptado como relleno ningún material altamente químico, orgánico ni cualquier otro que perjudique a la tubería de concreto.

El material deberá ser transportado desde el lugar de su extracción en vehículos protegidos con lonas para evitar su contaminación o merma durante el traslado del banco al sitio de su utilización. Deberá ser almacenado en un lugar específico, el cual debe estar sobre un firme o un lugar limpio, conformado, nivelado y compactado evitando que las características del material no sean alteradas.

### Relleno lateral o acostillado

Después de la instalación de la tubería de concreto es necesario colocar algún material homogéneo fino, según lo indique el proyecto.

El relleno lateral es de suma importancia ya que proporciona la mayor parte de la resistencia y estabilidad del tubo.

Se debe cumplir con la compactación del material del acostillado hasta llegar al lomo de la tubería.

### Relleno principal

La excavación se deberá rellenar con material seleccionado en un banco de materiales según lo requiera el proyecto. Este material a veces es considerado como parte de la estructura de pavimentos, como la capa subrasante.

Debe de cumplir con las características de un material de subrasante, las cuales están descritas en la Tabla 4.

Figura 9 Sección transversal de una zanja para la colocación de tubería de concreto reforzado



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

Tabla 4 Requisitos de calidad de materiales para capa subrasante

Característica	Valor
Tamaño máximo	76 %
Límite líquido	40 %
Índice plástico	12 %
Valor de soporte de California (CBR)	20 %
Expansión máxima	2 %
Grado de compactación	100 ± 2 %

Fuente: Norma N-CRT-CAR-1-01-011/11 (SCT, 2011)

<sup>8</sup> Excavación a cielo abierto cuya función es extraer material para la formación de cuerpos de terraplenes, rellenos de excavaciones, etc.

Una vez que el material está en un lugar adecuado para su almacenamiento y se encuentra cerca de la zona de trabajo se deberá humedecer hasta obtener un valor cercano a la humedad óptima, posteriormente se colocará en capas con espesores no mayores a los que puedan ser compactados con el equipo seleccionado para dicha tarea.

La norma N-CRT-CAR-1-01-011/11 (SCT, 2011) menciona que el grado de compactación mínimo a cumplir deberá ser 90% de su masa volumétrica seca máxima mediante la prueba Proctor o AASHTO<sup>9</sup> estándar.

#### 1.5.8. Estructura de pavimento flexible

Según la SCT (2001), es aquella estructura comprendida entre la subrasante y la superficie de rodamiento formada por varias capas de diferentes materiales cuya finalidad es soportar y distribuir las cargas producidas por los vehículos que transiten por la zona de una forma cómoda, segura y eficiente.

Las capas que forman una estructura de pavimento son las siguientes:

- Sub-base
- Base
- Superficie de rodamiento

A continuación se define cada una de las capas mencionadas.

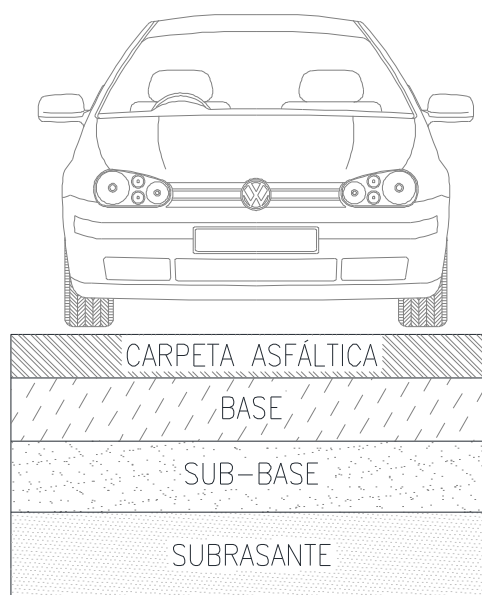
#### Sub-base

Según las definiciones de las Normas de Construcción de la Administración pública del Distrito Federal (2000) la sub-base es la capa de materiales pétreos seleccionados que se construye sobre la subrasante, la cual proporciona un apoyo uniforme a la base, soporta las cargas transmitidas por esta y la superficie de rodamiento, las distribuya sobre la capa inmediata inferior, de tal forma que no se produzcan deformaciones permanentes es esta capa.

#### Base

Es la capa formada con una mezcla de materiales como pueden ser grava cementada, grava de granulometría controlada o tepetate, que se construye sobre la sub-base o sobre la subrasante (esto

Figura 10 Sección típica de un pavimento flexible



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

<sup>9</sup> AASHTO por sus siglas en inglés American Association of State Highway and Transportation Officials

solamente cuando la calidad y resistencia de la capa inferior a la subrasante permiten eliminar la sub-base) Normas de construcción de la administración pública del Distrito Federal (SOBSE, 2002).

## **Relleno fluido**

En algunas ocasiones las características requeridas para la base son difíciles de lograr o requieren de cierto proceso de compactación alargando los tiempos de ejecución de la obra, por eso algunas constructoras optan por utilizar relleno fluido en lugar de materiales pétreos para rellenar zanjas o sustituir la sub-base y la base.

Según el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCyC) el relleno fluido es un material de baja resistencia a la compresión, que va desde los 3 kg/cm<sup>2</sup> hasta los 65 kg/cm<sup>2</sup>, puede usarse en trabajos de nivelación de terreno o donde se requiera una compactación igual o mejor a la de un suelo compactado. Sus mayores beneficios son la fácil nivelación, su autocompactación y que no necesita ser colocado en capas.

Se elabora de la misma manera que el concreto premezclado y con los mismos procedimientos de control de calidad. Se coloca de forma similar a la del concreto, empleando canalones, cangilones o bandas transportadoras.

## **Capa de rodadura (mezcla asfáltica en caliente)**

Es aquella que se construye mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos de granulometría densa y cemento asfáltico, utilizando calor como vehículo de incorporación, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derramamiento, cómoda y segura (N-CTR-CAR-1-04-006/00 SCT, 2000).

### **1.6. Control de calidad**

El control de calidad es el conjunto de actividades que examinan los resultados obtenidos mediante mediciones, muestreo, pruebas de campo y laboratorio.

En toda obra es necesario verificar que la empresa contratista cumpla con todos los requerimientos de calidad especificados en el proyecto, es decir, que los materiales, mano de obra y maquinaria, sean de las características y calidad que se acordaron en especificaciones generales y particulares de construcción, catálogo de conceptos y normatividad vigente.

Este capítulo tiene el fin de mostrar las pruebas (en campo) que se realizan durante la construcción de una obra, cabe mencionar que se presenta un resumen elaborado con base en las normas vigentes.

Se indican la(s) normas para que el lector pueda profundizar en el tema.

### 1.6.1. Concreto hidráulico

Según las definiciones de las Normas de Construcción de la Administración Pública (SOBSE, 2005) y las normas del Instituto Mexicano del Transporte (2004), el concreto hidráulico es una mezcla integrada por cemento portland, agregados pétreos (finos y gruesos) seleccionados, agua y aditivos en su caso, con una dosificación apropiada, misma que al fraguar adquiere las características de resistencia, módulo de elasticidad, efectos de contracción comportamiento integral y durabilidad previamente fijados.

A continuación, se describen algunas de las pruebas realizadas al concreto fresco en la obra.

#### Revenimiento

Esta prueba es la primera que se practica cuando el concreto llega a la obra y sirve para medir la trabajabilidad del concreto, es decir, la consistencia del concreto en estado fresco con tamaño máximo de agregado de 2 pulgadas. A continuación, se resume el material y el proceso a seguir con base en las normas NMX-C-156-ONNCCE-2010 (Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C., 2010), M-MMP-2-02-056/04 y N-CTM-2-02-005/04 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

#### Materiales necesarios para la prueba

- Cono estándar de revenimiento
- Varilla de compactación
- Placa metálica
- Flexómetro
- Cucharón

*Figura 11 Obtención del revenimiento en una muestra de concreto en estado fresco*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis



## Procedimiento

En esta prueba se obtienen valores confiables de revenimiento en el intervalo de 2 a 20 centímetros. El proceso completo se debe de realizar en un tiempo no mayor a 2.50 minutos.

- Se humedecen el cono de revenimiento y la placa metálica con el fin de evitar que la muestra pierda humedad.
- Se coloca el cono sobre la placa metálica, apoyando los pies sobre los estribos del cono.
- Se llena el cono en tres capas del mismo espesor, compactando cada capa con 25 penetraciones de la varilla de compactación distribuidas uniformemente sobre su sección teniendo en cuenta las siguientes consideraciones.
  - La varilla se introduce por su extremo redondeado.
  - Al comenzar la compactación de la primera capa, la mitad de las penetraciones se hacen cerca del perímetro del cono, por ello es necesario inclinar la varilla en forma vertical, haciendo un espiral hacia el centro para completar las perforaciones.
  - La segunda y tercera capa se deben compactar a través de todo su espesor de manera que la varilla penetre en la capa en la capa anterior aproximadamente 2 cm.
  - Para el llenado de la última capa se coloca un ligero excedente de concreto por encima del borde superior del molde antes de empezar la compactación, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, a la décima o vigésima penetración se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo.
- Una vez terminada la compactación de la última capa, se enrasa el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla sobre el borde superior del cono.
- Se limpia la superficie exterior del cono.
- Se levanta con cuidado el molde en dirección vertical, sin movimientos laterales o torsionales (esta operación se debe realizar en 5 segundos  $\pm$  2 segundos).
- Inmediatamente después se coloca el cono a un lado de la muestra (sobre la placa), con la barra previamente limpiada puesta en el borde superior del cono, de tal forma que pase por la parte superior de la muestra de concreto.
- Empleando el flexómetro se mide la distancia entre la parte inferior de la barra y el centro de la parte superior de la muestra de concreto.
- Se registra el resultado.

Cuando no existan especificaciones de proyecto, se aplicará la Tabla 5 “*Valor nominal y tolerancias para el revenimiento*” de la norma N-CTM-2-02-005/04 (IMT, 2004), para aceptar o rechazar el concreto suministrado.

Tabla 5 Valor nominal y tolerancias para el revenimiento

Revenimiento	Tolerancia	Consistencia	Notas
Menor de 5 cm	$\pm 1.5$	Baja	Para elementos colados en planta bajo vibración pesada. Pavimentos de calles, carreteras y aeropuertos; secciones macizas grandes.
Entre 5 y 10 cm	$\pm 2.5$	Media	Para pavimentos, losas para construcciones, cajones de cimentación, cimentaciones, losas estructurales, muros de subestructuras, columnas reforzadas normales, trabes, concreto para bombeo reforzadas.
Mayor de 10 cm	$\pm 3.5$	Alta	Para secciones especialmente difíciles y congestionadas, en las cuales no puede emplearse la vibración. Revenimiento mayor de 18 cm no se recomienda para uso alguno, excepto cuando se utilicen aditivos.

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, N-CTM-2-02-005/04 (2004, p. 5)

## Masa volumétrica

Esta prueba se realiza para determinar la masa unitaria<sup>10</sup> del concreto en estado fresco<sup>11</sup> y poder saber si el concreto es clase 1 o 2.

El concreto clase 1 es aquel cuya masa volumétrica, en estado fresco, está comprendida entre 2,200 kg/m<sup>3</sup> y 2,400 kg/m<sup>3</sup>; por otro lado, el concreto clase 2 es aquel cuya masa volumétrica, en estado fresco, está comprendida entre 1,800 kg/m<sup>3</sup> y 2,200 kg/m<sup>3</sup>.

A continuación, se describe el proceso con base en la norma NMX-C-162-ONNCCE: Industria de la Construcción-Concreto-Determinación del Peso Unitario, Cálculo del Rendimiento y Contenido de Aire del Concreto.

### Materiales necesarios para la prueba

- Balanza o báscula
- Mazo o martillo
- Placa enrasadora
- Placa de verificación
- Recipiente
- Termómetro
- Varilla para la compactación

### Procedimiento

- Se coloca la báscula en una superficie nivelada y fuera de corrientes de aire.
- Se coloca el recipiente limpio sobre la báscula.
- Se coloca el concreto en tres capas de aproximadamente igual volumen, compactando cada una de las capas con la varilla de compactación distribuidas uniformemente sobre su sección,

<sup>10</sup> Cantidad de materia contenida en un metro cúbico de concreto fresco (kg/m<sup>3</sup>).

<sup>11</sup> Según el IMCyC el concreto se considera en estado fresco mientras éste sea moldeable (antes de comenzar el proceso de fraguado).

se realizan 25 penetraciones si el recipiente es de 14 litros o 50 penetraciones si el recipiente es de 28 litros.

- Se golpea el recipiente con el mazo para eliminar el aire contenido y las oquedades que produce la varilla, este paso se realiza hasta que el agregado grueso desaparece de la superficie. Cabe destacar que golpear excesivamente puede provocar segregación de los materiales.
- Terminada la compactación, se agrega o se quita concreto para obtener el contenido óptimo<sup>12</sup> en el recipiente.
- Se enrasa la muestra.
- Se realiza limpieza del concreto adherido en el exterior del recipiente.
- Se determina la masa del concreto y se registra el resultado.

*Figura 12 Determinación de la masa volumétrica del concreto en campo*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

## Temperatura

La temperatura del concreto se debe medir ya que es uno de los factores que más influyen en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del concreto. La temperatura afecta el comportamiento de los aditivos químicos en conjunto con el concreto.

A continuación se realiza un resumen del material y el proceso a seguir con base en la norma NMX-C-435-ONNCCE-2008 y N-CTM-2-02-005/04 del Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

## Materiales necesarios para la prueba

- Recipiente
- Termómetro

<sup>12</sup> Contenido óptimo es aquel que sobresale unos 3 milímetros aproximadamente sobre el borde superior del recipiente.



## Procedimiento

Este proceso se debe de realizar máximo 5 minutos después de haber obtenido la muestra.

- Se coloca el dispositivo de medición de temperatura en el concreto en estado fresco.
- Se presiona suavemente la superficie del concreto con la mano alrededor del termómetro (para evitar que la temperatura del ambiente no afecte la lectura).
- Dejar el termómetro en el concreto fresco como mínimo dos minutos (o hasta que la lectura se estabilice).
- Leer la temperatura y registrarla.

Figura 13 Termómetro colocado en concreto en estado fresco



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Según la norma N-CTM-2-02-005/04 (IMT, 2004), la temperatura de colocación del concreto no puede rebasar los 32°C y no puede ser menor a lo establecido en la Tabla 6 “Temperatura del concreto” de la norma mencionada.

Tabla 6 Temperatura del concreto

Temperatura ambiente	Temperatura mínima del concreto	
	Secciones delgadas y losas sobre pisos	Secciones gruesas y concreto masivo
7 a -1 °C	16	10
-2 a -18 °C	18	13
< -18 °C	21	16

Fuente: Instituto Mexicano del Transporte, N-CTM-2-02-005/04 (2004, p. 5)

### 1.6.2. Rellenos y estructura de pavimento

Como se mencionó en los capítulos 1.5.7 y 1.5.8 el relleno principal, la base y sub-base deben de cumplir con cierto grado de compactación, por esto es necesario realizar pruebas a estas capas para asegurarnos de que se están cumpliendo las especificaciones del proyecto.

## Prueba de compactación en obra

Cada capa de relleno, base y sub-base que se trabaja debe de ser revisada por el laboratorio de la empresa contratista y de la supervisión, por lo tanto, se realiza una prueba “in situ” al material que se colocó para rellenar las zanjas que se excavaron y las capas que conforman la estructura de pavimentos.

Esta prueba tiene por objeto determinar el grado de acomodo de las partículas de un suelo en construcción. Consiste en relacionar el peso volumétrico seco en el lugar con el respectivo peso volumétrico seco máximo, expresando el resultado en porcentaje.

El proceso descrito a continuación, solamente hace mención al realizado en obra, para determinar la masa volumétrica seca máxima y el contenido de agua óptimo del material, se puede buscar el procedimiento en la norma M-MMP-1-09/06 (Prueba AASHTO estándar) del Instituto Mexicano del Transporte (2006).

### Materiales necesarios para la prueba

- Barreta
- Bascula
- Arena con peso volumétrico constante
- Charolas
- Bolsas

### Procedimiento

- Se limpia la superficie donde se elaborará la prueba.
- Con el dedo se traza una cala cuadrada de 10 a 15 centímetros por lado.
- Se realiza la excavación empleando la barreta, tratando que las paredes de esta sean lo más verticales posible, sin hacer palanca con la barreta para no alterar el material adyacente.
- Todo el material excavado de la cala se recoge y se guarda cuidadosamente en bolsas herméticas. Una parte de este material se utiliza para determinar el contenido de humedad y se anota el dato como: *Humedad del lugar (%)*.
- El material guardado en las bolsas se pesa sin contar el agregado grueso que se encuentre durante la excavación y se anota el dato como: *Peso húmedo extraído (kg)*.
- Se pesa la arena de Ottawa (arena con peso volumétrico conocido) y se anota el dato como: *Peso inicial de la arena (kg)*.
- Se rellena la cala con arena hasta el nivel del terreno con el fin de conocer el volumen de esta. Si se sacaron partículas durante la excavación se colocan dentro de la cala.
- La arena restante se pesa y se anota el dato como: *Peso final de la arena (kg)*.
- Se recupera la arena de la cala.
- Se obtiene la diferencia de los pesos de la arena:

$$\text{Diferencia (kg)} = \text{Peso inicial de la arena (kg)} - \text{Peso final de la arena (kg)}$$

- Se obtiene el volumen de la cala.

$$\text{Volumen de la cala (m}^3\text{)} = \frac{\text{Diferencia (kg)}}{\text{Peso volumétrico arena (}\frac{\text{kg}}{\text{lt}}\text{)}}$$

- Se obtiene el Peso Volumétrico húmedo del lugar (P.V.H.L.)

$$P.V.H.L. (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) = \frac{\text{Peso húmedo extraído (kg)}}{\text{Volumen de la cala (m}^3\text{)}}$$

- Se obtiene el Peso Volumétrico seco del lugar (P.V.S.L.)

$$P.V.S.L. = \frac{P.V.H.L. (\frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{1 + \frac{\omega}{100}}; \quad \text{donde } \omega = \text{Humedad del lugar en } \%$$

- Se obtiene el grado de compactación

$$\text{Compactación} = \frac{P.V.S.L.}{\gamma_{d \max}} (100); \quad \text{donde } \gamma_{d \max} = \text{Peso Volumétrico Seco Máximo}$$

A continuación, se muestra el diagrama 1 con ilustraciones del proceso descrito anteriormente.

Diagrama 1 Proceso de elaboración de prueba de compactación en campo



Se obtienen los resultados preliminares

PROYECTO	FECHA	LABORATORIO	OPERARIO	REVISOR			
CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA	11/02/2011	UNAM	...	...			
UBICACIÓN	...	...	...	...			
PROYECTO	...	...	...	...			
OBJETIVO	...	...	...	...			
DESCRIPCIÓN	...	...	...	...			
FECHA DE ELABORACIÓN	...	...	...	...			
FECHA DE REVISIÓN	...	...	...	...			
CALA	PROFUNDIDAD (cm)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	OPORTUNIDAD (kg)	MAX. HUMEDAD (%)	WET WEIGHT (kg)	WET WEIGHT (kg)	WET WEIGHT (kg)
ES-1	10	1.12	2.0	11.4	11.4	11.4	11.4
ES-2	10	1.12	2.0	11.4	11.4	11.4	11.4
ES-3	10	1.12	2.0	11.4	11.4	11.4	11.4
ES-4	10	1.12	2.0	11.4	11.4	11.4	11.4
ES-5	10	1.12	2.0	11.4	11.4	11.4	11.4
ES-6	10	1.12	2.0	11.4	11.4	11.4	11.4
ES-7	10	1.12	2.0	11.4	11.4	11.4	11.4
ES-8	10	1.12	2.0	11.4	11.4	11.4	11.4
ES-9	10	1.12	2.0	11.4	11.4	11.4	11.4
ES-10	10	1.12	2.0	11.4	11.4	11.4	11.4

Fuente: diagrama elaborado por el autor de esta tesis

Para poder realizar este tipo de pruebas hay que muestrear el material de banco cada 200 m<sup>3</sup> para verificar límites líquido y plástico, y cada 500 m<sup>3</sup> para verificar el cumplimiento de todos los valores establecidos en la norma N-CMT-1-03/02 del IMT y asegurarse que el relleno empleado sea el muestreado.

### 1.6.3. Tuberías de concreto reforzado

Con base en las definiciones del IMT, en la norma N-CTM-3-02/04 (2004) un tubo de concreto reforzado es un elemento prefabricado de sección circular, hueco y alargado, elaborados con concreto hidráulico y que provisto de un sistema de junteo adecuado forman una tubería continua, con el objeto de conducir aguas residuales y pluviales recolectadas evitando inundaciones y encharcamientos.

En este subtema encontraremos algunas pruebas que se realizan a las tuberías de concreto reforzado en obra, más adelante se hará mención de las pruebas que se realizan a los tubos.

### **Prueba de hermeticidad para tuberías de concreto reforzado**

Con base en las definiciones de la NMX-C-402-1996-ONNCCE, hermeticidad es la característica de una red de conductos de no permitir el paso del agua a través de sus juntas, esta prueba se realizará cuando se tenga colocada la tubería entre dos pozos o cajas terminadas y acostillada por lo menos 20 centímetros arriba del lomo de la tubería, esto con el fin de evitar el movimiento o deslizamientos de la tubería al momento de la prueba. La tubería deberá estar sellada con el empaque que suministra el fabricante o proveedor de los tubos de concreto reforzado y calafateada.

Existen dos tipos de pruebas de hermeticidad, hidrostática y neumática, las cuales se describen a continuación.

### **Prueba hidrostática**

A continuación, se hace un resumen siguiendo los pasos mencionados en el Manual de Instalación de Tubería para Drenaje Sanitario (CONAGUA, 2011, p. 86).

#### **Materiales necesarios para la prueba**

- Agua en pipa (de preferencia no potable)
- Tapones herméticos para los extremos de los tubos a probar NOM-001-Conagua-2011
- Bomba de émbolo con capacidad de 1 kg/cm<sup>2</sup> o mayor
- Manómetro conectado a uno de los tapones de 0 a 1 kg/cm<sup>2</sup> con escala mínima de 0.01 kg/cm<sup>2</sup>
- Cronómetro
- Dispositivo para medir volumen escala mínima de 0.5 litros
- En uno de los tapones un dispositivo para purgar el aire acumulado

Previo a la realización de la prueba se deberá llenar la tubería desde el punto más bajo para asegurar la expulsión del aire por el punto más alto.

### Realización de la prueba

- Se debe purgar la tubería para que no contenga aire.
- Aplicar la presión de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  manteniéndola durante 15 minutos, agregando la cantidad de agua que fue absorbida, para mantener la presión inicial.
- El tramo probado se considera hermético si el agua agregada durante 15 minutos del periodo de prueba no excede al volumen calculado en la ecuación descrita a continuación para sostener la presión de prueba de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ .

La base para calcular la cantidad de agua extra que se debe de agregar a la tubería a probar se obtiene con la siguiente expresión (no debe exceder del resultado de la ecuación).

$$V = 0.15 \pi \phi L$$

Donde:

V = volumen de agua admisible por agregar, (l)

$\phi$  = diámetro interior de la tubería, (m)

L = longitud del tramo a probar, (m)

En el Manual de Instalación de Tubería para Drenaje Sanitario (CONAGUA, 2011, p. 86), encontramos una tabla donde se muestran las causas más comunes de falla de la prueba de hermeticidad.

Tabla 7 Causas comunes de falla en prueba de hermeticidad

Problema	Causa u origen	Solución
Por más que se introduce agua no se termina de llenar nunca.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Tubo roto</li><li>2. La junta quedo torcida</li><li>3. A un tubo no se le colocó el anillo de hule</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Cambiar tubo</li><li>2. Desensamblar y acomodar anillo de hule</li><li>3. Colocar anillo de hule</li></ol>
No se mantiene la presión de prueba.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Poro en el tubo</li><li>2. Tubos incidentes mal recibidos</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Tapar el poro</li><li>2. Sellar bien los tubos incidentes al pozo</li></ol>
Salen manchas de humedad.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Saturación por absorción.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. No es falta de estanquidad</li></ol>

Fuente: Manual de Instalación de Tubería para Drenaje Sanitario (CONAGUA, 2011, p. 86)

### Prueba Neumática

Este tipo de pruebas son comúnmente realizadas en tuberías con diámetro nominal mayor a 122 centímetros, aunque la norma NOM-001-CONAGUA-2011 indica que es preferible realizar una inspección visual o realizar la prueba junta por junta debido al peligro que la prueba representa.



En tuberías donde se requiera realizar pruebas junta por junta se opta por fabricar un dispositivo especial conocido como anillo (joint tester). Este dispositivo envuelve herméticamente la junta para inyectar aire y con ayuda de un manómetro se mide la variación de la presión al interior del anillo.

### Materiales necesarios para la prueba

- Dispositivo especial (anillo)
- Compresor
- Manómetro digital o análogo

*Figura 14 Anillo para realizar prueba de hermeticidad neumática en una tubería de 213 cm de diámetro.*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Previo a la realización de la prueba se debe de colocar un sellador de poliuretano en la zona del tubo donde se va a colocar el anillo para eliminar la superficie rugosa del concreto y evitar que el aire salga por la superficie mencionada.

### Realización de la prueba

- Se arma y se coloca el anillo en la junta a probar.
- Se aplica una presión de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  manteniéndola durante 60 segundos.
- La junta probada se acepta si la lectura en el manómetro no varía.

#### 1.6.4. Otros ejemplos de pruebas y muestreos realizados

En los subtemas anteriores se mencionan unas cuantas pruebas que se realizan en la obra para poder llevar control en la calidad, sin embargo, existen muchas otras pruebas o muestreos que se deben de realizar para poder verificar el cumplimiento de especificaciones y calidad del proyecto ejecutivo.

*Tabla 8 Ejemplos de pruebas y muestreos de materiales utilizados en la industria de la construcción*

<b>Material</b>	<b>Prueba en campo</b>	<b>Muestreo para realizar pruebas en laboratorio</b>
Rellenos, base y sub-base	Prueba de compactación (AASHTO o Proctor)	Muestreo: granulometría, límite líquido, peso volumétrico seco máximo, humedad.
Concreto hidráulico	Revenimiento Temperatura Masa volumétrica	Cilindros para prueba a compresión simple a diferentes edades. Vigas para prueba a flexión.
Concreto lanzado	Revenimiento Temperatura Masa volumétrica	Artesa para determinar resistencia.
Relleno fluido portland	Fluidez	Cilindros para determinar resistencia a compresión.
Tubería de concreto reforzado	Hermeticidad y estanquidad en juntas	
Acero de refuerzo		Muestreo de acero de refuerzo para determinar módulo de elasticidad, elongación.
Asfalto	Temperatura	Extracción de núcleo para verificar vacíos.

Fuente: Martínez, L. (2018). La supervisión de obras.

#### 1.7. Trabajos posteriores a la construcción

Después de los trabajos de construcción de la obra es necesario restaurar áreas afectadas, limpiar las mismas, retirar tapias, almacenes, señalamiento vertical y horizontal que ya no sea necesario, así como entregar la obra y toda la documentación necesaria.

##### **Retiro de señalamiento**

Cuando las condiciones físicas u operacionales que dieron lugar a la instalación de una señal o dispositivo hayan cambiado por cualquier situación, dicho dispositivo debe ser retirado de la vialidad y en su caso, sustituido por el que se requiera, previo a la elaboración de algún estudio de la situación actual del tránsito.

##### **Rehabilitación de áreas afectadas por los trabajos de la obra**

En toda obra que se realiza en una zona urbana se ejecutan cambios en banquetas, camellones, guarniciones, etc, por lo que es necesario dejar todas esas estructuras y zonas afectadas como estaban antes de efectuar los trabajos de construcción.

## **Retiro del confinamiento, almacenes y oficinas en obra**

Posterior a la construcción de la obra es necesario retirar los tapias, barreras y cualquier objeto que se tenga para confinar, así como los almacenes y oficinas para poder realizar los trabajos de limpieza general.

## **Limpieza general de la obra**

Las Normas de Construcción de la Administración pública del Distrito Federal (2000) mencionan que la limpieza es aquel conjunto de maniobras manuales o mecánicas realizadas al interior y exterior (zonas adyacentes y vialidades de acceso y salida) de una obra terminada retirando materiales sobrantes no constitutivos de la misma.

## **Elaboración de los planos de construcción final (planos As Built)**

Al término de la obra, la empresa contratista deberá entregar los planos de obra terminada, en los cuales se plasman las modificaciones que se realizaron durante la ejecución. Estos planos se entregan física y digitalmente los cuales incluyen las firmas de los responsables de la construcción.

## **Entrega – recepción de los trabajos**

Se debe avisar por medio de la bitácora electrónica que la obra se concluyó para que se realice un recorrido con personal de todas las partes involucradas. En este recorrido se verifican los trabajos realizados, en caso de encontrar deficiencias en la obra se solicitará a la empresa constructora que elabore las reparaciones con base en las especificaciones del proyecto ejecutivo.

Posterior al recorrido se levantará un acta donde se describen los trabajos que se reciben, así como los periodos de ejecución de la obra, importes, convenios modificatorios, etc., también se reciben los planos correspondientes a la construcción final, así como manuales e instructivos de operación y mantenimiento correspondientes.



## 2. Caso de estudio “Desvío de un colector de concreto reforzado de 107 centímetros de diámetro en una zona urbanizada”

Con base en lo anteriormente expuesto, y tomando en cuenta tanto la legislación vigente como en la experiencia profesional, en este capítulo se presenta un caso de estudio real. Debido a la confidencialidad de la información y datos de la misma, se omite su localización y otros datos que pudieran llevar a la deducción de la obra en cuestión, por ello, en adelante solo se hará referencia al caso de estudio como desvío del colector nombrado “*Avenida uno*”.

### 2.1. Descripción del proyecto

Este proyecto es una obra hidráulica inducida derivada de la construcción de una obra subterránea de gran importancia para el transporte público de la Ciudad de México. Al elaborar el proyecto ejecutivo de la obra subterránea, se observó que era necesario desviar algunas atarjeas, colectores y líneas de agua potable que pasaban por la zona de influencia de la obra. Por tal motivo se realizó un proyecto ejecutivo para desviar el colector del caso de estudio.

El proyecto del caso de estudio consistió en la construcción de un colector con tubería de concreto reforzado de diámetro nominal de 1.07 metros (42 pulgadas), el cual tiene una longitud total de 530 metros con excavaciones que llegan a profundidades que varían entre los 3.50 y 7.40 metros.

El desvío del colector comienza en la caja de conexión CC-01 (km 0+000), la cual está en el lado poniente de Avenida dos, esta caja intercepta el colector que se encontraba en funcionamiento. La caja de conexión CC-01 tiene una geometría circular debido a la presencia de gasoductos, los cuales reducían el espacio para la construcción de la caja mencionada.

La trayectoria de la tubería de proyecto cruza Avenida dos, usando la caja de deflexión CD-01 (km 0+017) para cambiar el ángulo de la trayectoria ( $45^\circ$ ), llegando a Avenida uno y a la caja de deflexión CD-02, al cambiar la trayectoria, el colector recorre aproximadamente 400 metros para volverse a desviar, utilizando la caja de deflexión CD-03 (km 0+453) la cual desvía  $58^\circ$  la trayectoria del colector en dirección sureste hacia Avenida tres para concluir en la caja de conexión CC-02 (km 0+501).

Al inicio, el proyecto ejecutivo consideraba tener dos cajas de conexión, tres cajas de deflexión y ocho pozos caja (colocados aproximadamente a cada 60 metros de distancia medidos al centro del pozo de visita). Tras la revisión de los sondeos y calas, se identificó que algunos planos proporcionados por las dependencias no tenían la ubicación exacta de los colectores a conectar en las cajas de conexión, es por esto que el proyecto fue modificado.

Es importante destacar que se conservó la sección de la tubería existente, sin embargo, la pendiente se ajustó a fin de limitar la velocidad máxima permisible para evitar erosión excesiva. Con una pendiente de 5 al millar la velocidad de flujo resultó de 2.45 m/seg la cual está dentro del rango de velocidades permisibles para tuberías de drenaje de mínimo 0.60 m/seg y máximo de 3.0 m/seg.

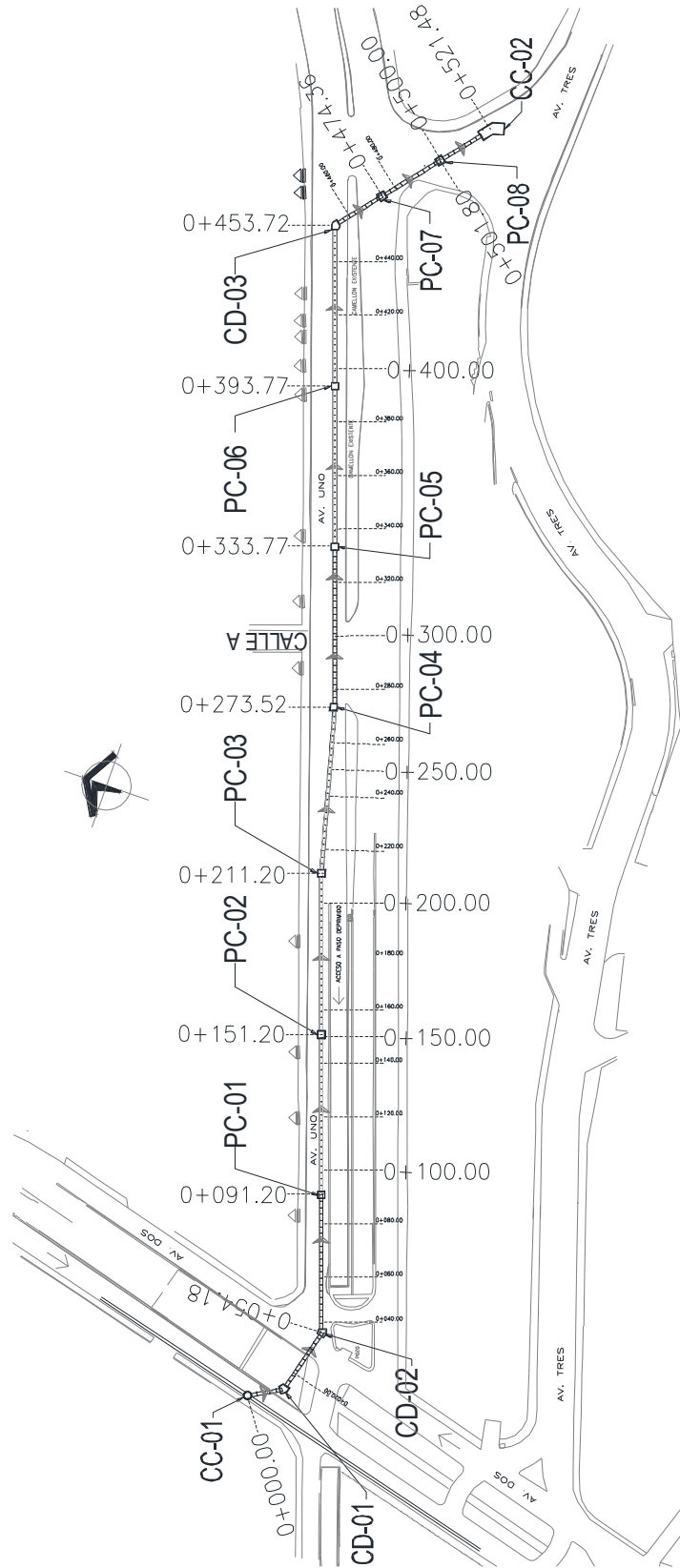
De acuerdo con el diámetro del colector y la pendiente considerada, la capacidad a tubo lleno alcanza 2.20 m<sup>3</sup>/seg.



Por otro lado, algunas de las interferencias de las cuales no se tenía conocimiento fueron apareciendo durante los trabajos de excavación provocando retrasos en los trabajos y cambios en el proyecto. Así mismo el proyecto cambió para evitar el cierre parcial o total de vías primarias en la Ciudad de México.

A continuación, se muestra un dibujo en planta del proyecto original, en el cual se observan los cadenamientos y la ubicación de las cajas de conexión, deflexión y pozos caja.

Figura 15 Croquis en planta del desvío del colector de Avenida uno

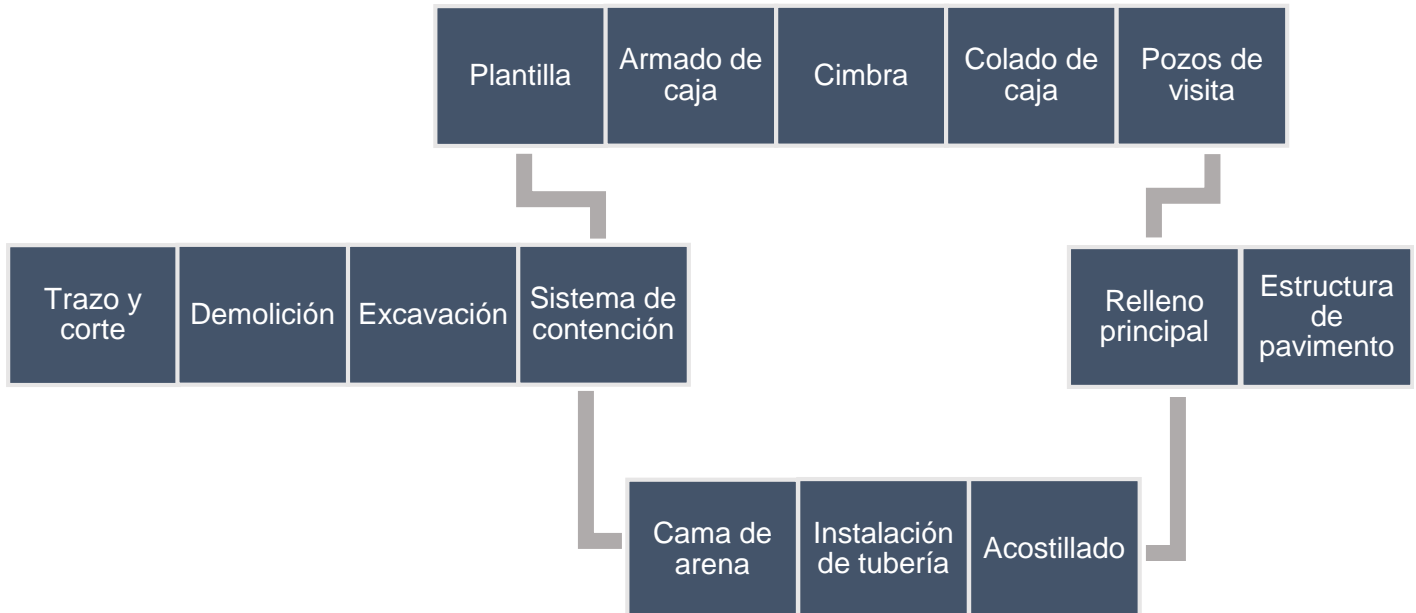


Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

## 2.2. Proceso constructivo

El proceso constructivo del desvío del colector se muestra a grandes rasgos en el Diagrama 2, cabe mencionar que no son todas las actividades que se ejecutaron durante la construcción del colector.

Diagrama 2 Proceso constructivo del colector de concreto reforzado



Fuente: diagrama elaborado por el autor de esta tesis

Más adelante se describe detalladamente cada concepto, así como las herramientas o maquinaria con las que se realizaron dichos trabajos. También se mencionan algunas de las problemáticas encontradas en cada actividad.

## 2.3. Trabajos previos a la construcción del colector

A continuación, se enlistan y se describen detalladamente los trabajos realizados antes de comenzar con el proceso constructivo del colector, así como los trabajos ejecutados previamente a determinadas etapas del proceso antes mencionado.

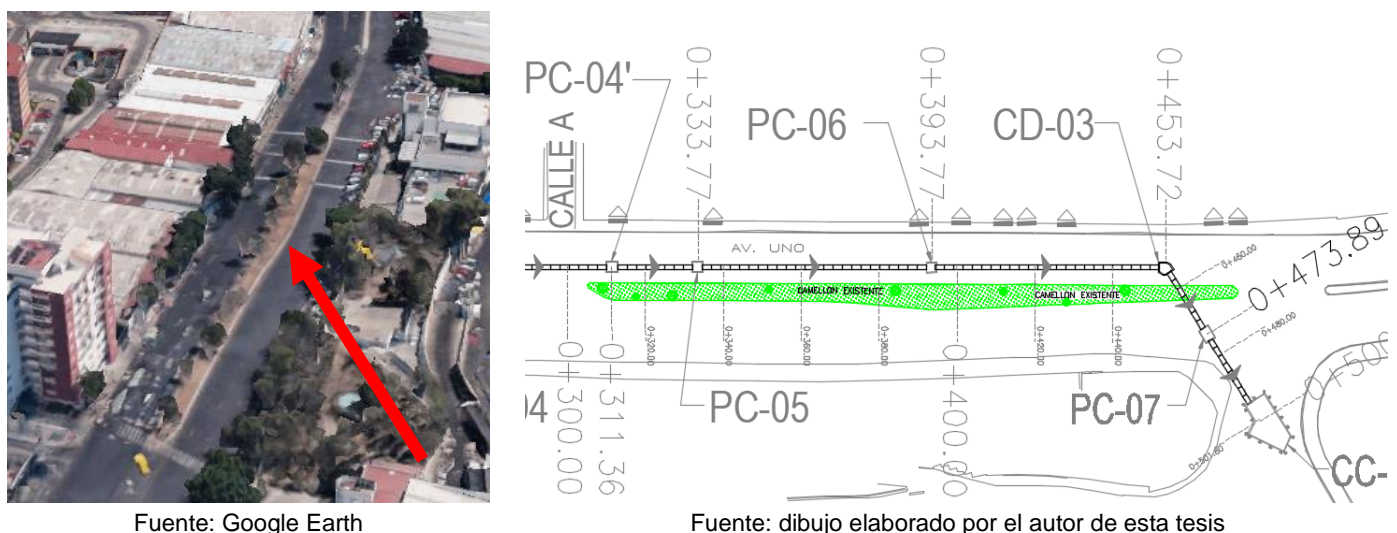
### 2.3.1. Impacto ambiental

Para la realización de esta obra en particular no se elaboró una Manifestación de Impacto Ambiental debido a que no se identificaron árboles que pudieran ser afectados ya que la obra se realizó sobre áreas pavimentadas, derivado de esto se realizó una Declaratoria de Impacto Ambiental.

En la Declaratoria de Impacto Ambiental se especificó el uso de suelo, la maquinaria a emplearse durante la obra, los materiales principales que fueron requeridos para el desvío, personal, obras y servicios de apoyo.

En toda la longitud del colector solamente se tuvieron interferencias con especies arbóreas entre el pozo caja PC-04' y la caja de deflexión CD-03, en esta zona existe un camellón central con algunos árboles.

Figura 16 Ubicación del camellón central de Avenida uno



Fuente: Google Earth

Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

Durante la ejecución de los trabajos se colocaron lonas informativas donde se definió que es el arbolado, su importancia sobre el clima urbano, consecuencias cuando el arbolado es afectado y las medidas de prevención para concientizar a los trabajadores, ya que muchas veces estos no tienen una cultura de cuidado ambiental.

Por el espacio que se tenía entre la zanja y el camellón central fue muy complicado evitar que la maquinaria (excavadoras, retroexcavadoras, pipas de agua, ollas, etc.) no golpearan alguna rama y la rompieran, los troncos estaban delimitados con varillas y malla de seguridad por lo que estos no fueron afectados.

Otro aspecto que no se ha mencionado en el texto es la generación de ruido, el cual según la NADF-005-AMBT-2013, el límite máximo permisible es de 65 dB(A) de las 6:00 a 20:00 horas y de 62 dB (A) de las 20:00 a 6:00 horas. Se intentó en medida de lo posible no rebasar el límite mencionado, sin embargo, esto no fue posible debido a que la maquinaria generaba un nivel mayor de ruido según las especificaciones del fabricante. A continuación, se muestra una tabla con estos datos.

*Tabla 9 Nivel de ruido de la maquinaria empleada en la obra según fabricantes*

Equipo	Nivel de ruido (dB) A 15 metros
Retroexcavadora	84-95
Compactadora	75
Motoconformadora	75
Camión de carga	60
Pipa de agua	60

Fuente: tabla elaborada por el autor de esta tesis

Como medida preventiva a la contaminación del aire se realizaron riegos con agua tratada durante los trabajos de excavación para evitar polvaredas que resultaban molestas a los vecinos de la obra y la gente que transitó por la zona de obra.

### 2.3.2. Sondeos y calas

Se realizaron calas para ubicar para ubicar los colectores de 107 y 213 centímetros de diámetro que se conectaron a la caja de conexión CC-02, también tuberías de Gas Natural y PEMEX, estos trabajos se ejecutaron sobre Avenida uno.

*Figura 17 Calas realizadas para ubicar tubería de gas natural y colector existente*

Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Gracias a los sondeos se pudieron ubicar dos tuberías de agua potable (4" de asbesto cemento y 12" de polietileno de alta densidad) que recorren por toda la Avenida uno junto al colector de proyecto, así mismo las canalizaciones de las compañías de cable.

Al efectuar la cala para encontrar el colector de 213 centímetros que se conectó a la caja de conexión CC-02 no se encontró en donde el proyecto ejecutivo marcaba, por lo que se procedió a ampliar la cala hasta encontrar el lomo de la tubería, debido a esta situación el proyecto fue modificado, la caja de conexión CC-02 se recorrió aguas arriba, eliminando el pozo caja PC-08.



### 2.3.3. Señalización temporal para protección en zona de obras

Para poder colocar la señalización se elaboraron varios proyectos con planos en planta con la ubicación y el tipo de señalamiento a colocar en la zona de obra. Estos se elaboraron de manera independiente para cada zona de obra o etapa de construcción del desvío del colector.

*Figura 18 Señales informativas colocadas en la zona de obra*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Estos planos se presentaron ante las autoridades y las dependencias de vialidad y seguridad en la Ciudad de México para su revisión y aprobación, una vez firmados por los responsables de cada área, los señalamientos se fabricaban con las especificaciones del Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad (SCT, 2014) y se comenzaban a colocar con base en los detalles constructivos de los planos.

Uno de los conflictos que se presentó constantemente durante la ejecución de la obra fue que en predios aledaños al desvío del colector existían obras de vivienda vertical que también contaban con señalamiento vertical, lo cual causaba que existiera incongruencia en las señales colocadas por este proyecto.

*Figura 19 Barreras fijas colocadas en serie usadas para canalizar tránsito*

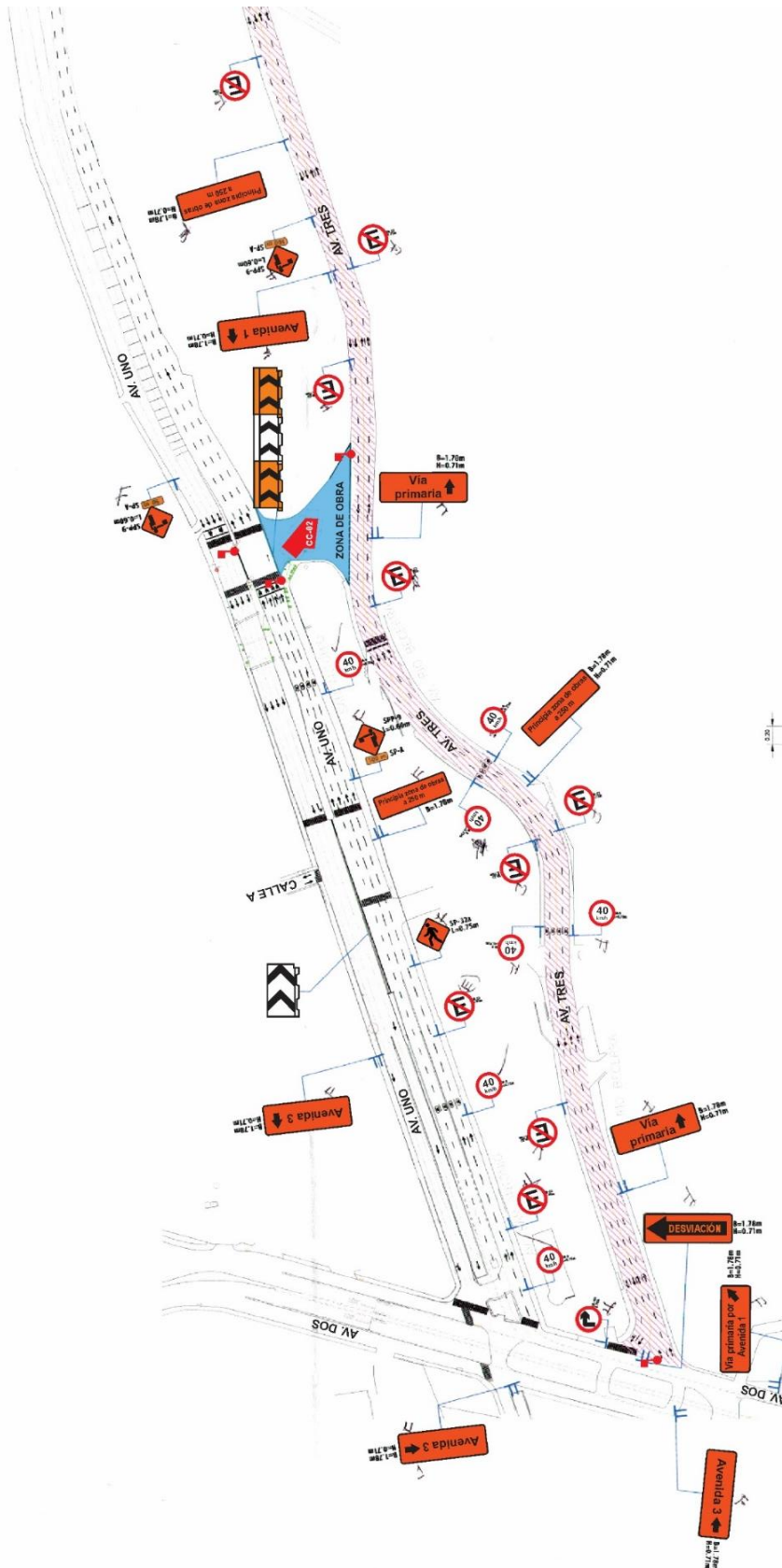
Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Durante los trabajos de pintado de señalamiento horizontal se observó que la pintura, a pesar de ser la especificada en proyecto, se despintaba aproximadamente a los dos días de haberse aplicado sobre la carpeta asfáltica. Esto generaba que durante algunos días no hubiera señalamiento horizontal como pasos peatonales, zonas de espera para vehículos no motorizados y motocicletas, etc.

En la figura 20 se muestra el ejemplo de uno de los planos en planta antes mencionados, en este se observa la ubicación de los letreros, barreras y personal de apoyo vial que se empleó para poder realizar el cierre de la gaza de incorporación de Avenida tres hacia Avenida uno, ya que fue necesario confinar completamente la zona por las dimensiones de la caja de conexión CC-02.

Otro conflicto que se presentó constantemente fue el robo de las láminas de las señales; esto provocó que los cierres viales no se pudieran realizar cuando se tenían contemplados ya que era muy complicado contar con todo el señalamiento vertical colocado a la hora de realizar el recorrido con las dependencias gubernamentales que regulan las vialidades.

Figura 20 Señalamiento de desvío de tránsito para realizar el cierre de gaza de incorporación de Av. tres hacia Av. uno



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis



### 2.3.4. Confinamiento de zona de obra

Antes de confinar la obra fue necesario ubicar el almacén y las oficinas de obra para poder comenzar a estibar materiales. Este se ubicó en la gaza de incorporación de Avenida tres hacia Avenida uno, en zonas aledañas a la caja de conexión CC-02.

Dentro de estas zonas confinadas fue necesario contar con instalaciones sanitarias como baños móviles para uso del personal que laboró en la obra.

*Figura 21 Almacén y oficinas en obra*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Se colocaron tapiales, barreras plásticas y de concreto a lo largo de la Avenida uno, estos se fueron recorriendo con forme la obra fue avanzando.

Se empleó tapial con altura de 2.00 metros desde la caja de deflexión CD-03 (km 0+453) hasta el pozo caja PC-04' (km 0+311). El tapial solamente se colocó en esa zona debido a la entrada y salida de vehículos en Calle A, esta es el ingreso a una unidad habitacional.

*Figura 22 Zona de obra confinada con tapial y barreras de concreto desde CD-03 a PC-04'*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

En la zona mencionada se retiró el tapial una vez que la base de la estructura de pavimentos fue liberada por el laboratorio de la empresa constructora.

También se empleó tapial con altura de 2.00 metros en la zona aledaña a la caja de deflexión CD-01 (km 0+017), en esta zona se confinó todo el camellón central del bajo puente de Avenida dos.

### 2.3.5. Adecuaciones viales

Para la construcción del desvío del colector fue necesario modificar la vialidad, es decir, se realizaron demoliciones en camellones para crear retornos sobre Avenida Uno, se amplió el radio de giro en Avenida Dos en su cruce con Avenida Uno, se amplió un retorno sobre Avenida Uno, también se construyeron topes como reductores de velocidad sobre Avenida Uno.

A continuación, en diferentes figuras se ilustran las modificaciones realizadas a la vialidad.

### Ampliación de radio de giro

Sobre Avenida dos esquina con avenida uno fue necesario demoler guarnición para ampliar el radio de giro de Avenida dos para que los camiones con cajas pudieran girar desde los carriles sur de avenida uno ya que los carriles norte de avenida uno estaban cerrados por los trabajos de la construcción del colector de proyecto.

Figura 23 Ampliación de radio de giro sobre Avenida dos



Fuente: fotografías y dibujo elaborados por el autor de esta tesis



El terreno se niveló con relleno fluido  $f'c=20 \text{ kg/cm}^2$  para posteriormente realizar riego de liga y poder colocar la superficie de rodamiento de mezcla asfáltica en caliente, la cual se compactó con un rodillo liso de 500 kilogramos.

## Construcción de retorno

Figura 24 Retorno realizado sobre Avenida uno

Se demolió guarnición del camellón central de Avenida uno para poder construir un retorno, esto debido a que el más cercano se encuentra aproximadamente a 800 metros de distancia, su objetivo fue contar con un retorno por si era necesario cerrar en su totalidad los carriles norte de Avenida uno.

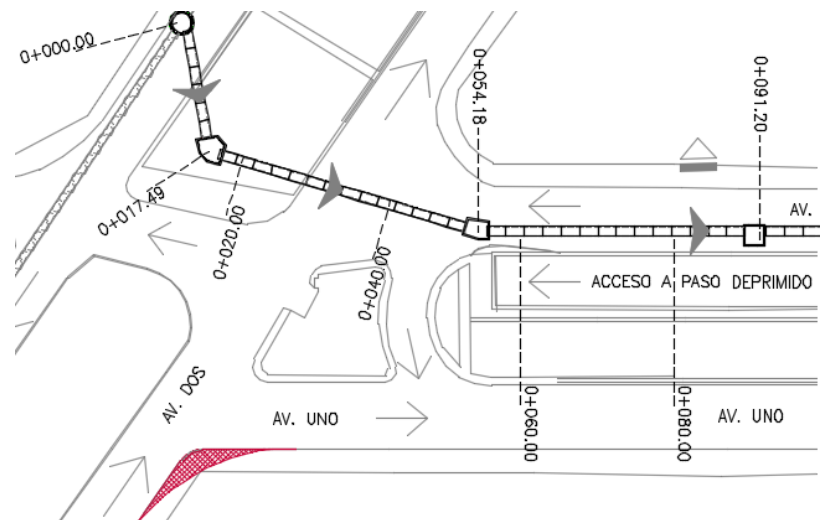
En la figura 23 se puede observar el retorno ya asfaltado pero fuera de funcionamiento.



Fuente: fotografía tomada por el autor de esta tesis

## Demolición de guarnición

Figura 25 Demolición de guarnición sobre Avenida uno



Se demolió guarnición y banqueta para poder ampliar el radio de giro de Avenida dos hacia Avenida uno, ya que resultaba muy complicado que el transporte pesado diera vuelta en esta zona.

Fuente: fotografías y dibujo elaborados por el autor de esta tesis



### 2.3.6. Desvío de líneas de agua potable

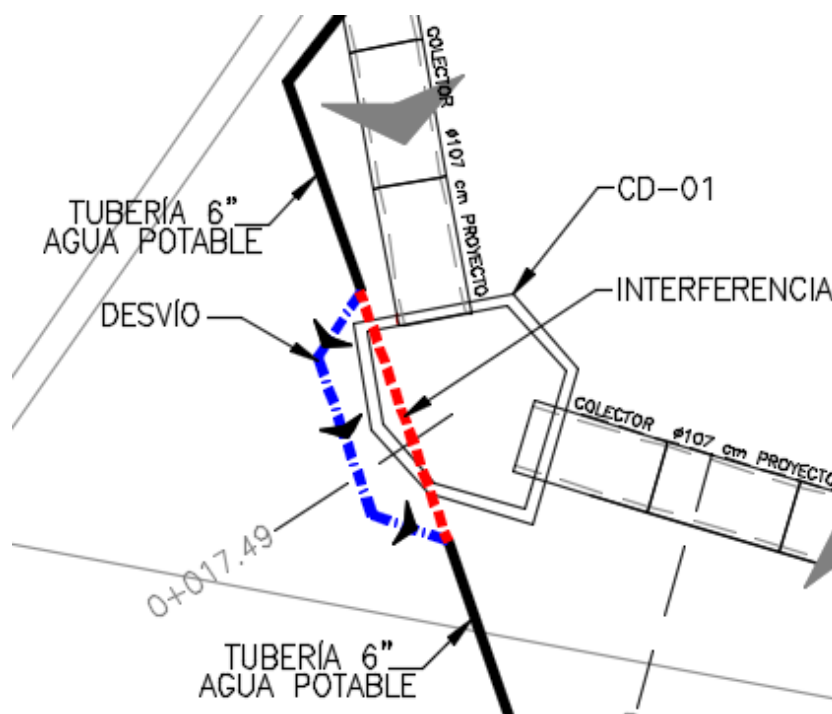
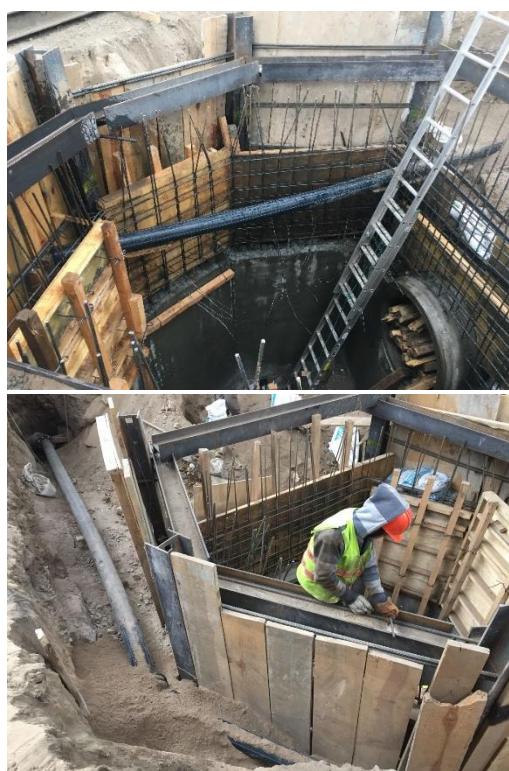
Aunque los trabajos que se mencionan a continuación no fueron realizados previo a la obra, se tuvieron que realizar previo o durante la construcción de las cajas de deflexión CD-01 y conexión CC-01 y CC-02.

Para construir estas cajas se realizaron desvíos de líneas de agua potable, ya que debe existir una separación mínima entre estas instalaciones y aparte generaban interferencia con los trabajos de construcción.

#### Caja de deflexión CD-01

Durante la excavación de la caja de deflexión CD-01 se encontró una tubería de agua potable de 6 pulgadas de diámetro que quedaba al interior de la caja, por lo que fue necesario desviarla por fuera de caja, en la figura 23 se observa el pequeño desvío que se efectuó.

Figura 26 Desvío de tubería de agua potable de 6" en CD-01



Fuente: fotografías y dibujo elaborados por el autor de esta tesis

El material empleado para este desvío fue el siguiente:

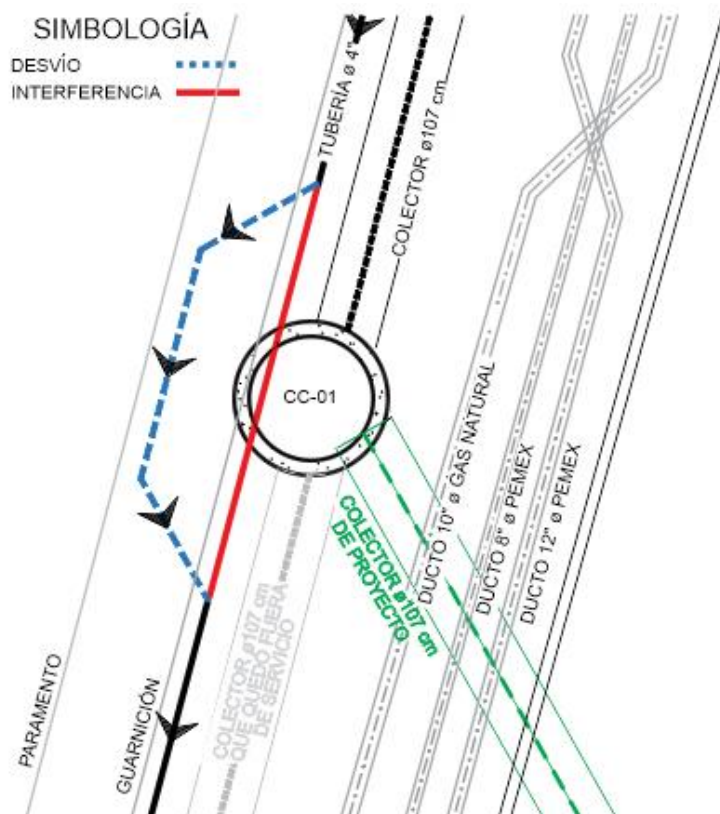
- Tubería de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) de 6 pulgadas (15 centímetros), RD-17<sup>13</sup>
- 4 codos a 45° de fierro fundido (FoFo) para una presión de trabajo de 125 PSI
- 6 stub end de polietileno de 6 pulgadas
- Contra-bridas

<sup>13</sup> El término RD, utilizado como referencia para establecer las diferentes clasificaciones de las tuberías de polietileno según su rango de presión de trabajo, es la abreviatura de relación de dimensiones. Esta se refiere a la proporción que existe entre el diámetro exterior y el espesor mínimo de pared del tubo (Morales, 2017).

- Carro termofusionador
- Equipo esférico de termofusión
- Los atraques fueron de concreto elaborado en obra con resistencia a la compresión  $f'c=150$  kg/cm<sup>2</sup>

## Caja de conexión CC-01

Figura 27 Desvío de línea de agua potable de 4" en CC-01



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

En la caja de conexión CC-01 se encontró una tubería de asbesto cemento de 4" que transportaba agua potable, la cual no se tenía contemplada en el proyecto ejecutivo; tampoco el sistema regulador de aguas en la ciudad conocía de esta, debido a que era una línea que la delegación había construido (por sus propios medios y sin autorización del sistema regulador) años atrás.

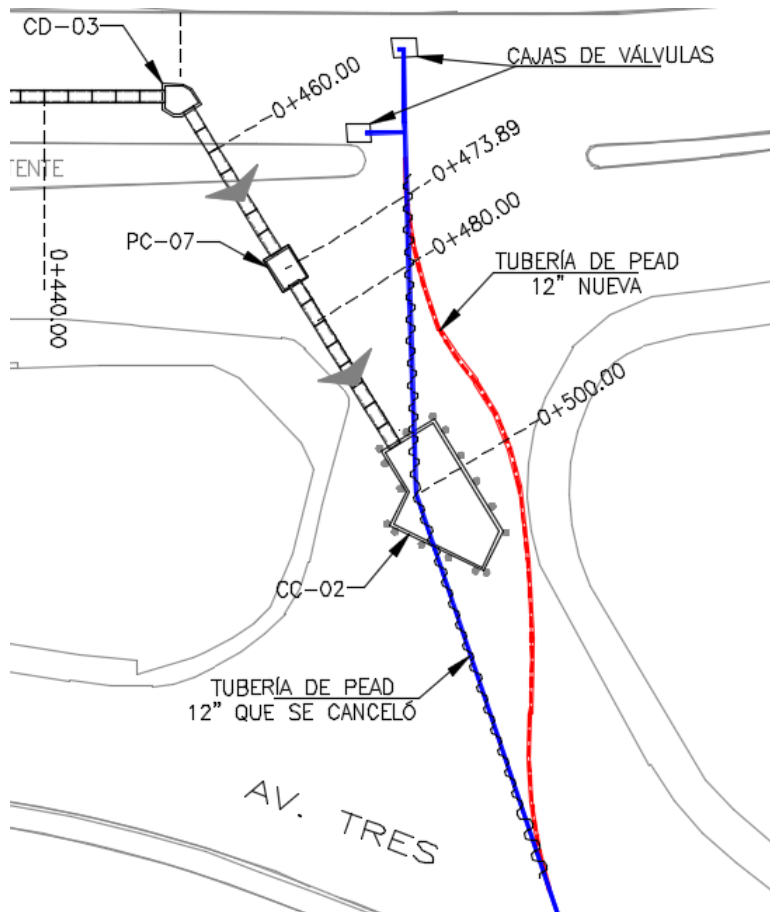
Al realizar una cala para verificar la profundidad del colector de 107 centímetros existente, se halló dicha tubería por lo cual se tuvo que realizar un proyecto para desviar la trayectoria del conducto de agua potable. En la figura 27 se aprecia un croquis del proyecto antes mencionado, en la cual se observa la caja de conexión CC-01 (figura circular) y dos líneas, la primera (color azul) punteada es el desvío y la segunda (color rojo) línea continua es la parte que se retiró.

Los materiales empleados en el desvío ya no fueron de asbesto cemento, las piezas especiales y válvulas que se utilizaron fueron de fierro fundido (FoFo) para una presión de trabajo de 125 PSI y el material de la tubería fue Polietileno de Alta Densidad RD-21 de 4 pulgadas (10 centímetros). Los atraques se construyeron con concreto de resistencia a la compresión  $f'c=150$  kg/cm<sup>2</sup>.

## Caja de conexión CC-02

Previo a la construcción de la caja de conexión CC-02 se desvió una línea de agua potable de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) 12 pulgadas de diámetro ya que esta quedaba dentro de la caja mencionada. El desvío consistió en rodear la caja de conexión CC-02, se unieron 8 tubos de 6 metros para realizar este desvío.

Figura 28 Desvío de tubería de agua potable de PEAD de 12"



Fuente: fotografías y dibujo elaborados por el autor de esta tesis

La tubería de 12 pulgadas fue unida por medio de termofusión<sup>14</sup>, la prueba de hermeticidad no se realizó como lo marca la norma NOM-001-CONAGUA-2011, ya que esta menciona que la tubería debe estar instalada y si los atraques son de concreto, esta prueba debe ser realizada 5 días después de haber colado el último atraque.

Los trabajos de demolición y excavación de la zanja fueron elaborados con una retroexcavadora CASE 580M, la zanja tenía 0.85 metros de base y corona, y una profundidad de 1.60 metros. Como

<sup>14</sup> "Método de soldadura simple y rápido, para unir tubos de polietileno y sus accesorios. La superficie de las partes que se van a unir se calientan a temperatura de fusión y se unen por aplicación de presión, con acción mecánica o hidráulica, de acuerdo al tamaño de la tubería y sin usar elementos adicionales de unión" Grupo Sitsa (2010).



la línea cruzaba por la gaza de incorporación de Avenida tres hacia Avenida uno fue necesario colocar placas de acero con espesor de 1" para que el tránsito no se viera afectado por la zanja.

En la figura 29 se puede apreciar (en ambas fotografías) la tubería nueva con codos de fierro fundido de 22° y 45°, la tubería que quedó fuera de servicio y uno de los atraques colados.

Figura 29 Tubería de agua potable de 12"



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

El material empleado para realizar este desvío fue el siguiente:

- Tubería de Polietileno de Alta Densidad 12 pulgadas
- 1 codo de fierro fundido a 22°
- 1 codo de fierro fundido a 45°
- 4 contra-bridas
- 4 stub end
- Carro termofusionador
- Equipo esférico de termofusión
- Los atraques fueron de concreto reforzado con resistencia a la compresión  $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$  y varillas corrugadas del número 4 o  $\frac{1}{2}$  pulgada.

Figura 30 Zanja con relleno

La tubería se acostilló con arena la cual se compactó manualmente con pisones fabricados en obra con varilla y placa de acero de  $\frac{1}{2}$  pulgada.

Por otro lado, la zanja se rellenó con tepetate y se compactó con apisonadores manuales también conocidas como bailarinas (ver figura 30) para lograr el grado de compactación especificado en el proyecto.



Fuente: fotografía tomada por el autor de esta tesis

## Prueba de hermeticidad hidrostática

Figura 31 Prueba de hermeticidad hidrostática



Fuente: fotografía tomada por el autor de esta tesis

Para realizar esta prueba se colocaron tapas en ambos lados de la tubería, esta se llenó con agua potable un día antes de realizar la prueba para verificar que no hubiera filtraciones por las juntas.

El día de la prueba la tubería se cargó a una presión constante de  $14.00 \text{ kg/cm}^2$  durante dos horas, en las cuales se tomó la lectura en los manómetros cada 20 minutos. Al no tener variación en todas las lecturas la tubería se consideró hermética.

## 2.4. Trazo y corte

La topografía jugó un papel primordial en la construcción del colector, por eso los trazos fueron realizados por una brigada de topografía, la cual estuvo presente durante todo el desarrollo de la obra. Los trazos eran marcados con aerosol las veces que fueran necesarias para ejecutar correctamente los trabajos.

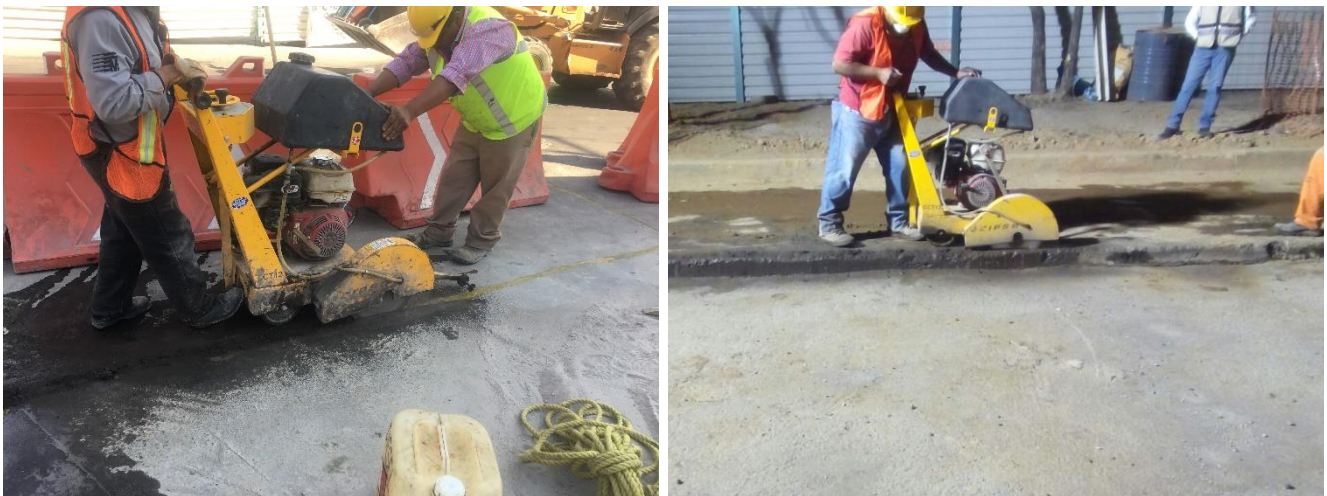
Se realizaba el trazo del eje de la tubería, las cajas de conexión, deflexión y pozos caja, el lugar donde se realizaron las perforaciones para la colocación de vigas IR, las interferencias que existieran, etc.



*Figura 32 Trazos realizados por brigada de topografía*

Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Una vez que el trazo estaba conciliado por la parte constructora y su supervisión, se procedía a realizar el corte con sierra circular para cuidar el trazo durante las demoliciones. Este corte tenía una profundidad de 10 centímetros lo cual era suficiente para cortar todo el espesor de la carpeta asfáltica (ver figura 33).

*Figura 33 Corte con sierra circular a una profundidad de 10 centímetros*

Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

En algunas partes en donde se realizó el corte se cortaron tomas de agua potable de 1 pulgada de diámetro debido que éstas estaban a muy poca profundidad, esto generó conflictos con los vecinos de la zona ya que las reparaciones de estas eran efectuadas por personal especializado del sistema de aguas y en ocasiones tardaban más de un día para poder reparar estas instalaciones por falta de material.



## 2.5. Demolición

En el desvío del colector de Avenida uno, se tenía carpeta de mezcla asfáltica como superficie de rodamiento, por lo que fue necesario tener una retroexcavadora con martillo hidráulico (ver figura 34) para realizar este concepto.

*Figura 34 Demolición de carpeta asfáltica, se observa que no se realizó corte con sierra circular*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Esta demolición solo se realizó en la superficie de rodamiento, ya que unos 30 centímetros por debajo se encontraban otras dos capas de carpeta asfáltica de unos 10 centímetros de espesor, dichas capas se demolieron con las excavadoras ya que resultaba más sencillo hacerlo de esta forma.

### 2.5.1. Carga y acarreo de material producto de excavación y demolición

Una vez que la demolición y la excavación fue realizada es necesario retirar todo el material que se produce de dichas actividades, por lo que era importante tener una logística eficiente para que nunca se acumularan estos materiales.

Durante el transcurso de la obra, fue importante conocer el rendimiento real de las diferentes máquinas excavadoras para tener contemplado cuantos camiones se utilizarían al día para retirar el material, también se tenía que prever el espacio que utilizarían los camiones debido a que la obra se realizó en una zona urbana y el estacionarlos en ciertos lugares causaban conflictos viales, muchas veces se optó por realizar dicha actividad en las madrugadas.

Figura 35 Carga de material producto de excavación y demolición



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Uno de los problemas que se presentó en esta actividad fue la intermitencia de los sindicatos que regulan este servicio, el cual era poco confiable.

## 2.6. Sistemas de contención para excavaciones

En esta obra se emplearon dos tipos diferentes de sistemas de contención, en la construcción de la caja de conexión CC-02 se emplearon pilas de contención y concreto lanzado en las paredes de la excavación.

El otro método empleado fue el muro Berlín a lo largo de la excavación, este método se comenzó a utilizar desde el km 0+120 hasta el km 0+000<sup>15</sup>, posteriormente se empleó entre el pozo caja PC-07 y la caja de conexión CC-02.

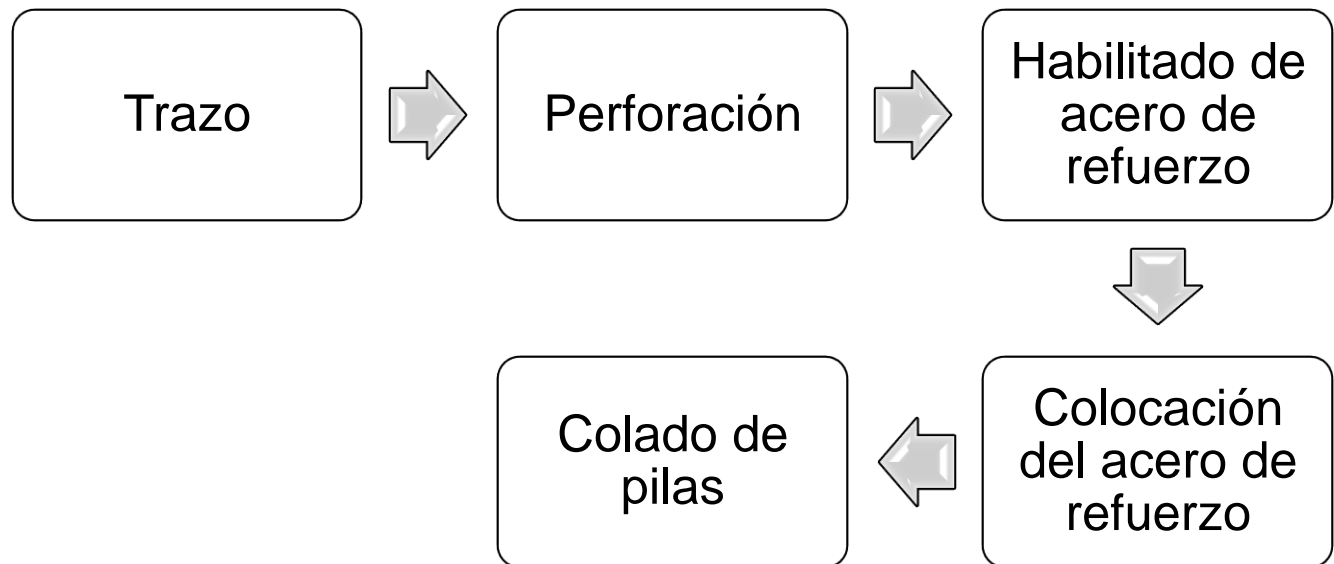
En el km 0+120 se observó que el suelo no estaba consolidado (existía material colocado a volteo), debido a esto la constructora decidió emplear el muro berlín como sistema de contención del terreno para brindar seguridad a los trabajadores y prevenir accidentes.

---

<sup>15</sup> Se menciona primero el km 0+120 debido a que la construcción del colector se realizó de aguas abajo hacia aguas arriba.

### 2.6.1. Pilas de contención

Diagrama 3 Resumen de conceptos a realizar para la construcción de pilas de concreto reforzado



Fuente: diagrama elaborado por el autor de esta tesis

Con la ayuda de la brigada de topografía se localizaron y se trazaron los puntos exactos en donde se construyeron las pilas. Después se realizaron las perforaciones necesarias con diámetro de 70 centímetros utilizando una perforadora de rotación Kelly sobre orugas marca Bauer BG 20 H (ver figura 36).

Figura 36 Armado de las pilas de concreto en el perímetro de caja de conexión CC-02



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Mientras se realizaron las perforaciones se habilitó el acero de refuerzo para las pilas, el armado estaba formado por varillas corrugadas del número 6 ( $\frac{3}{4}$ " ) y estribos del número 3 a cada 15 centímetros, estos se observan en la figura 36.



Posteriormente se colocaba el armado dentro de la perforación y se procedía a colar la pila hasta nivel de terreno natural. Como las pilas quedaban sobre la gaza de incorporación de Avenida tres hacía Avenida uno fue necesario colocar placas de 1 pulgada sobre la cabeza de las pilas para que los vehículos pudieran transitar por la zona.

Una vez que las pilas adquirieron su resistencia, se procedió a realizar la excavación de la caja de conexión CC-02, mientras los trabajos de excavación fueron bajando fue necesario colocar malla electrosoldada 6x6 10/10 y concreto lanzado con una resistencia a la compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup> sobre las paredes de la excavación para contener el terreno entre las pilas de concreto.

### 2.6.2. Muro Berlín

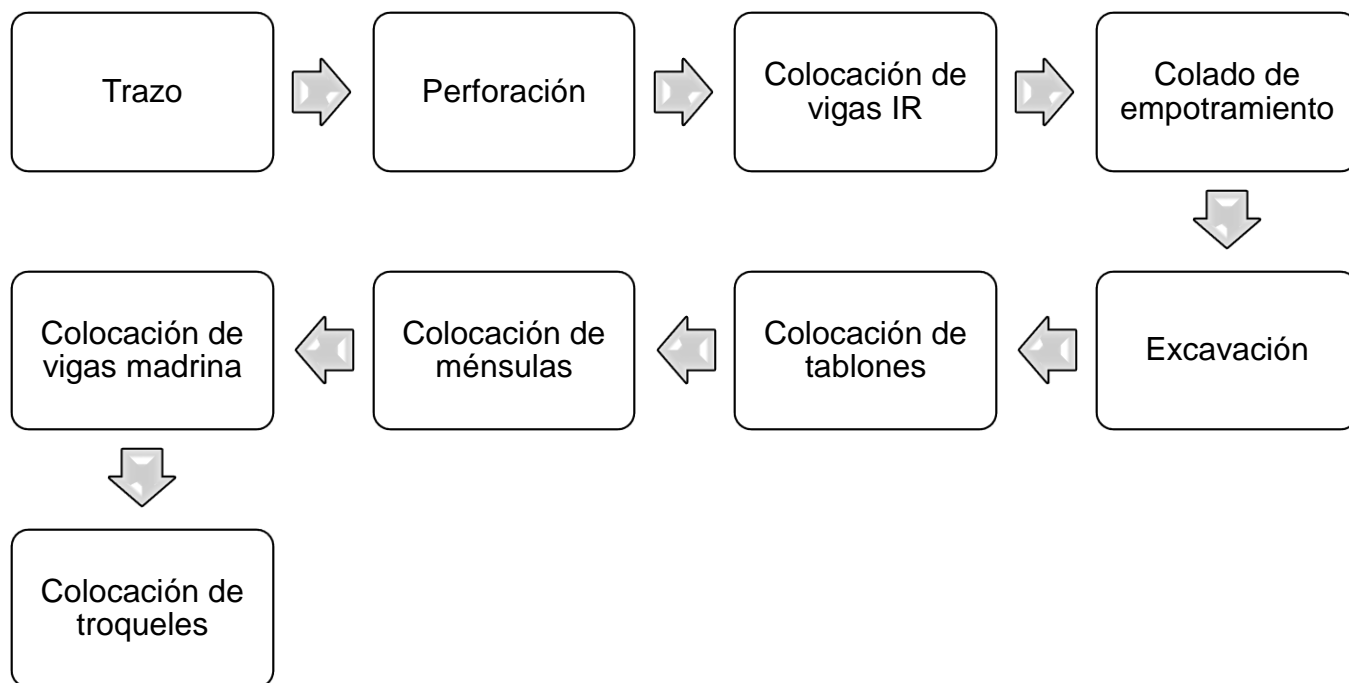
Aunque el proceso tiene sus etapas constructivas muy bien definidas, se puede efectuar de dos formas diferentes

- Realizando perforaciones en el suelo y empotrando las vigas, o
- Hincando las vigas.

En el desvío del colector se realizaron perforaciones en el suelo para evitar el uso de vibrohincadores, los cuales son ruidosos y generan molestia a los vecinos de la obra.

El proceso constructivo del muro Berlín empleado en la construcción del desvío del colector de Avenida uno fue el siguiente.

Diagrama 4 Proceso constructivo del muro Berlín



Fuente: diagrama elaborado por el autor de esta tesis

Antes de comenzar con las perforaciones, la brigada de topografía se encargó de trazar el lugar exacto donde se realizaron las perforaciones.

Se realizaron las perforaciones en el suelo con máquinas perforadoras rotatorias con sistema de Kelly (barretón) montadas sobre camión, es importante destacar que estas máquinas tuvieron dificultades para operar en la zona debido a las interferencias aéreas (cableado de energía eléctrica, voz y datos) que existían.

*Figura 37 Perforación en el suelo para construir muro Berlín como sistema de contención*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Una vez perforado a la profundidad de proyecto, aproximadamente 6 metros del km 0+120 al 0+000 y 8 metros del km 0+475 al 0+495 se colocaron perfiles (vigas) IPR 8" x 8 1/2", asegurando que el alma del perfil IR quedara alineada perpendicularmente al muro de la excavación para poder colocar los polines y los tablonés entre los patines del perfil de acero.

*Figura 38 Colocación de viga IR en perforación, trabajos previos a la excavación de zanja para tubería*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis



Posterior a la colocación de las vigas, es decir, cuando estuvieron dentro de las perforaciones, se procedió a colar el empotramiento con relleno fluido (ver figura 39) con resistencia a la compresión  $f'c = 20 \text{ kg/cm}^2$ . Este empotramiento tenía como mínimo una altura de 2 metros, la cual se aseguraba midiendo las diferencias de altura antes y después del colado.

Figura 39 Colocación de relleno fluido en perforaciones con vigas IPR para construir el muro Berlín.



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Cuando las vigas IPR<sup>16</sup> estaban coladas, se podía comenzar a realizar la primer etapa de excavación, esto con el fin de comenzar a colocar los tablonces que forman la pared flexible. Al ir bajando el nivel de la excavación se deben ir calzando los tablonces con varillas de acero, polines o cuñas de madera; las varillas o polines se colocan en dos o tres niveles, dependiendo la profundidad de la excavación.

Figura 40 Colocación de tablonces, varillas y polines para formar pared flexible del muro berlín.



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

<sup>16</sup> Se denominan así por sus siglas en español "I" Perfil Regular ya que sus patines son rectangular uniforme (no varía el espesor).



Al tener colocados los tablonces en su lugar se procedía a instalar ménsulas que soportaron las vigas madrina y puntales para transmitir los empujes del suelo al muro Berlín. Durante la construcción del colector las ménsulas fueron fabricadas en obra de diferentes maneras.

- soldando varillas del número 8 o 1 pulgada formando la escuadra e insertándola en un orificio hecho en los patines de las vigas IPR
- soldando placas de acero de 1 pulgada de espesor formando una escuadra y soldándolas directamente a uno de los patines de las vigas IPR
- realizando un orificio en ambos patines de la viga IPR y simplemente colocando una varilla del número 8 o 1 pulgada

Cuando las ménsulas eran instaladas, se procedía a apoyar las vigas madrina (vigas IPR de 8”), las cuales eran izadas con estrobos o eslingas y simplemente apoyadas en las ménsulas, cuidando que uno de los patines de la viga IPR estuviera completamente en contacto con el patín de la viga IPR empotrada en el suelo de forma vertical.

Para concluir el procedimiento se colocaban los puntales, los cuales eran perfiles OCC (tubos circulares), los cuales habían sido habilitados con una ceja soldada para poder empatar con el patín de las vigas IPR madrina.

## 2.7. Excavación

Estos trabajos se realizaron con excavadoras CAT 319 D y 320 C (ver figura 41), estas se eligieron debido a que la longitud del brazo era la necesaria para alcanzar el nivel de desplante de la cama de arena.

Cabe mencionar que la obra se realizó en zona de lomas, por lo que el nivel freático se encontraba por debajo del promedio de excavación, por este motivo no se utilizó algún método de abatimiento del nivel freático.

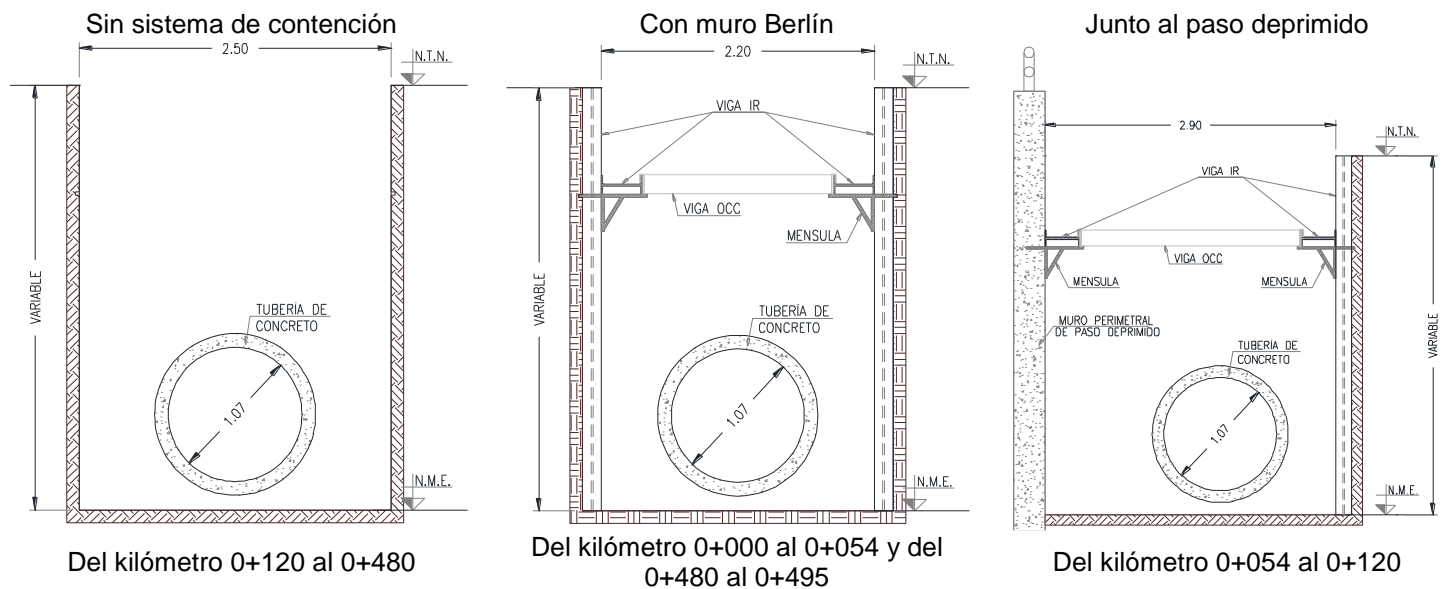
*Figura 41 Excavación de zanja con retroexcavadora CAT 320 D.*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

La sección transversal de la excavación no fue la misma en toda la longitud del colector, del kilómetro 0+000 hasta el 0+120 se utilizó el muro Berlín como sistema de contención de las paredes de la excavación, del km 0+120 al 0+480 no se empleó algún sistema de contención, en los lugares donde el terreno era muy inestable se procedía a colocar malla electrosoldada 6x6 4/4 y concreto lanzado  $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ , del km 0+480 al 0+495 (al paño exterior de la caja de conexión CC-02 se utilizó muro Berlín, la caja de conexión CC-02 utilizó pilas y concreto lanzado como contención de las paredes de excavación. En la figura 42 se pueden observar las diferentes secciones transversales que se manejaron durante el proyecto, cabe aclarar que las reales tenían variaciones de hasta 10 centímetros.

Figura 42 Secciones transversales en excavación de zanjas



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

Es necesario observar que del tramo comprendido entre los kilómetros 0+120 al 0+480 no se respetó la norma NOM-STPS-031-2011 en su apartado 11.2 “medidas de seguridad durante las actividades de excavación” inciso g) ya que esta menciona los taludes que debe de tener la excavación dependiendo el tipo de suelo, así como en su inciso h) el cual habla de estabilizar las paredes de la excavación cuando estas tengan más de 1.50 metros de profundidad. El hecho de no respetar estas normas puso en riesgo la integridad de los trabajadores de la obra, lo cual debería de ser prioridad en cualquier trabajo.

Uno de los problemas importantes que se presentaron durante estos trabajos fue la lluvia, la cual inundaba la excavación, saturaba el material de relleno e impedía que los trabajos se ejecutaran de manera continua. Otro problema constante fue la falta de cuidado de los operadores de la excavadora, lo cuales rompieron en varias ocasiones las líneas de agua potable mencionadas en el capítulo 2.3.2 *Sondeos y calas* de este texto.

### 2.7.1. Interferencias en la excavación

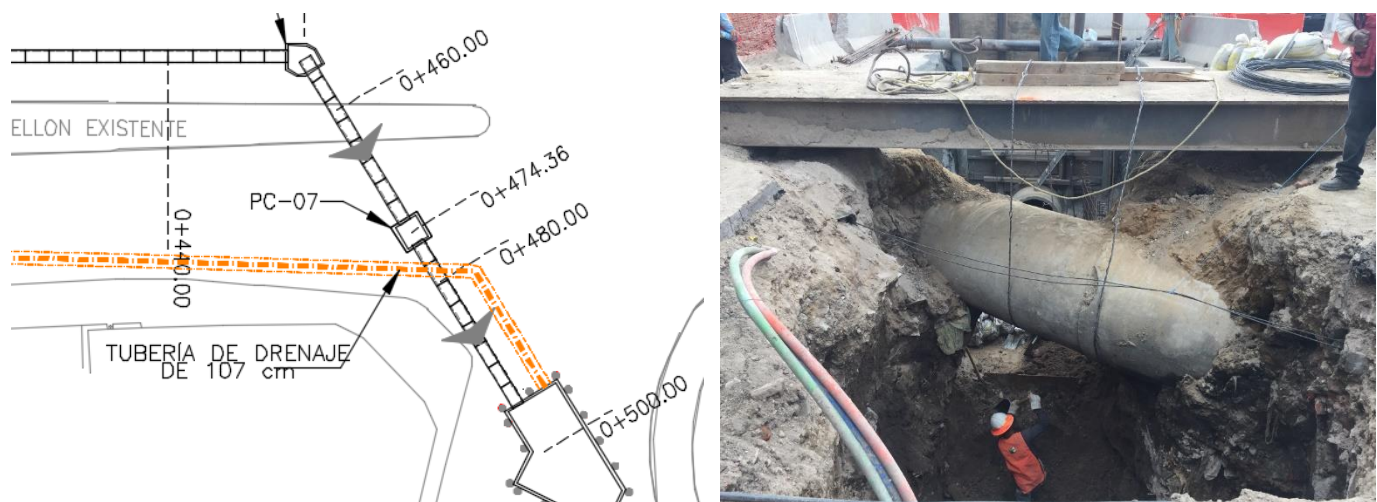
Durante los trabajos de excavación se encontraron diferentes instalaciones, algunas de estas estaban contempladas en el proyecto ejecutivo, otras se identificaron hasta que los trabajos de excavación llegaron a estas.

A continuación, se muestran algunas de las interferencias mencionadas anteriormente.

#### Tubería de drenaje de $\Phi$ 107 centímetros

Aguas abajo del pozo caja PC-07 se tuvo que colgantear un colector de 107 centímetros de diámetro para poder cruzar por debajo de este, en la figura 43 se observa la ubicación y una ilustración de este colector.

Figura 43 Colector de 107 cm que se ubica entre PC-07 y CC-02



Fuente: fotografía y dibujo elaborado por el autor de esta tesis

En la figura 43 se puede observar que el colganteo fue deficiente ya que este se realizó con alambón, lo cual funcionó, pero no fue lo ideal debido a la seguridad de estos.

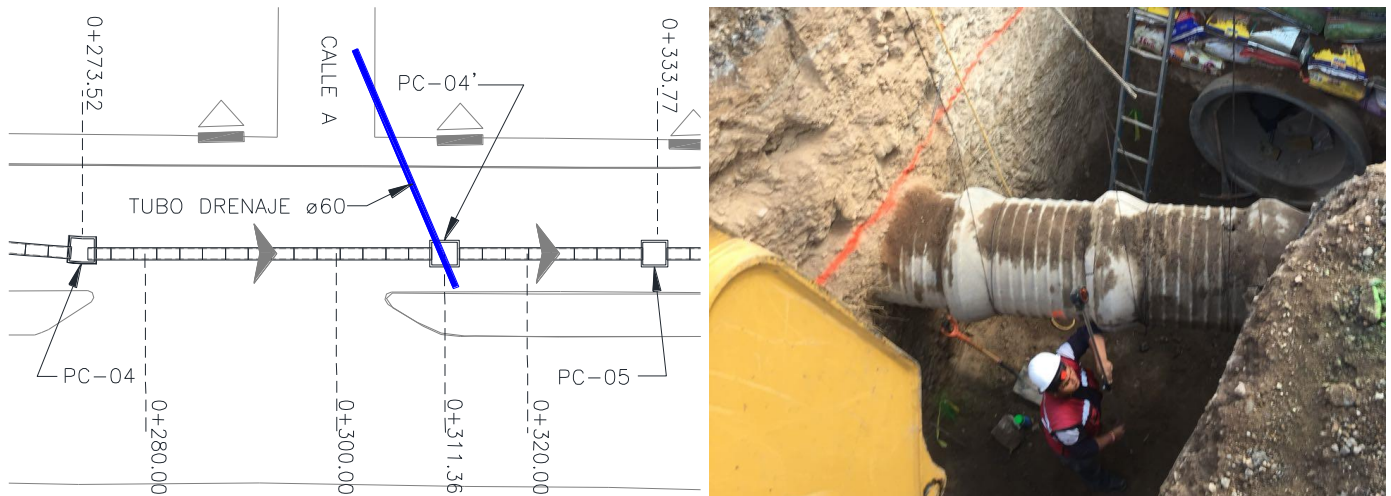
#### Tubería de colector pluvial de $\Phi$ 61 centímetros

En el km 0+311.36 no se tenía contemplada tubería de drenaje de  $\Phi$  61 centímetros que cruzaba con el eje de desvío de colector. Esta tubería sale desde la calle A, cruzando Avenida uno (ver Figura 44).

La interferencia que generó esta tubería de 61 centímetros provocó que se construyera un pozo caja no contemplado en el proyecto original, la cual se denominó pozo caja PC-04'. La decisión de construir un pozo nuevo fue para que la tubería de 61 centímetros descargara en el pozo caja y el flujo de agua se incorporara al desvío del colector de 107 centímetros.



Figura 44 Tubería de 61 cm que cruzó con el eje de nuestro colector de 107 cm de diámetro

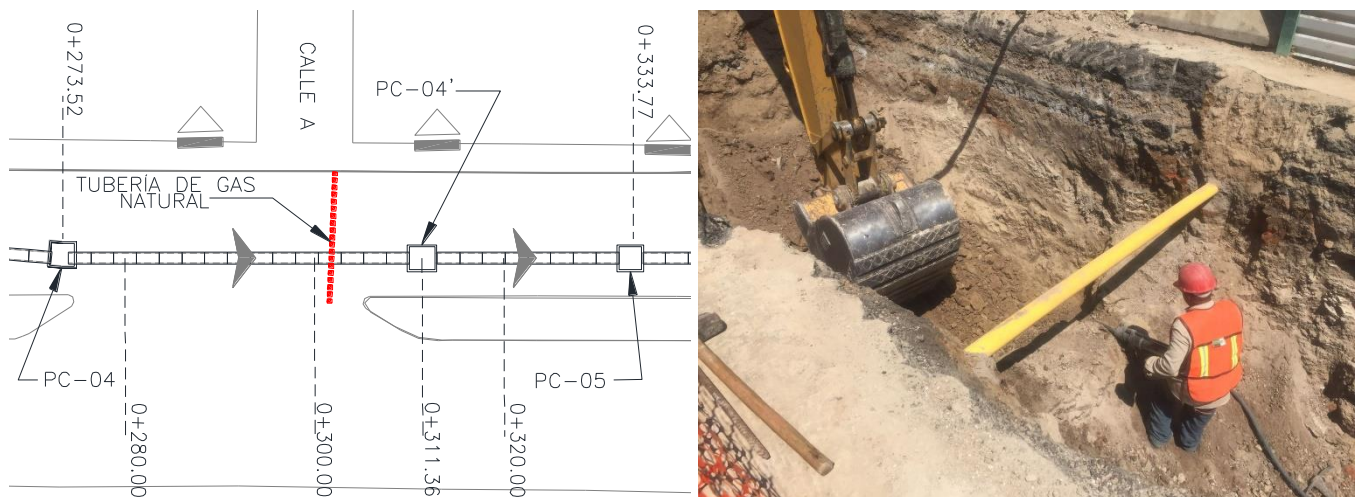


Fuente: fotografía y dibujo elaborado por el autor de esta tesis

## Tubería de Gas Natural

Desde el proyecto original se sabía que existía una tubería de gas natural cercano a calle A, por lo que, llegando a dicha zona se procedió a realizar la excavación con herramienta menor para evitar cualquier accidente, ésta tubería se encontró en el km 0+301.80.

Figura 45 Tubería de gas natural encontrada en el km 0+301.80

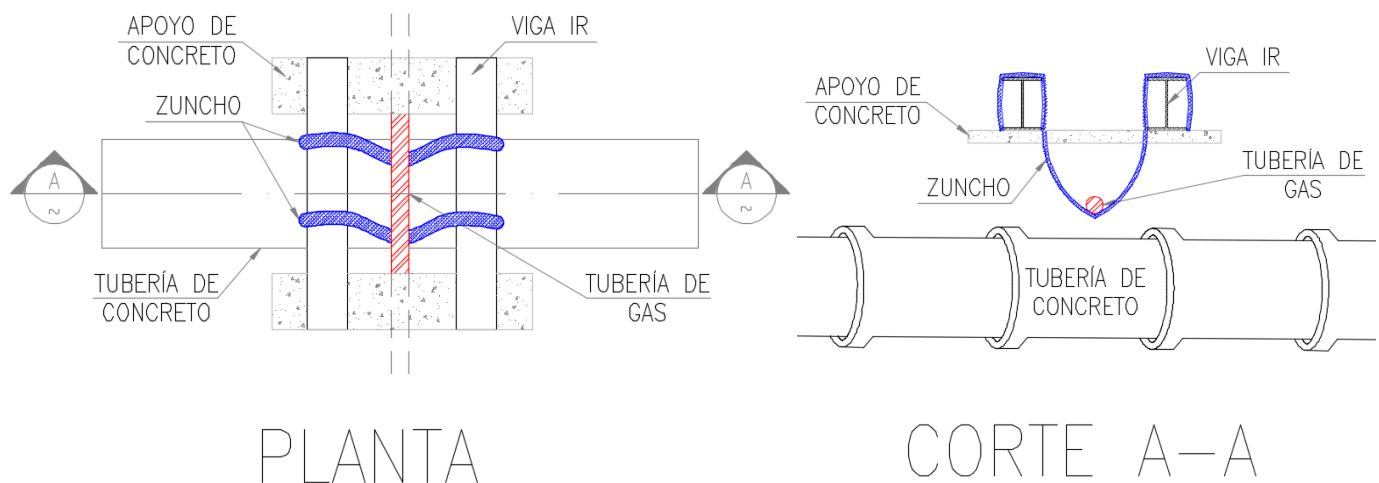


Fuente: fotografía y dibujo elaborado por el autor de esta tesis

El proyecto ejecutivo tenía contemplado colgantear esta tubería de gas colocando apoyos de concreto y vigas IR para poner zunchos de lona que cargarían la tubería de gas, este procedimiento no se realizó por parte de la empresa constructora; en su lugar colocó una viga IR en el terreno natural y sujetó la tubería de gas natural con alambroón.

En la figura 46 se muestra el proceso que se debió de haber seguido para elaborar el colganteo de estas instalaciones.

Figura 46 Colgante de tuberías de gas natural



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

### Tuberías de PEMEX de 8 y 12 pulgadas no identificadas

Dentro de la caja de deflexión CD-01 y en el km 0+028, en la zona comprendida entre las cajas de deflexión CD-01 y CD-02, sobre Av. tres, durante los trabajos de excavación se encontraron tuberías de acero de 8" y 12", estas cruzaban por encima del nivel de arrastre del colector de 107 centímetros.

Al no tenerse contempladas estas interferencias, se solicitó asesoría a PEMEX y Gas Natural para que con su personal técnico se pudiera determinar si la tubería se encontraba en funcionamiento o si estas guardaban gases que pudieran ser peligrosos al momento de realizar el corte.

Una vez que el personal del organismo operador concluyó que la tubería estaba fuera de servicio y no contenía gases que pusieran en peligro al personal se procedió a realizar la excavación con herramientas manuales, se excavó aproximadamente un metro por debajo del tubo de acero para poder cortar la tubería con un corta tubos.

Figura 47 Tubería de acero de 8" y 12" que generaron interferencia con el eje del colector de 107 cm de diámetro



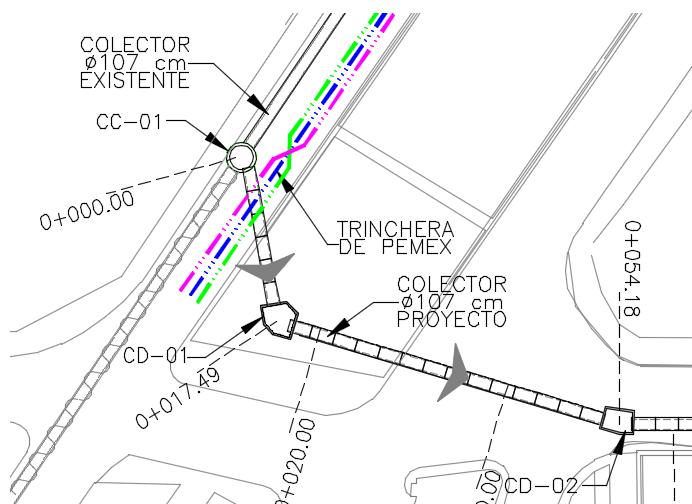
Fuente: fotografía y dibujo elaborado por el autor de esta tesis

### Trinchera de PEMEX

Al llegar a la zona comprendida entre la caja de conexión CC-01 y la caja de deflexión CD-01, se encontraron los gasoductos mencionados en capítulos anteriores. Para poder pasar por debajo de estas tuberías se tuvo que realizar una excavación para descubrir la trinchera de estos ductos. Una vez que la trinchera estuvo expuesta se realizó la construcción de dos apoyos de concreto sobre la superficie, las cuales tenían dimensiones de 1.0 x 1.0 metros, separados a una distancia de 1 metro desde el hombro de la excavación del tramo del colector. Estos apoyos tenían la finalidad de soportar las vigas IPR.

Posteriormente se realizó la demolición de la galería existente, lo cual dejó descubierta la tubería de PEMEX. Se procedió a colocar las vigas IPR 12" x 30 lb/ft descansándolas sobre los apoyos de concreto previamente construidos.

Figura 48 Ubicación de la trinchera de PEMEX sobre Avenida dos



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis



Los trabajos continuaron cuando se colocó bajo cada ducto una media caña de tubería PAD para dar rigidez, después, se colocaron zunchos de lona a cada metro de largo de cada tubería.

Una vez que los zunchos sujetaron la tubería se procedió a excavar a mano por debajo de esta hasta el nivel de proyecto del colector.

Posteriormente se procedió a realizar la colocación de la cama de arena y la instalación de los tubos de concreto reforzado.

## 2.8. Cama de arena

Una vez que se tuvo la hecha la zanja hasta el nivel máximo de excavación y los muros fueron perfilados, se colocó la cama de arena, estos trabajos se realizaron con la ayuda de una retroexcavadora para poder acarrear y traspalear el material con mayor eficiencia.

Al tener el material en el fondo de la zanja, los trabajadores de la empresa contratista lo acomodaban cuidando que el espesor de la cama de arena fuera siempre igual o levemente mayor a los 20 centímetros que especifica el proyecto. Se procedió a realizar la compactación del material con un pisón hasta llegar al 90% de compactación, esto era hasta que el pisón rebotara.

*Figura 49 Colocación y compactación de cama de arena con pisón elaborado en obra*



Fuente: fotografía tomada por el autor de esta tesis

## 2.9. Pozos caja, cajas de deflexión y cajas de conexión

En este capítulo solamente se describirá el proceso constructivo de un pozo caja tipo ya que las cajas de deflexión y las cajas de conexión se construyen siguiendo el mismo proceso.

Las características del concreto pre-mezclado que se utilizó en todas las cajas de conexión, deflexión y pozos caja fue clase 1, resistencia a la compresión  $f'c=250\text{kg/cm}^2$ , Cemento Portland Ordinario clase resistente 30, Resistente a los Sulfatos y con Baja Reactividad Alkali-agregado, también impermeabilizante integrado, en las remisiones aparece como CPO 30 RS BRS.

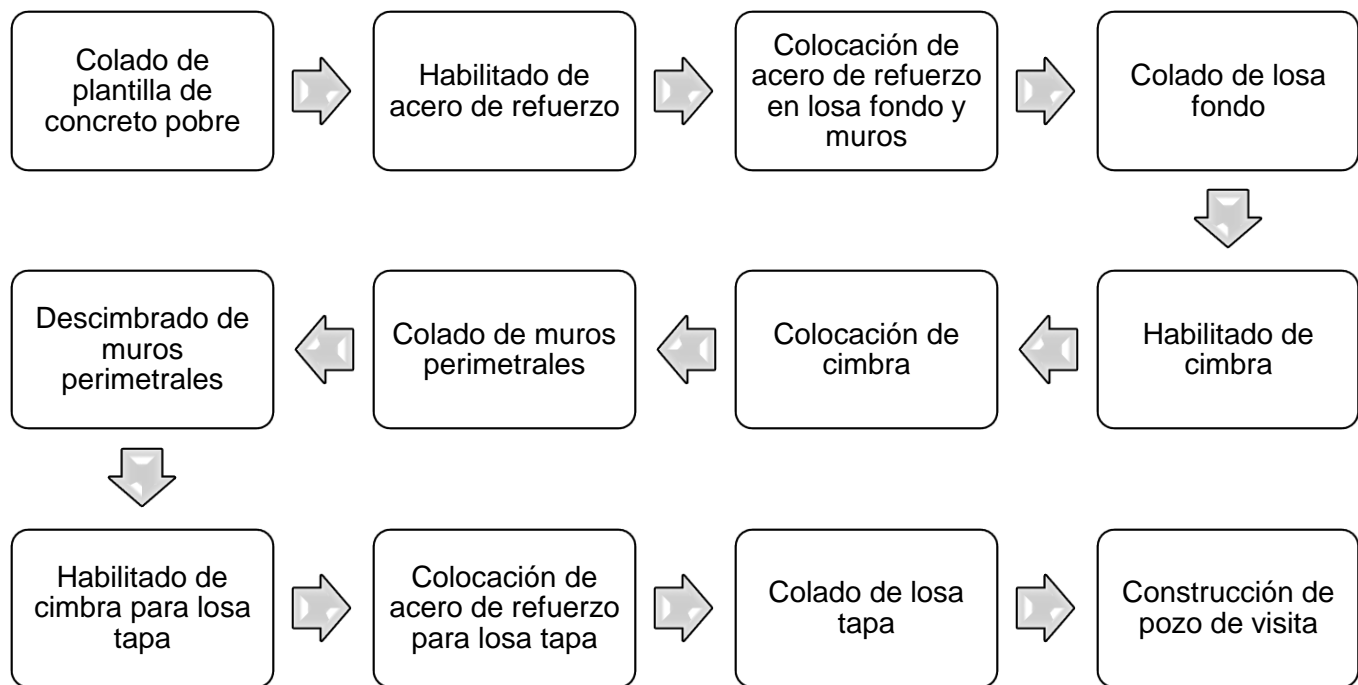
El acero de refuerzo (varillas corrugadas) empleado en la construcción de las cajas ASTM A-706, grado 60 y  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

En los colados, siempre se verificó en la remisión que el concreto solicitado cumpliera con las especificaciones de proyecto, como lo son el revenimiento, tamaño máximo de agregado, resistencia a la compresión, temperatura, tiempo de colocación, aditivos agregados, tipo de cemento, etc.

Durante toda la obra se tuvo un técnico encargado de verificar que cada olla de concreto premezclado tuviera las características que se mencionaron en el párrafo anterior.

### Proceso constructivo en cajas

Diagrama 5 Proceso constructivo de un pozo caja



Fuente: diagrama elaborado por el autor de esta tesis

Una vez que se tenía la excavación con el fondo y los muros afinados se procedía a colar la plantilla de concreto simple  $f'_c = 100 \text{ kg/cm}^2$ <sup>17</sup> (también se conoce como plantilla de concreto pobre) que puede ser premezclado o fabricado en obra, con espesor variable entre 5 y 10 centímetros. Esta plantilla únicamente tiene la función de separar el concreto y el acero de la losa de fondo del terreno natural.

<sup>17</sup>  $f'_c$  se refiere a la resistencia del concreto empleado en la zona de desgaste.

Figura 50 Colado de plantilla de concreto pobre fabricado en obra



Fuente: fotografía tomada por el autor de esta tesis

Cuando la plantilla de concreto simple alcanzó su resistencia se procede a habilitar<sup>18</sup> y a colocar el acero de refuerzo (varillas corrugadas del número 4 o 1/2") para la losa de fondo cuidando detalles como el recubrimiento mínimo, la separación de las varillas tanto en el lecho inferior y superior, los amarres<sup>19</sup> entre varillas y los traslapes con las varillas de los muros perimetrales.

Figura 51 Armado de losa de fondo y muros perimetrales con varillas del número 4 (1/2") para pozo caja



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

En nuestro proyecto, se construyeron pozos caja "tipo" el cual tenía un armado con varillas de 1/2" (número 4) tanto en losas como en muros.

<sup>18</sup> Palabra usada en la construcción para dar dimensión y geometría al acero de refuerzo doblado en frío.

<sup>19</sup> Alambres u otro tipo de material usado para conectar o unir de forma permanente dos o más secciones de un armado.



El espesor de losas (ambas parrillas) y muros (ambos paños) fue de 20 centímetros, es decir el recubrimiento mínimo del acero de refuerzo fue de 5 centímetros y la separación entre el acero era de 10 centímetros.

El siguiente paso era colar la losa de fondo, cuidando que por ningún motivo se dejara caer la mezcla desde una altura mayor a 1.50 metros para evitar segregación de los materiales. En la construcción del colector de 107 centímetros, se utilizó un tubo PAD corrugado para depositar el concreto lo más cerca posible de su lugar de uso, aunque las normas de la construcción de la administración pública del Distrito Federal recomiendan utilizar un canal de acero liso, el tubo PAD cumplió su función.

Para el colado de la losa no es necesaria la colocación de cimbra, como se mencionó en el apartado 1.5.4 “excavación”, se realizó un afine en las paredes de la excavación para utilizar el terreno natural como molde o cimbra, tratando de cuidar la sobreexcavación.

Realizado el colado de la losa de fondo, se procedió a efectuar el curado para evitar la pérdida de agua durante el proceso de fraguado del concreto. Existen varias técnicas de curado, algunas de ellas incluyen agua, arena, membranas, láminas impermeables, vapor, etc.

Posterior al colado de la losa de fondo se iniciaba el armado de los muros perimetrales, el cual se elaboraba con varillas de acero corrugado de  $\frac{1}{2}$ " y se colocaba a cada 20 centímetros, tanto longitudinalmente como transversalmente.

*Figura 52 Armado de muros perimetrales de un pozo caja*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Una vez que el armado de los muros perimetrales estaba concluido y se había revisado, se procedió a habilitar y a colocar la cimbra de madera. Esta cimbra es un molde empleado en la construcción de elementos estructurales de concreto; la cual está compuesta por dos elementos, la obra falsa y cimbra de contacto.

Una de las problemáticas que se tuvo durante la construcción de cajas y pozos caja fue que el contratista no contaba con los elementos necesarios (madera suficiente) para realizar un colado monolítico en los muros perimetrales, por lo que se realizaron módulos de cimbra para poder realizar

el colado de estos. La altura de estos módulos se realizaba con base en las dimensiones de la cimbra de contacto, la cual estaba compuesta por hojas de triplay de 1.22 x 2.44 metros y la obra falsa con polines de madera 4 x 4 pulgadas.

Figura 53 Caja de deflexión CD-02 con cimbra de primer módulo de muro perimetral y cimbra de caja de deflexión CD-03



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Siempre se verificó que la obra tuviera los polines y barrotes suficientes para evitar que esta se pandeara durante el proceso de colado de los muros; también se verificaba que el espesor del muro fuera de 20 centímetros como mínimo y que el acero de refuerzo cumpliera con el recubrimiento mínimo, el cual era de 5 centímetros.

Una vez colocada la cimbra en los muros perimetrales se realizaban los colados. Al realizar el colado de elementos estructurales se cuidaba el vibrado, el cual no debe de ser excesivo o estar en contacto con el acero de refuerzo para evitar la segregación<sup>20</sup> del concreto.

Aproximadamente 24 horas después del colado, se procedía a descimbrar los muros cuidando que los bastidores de la cimbra no fueran maltratados para aprovechar el máximo de usos posibles.

En la figura 54 se observan las juntas frías que se generaron de haber realizado los colados por partes.

<sup>20</sup> Separación de los materiales en un concreto por movimientos bruscos.



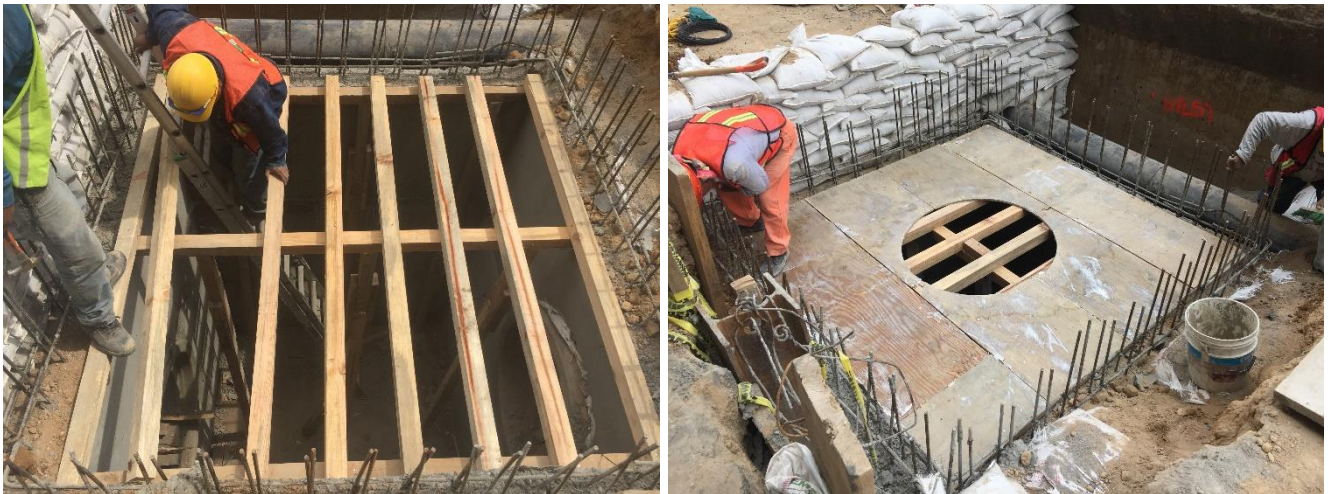
Figura 54 Descimbrado de muros perimetrales en cajas de deflexión CD-01 y CD-02.



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

El proceso se repetía dos o tres veces hasta alcanzar la altura suficiente para realizar la colocación de cimbra para la losa tapa del pozo caja. Esta se componía principalmente de triplay y polines, los cuales tienen la función de soportar el peso del concreto al momento de realizar el colado.

Figura 55 Colocación de cimbra para losa tapa de un pozo caja



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Cuando la cimbra de la losa tapa estaba lista, se colocaba el armado del acero de refuerzo, dejando los huecos para construir los pozos de visita. Nuevamente se verificaba que el acero de refuerzo tuviera el recubrimiento mínimo y los traslapes y escuadras cumplieran con el cuadro de dobleces propuesto en el proyecto ejecutivo y el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (2004).



Figura 56 Losas tapa de pozos caja con acero de refuerzo colocado, listas para ser coladas.



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Después que la cimbra y el armado de la losa tapa se habían verificado se procedía a realizar el colado de esta, empleando un tubo PAD como conducto del concreto.

El realizar esta actividad de la forma mencionada en el párrafo anterior, generó retrasos en la ejecución de los trabajos, ya que el tubo PAD era difícil de maniobrar porque este era sujetado con cuerdas al bote de la retroexcavadora o a barreras de concreto que confinaban el área de trabajo.

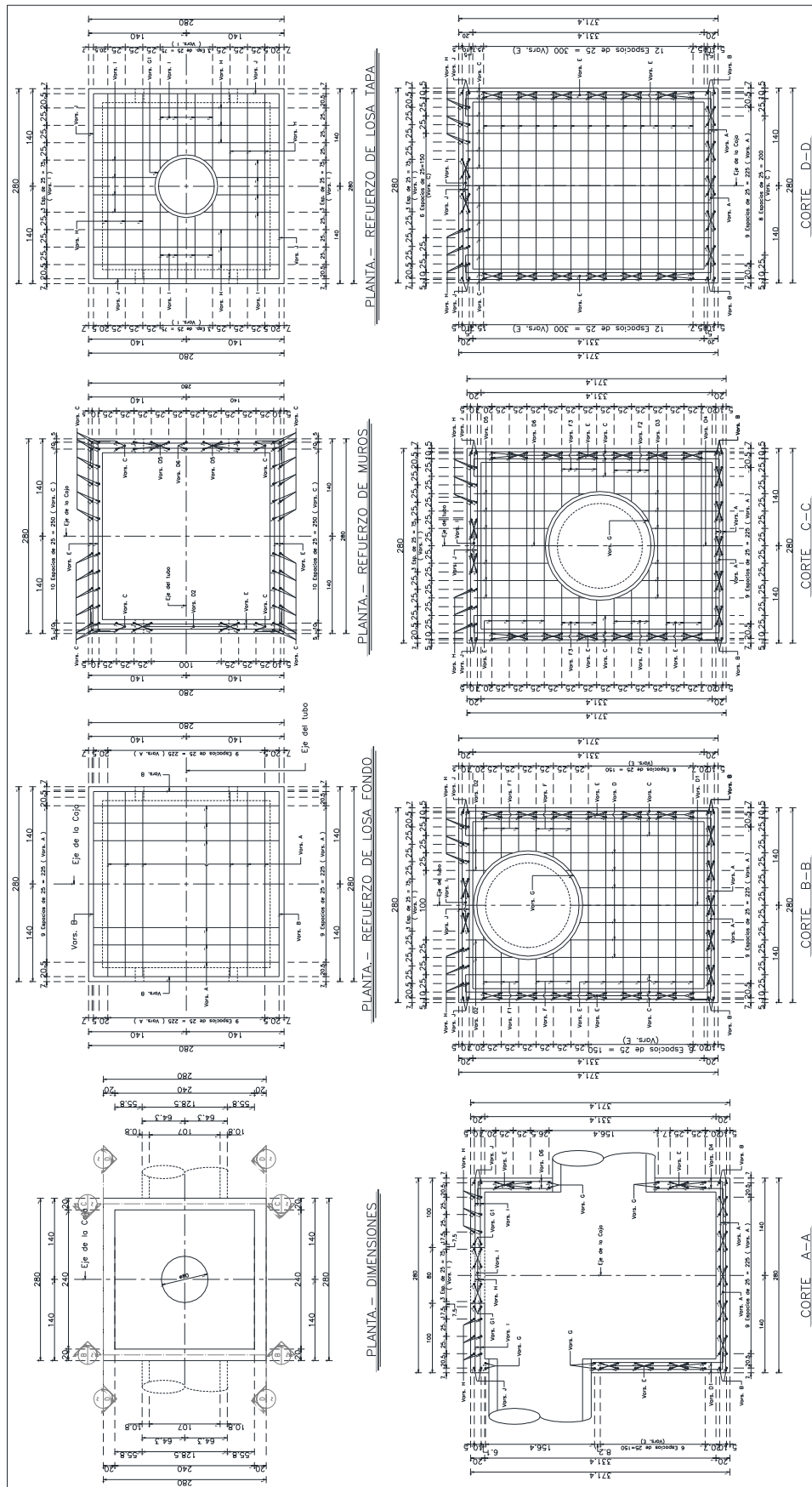
Figura 57 Colado de diferentes losas tapa de pozos caja PC-01 y PC-07



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Las losas tapas eran descimbradas aproximadamente 14 días después de haber realizado el colado de estas. Esta actividad se realizaba antes de comenzar a construir los pozos de visita.





Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis



## Pozo de visita y paso hombre

La construcción de los pozos de visita fue un proceso que se repitió a lo largo de toda la obra, como se indicó en la descripción del proyecto, cada pozo caja contaba con un pozo de visita, las cajas de deflexión y conexión contaban con un par de pozos de visita y un acceso, coloquialmente conocido como paso hombre.

La construcción de los pozos de visita iniciaba cuando la losa tapa era completamente descimbrada, ya que las maniobras de retiro del material de la cimbra eran más sencillas, sin tener el pozo construido.

El primer paso que se realizaba en la construcción de los pozos de visita era colocar reventones para conocer la altura que tendría el pozo; posteriormente, se elaboraba la mezcla con cemento y arena en proporción 1:4 para juntar los tabiques rojos recocidos que habían sido previamente saturados con agua.

Los tabiques se colocaban uno a uno mientras se juntaban con el mortero. Desde el inicio de la construcción del pozo era necesario contar con los escalones de fierro fundido para que quedaran empotrados.

*Figura 58 Construcción de un pozo de visita con ladrillo rojo recocido sobre losa tapa de un pozo caja*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Por facilidad y comodidad de los trabajadores, los pozos se construían en secciones de aproximadamente un metro de altura para poder ir dando el acabado pulido al interior de los pozos.

Una vez que el pozo llegaba a 25 centímetros del nivel de la superficie de rodamiento se iniciaba con el habilitado del acero de refuerzo de la cadena perimetral que soporta al brocal con tapa de hierro dúctil.

El armado de la trabe perimetral se realizó con varillas de 3/8" y estribos de 3/8" @ 20 centímetros. En el proyecto ejecutivo, los estribos estaban considerados con varillas de 1/4" pero la supervisión ordenó realizar el cambio.



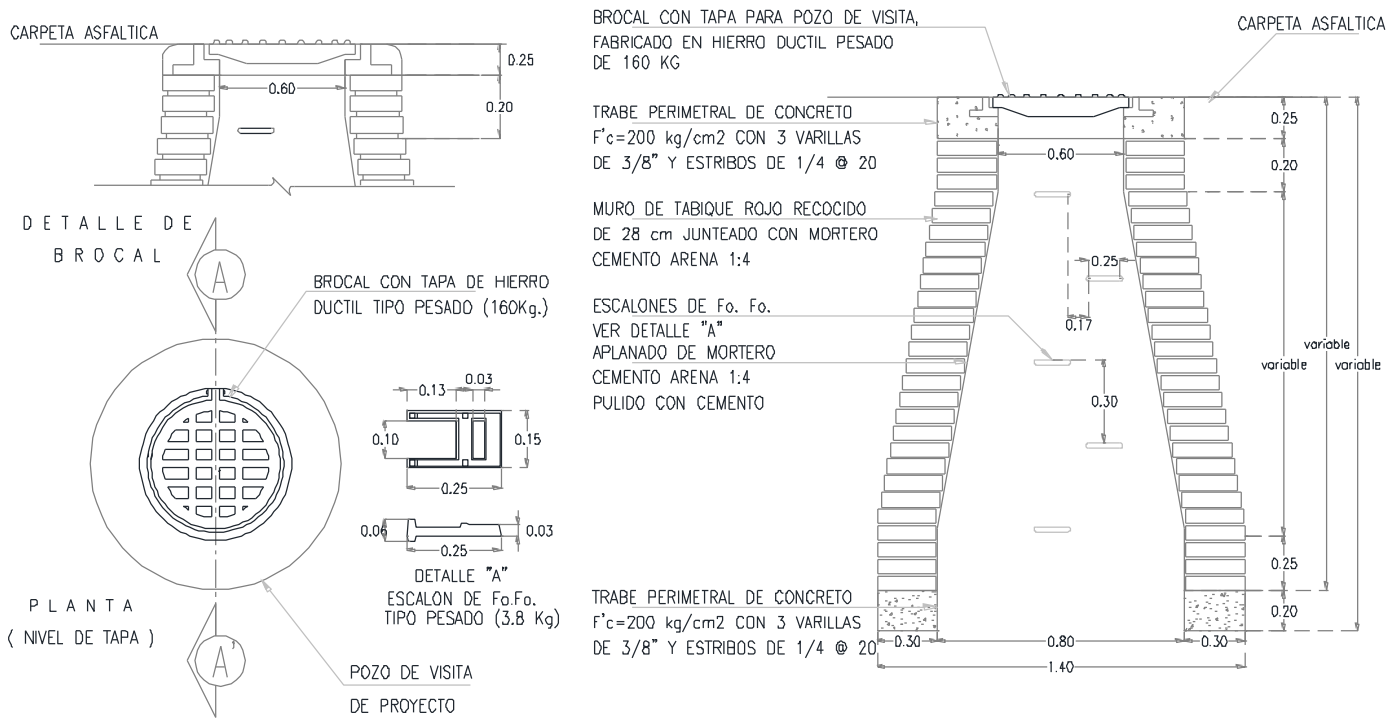
Figura 59 Cimbra y colado de trabe perimetral de brocal con tapa de hierro dúctil sobre un pozo de visita



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

A continuación, en la figura 60 se muestra un detalle constructivo de los pozos de visita (tipo) que se construyeron sobre cada caja de deflexión, conexión o pozo caja.

Figura 60 Detalle de pozo de visita "tipo"



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

Por otro lado, el acceso a las cajas de conexión y deflexión se realiza por los pasos hombre, los cuales son estructuras rectangulares de concreto reforzado que van ancladas al armado de la losa tapa.

*Figura 61 Armado y cimbrado de un paso hombre sobre losa tapa de una caja de deflexión*

Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Estos pasos hombre siempre contaban con escalones de hierro fundido colocados en tresbolillo a cada 30 centímetros de altura y a 17 centímetros entre ellos, estos se anclaban 15 centímetros en el muro del paso hombre, en la figura 61, de lado derecho se logra observar una fotografía con los escalones de hierro fundido colocados y anclados con el acero de refuerzo previo al colado del paso hombre.

### **Impermeabilización de las cajas**

La especificación del concreto pre-mezclado empleado en la construcción de estas cajas marcaba la utilización de impermeabilizante integral, a pesar de haber utilizado este aditivo, ninguna de las cajas de conexión, deflexión o pozos caja se coló monolíticamente (formando juntas frías), por lo que fue necesaria la colocación de un impermeabilizante en las paredes y losas de las cajas para asegurar la estanqueidad de las mismas.

Previo a la colocación de la base fue necesario dejar totalmente seca la superficie dónde se aplicó el producto, esto resultó un reto ya que los trabajos se realizaron en época de lluvias, las cuales provocaron retrasos en los trabajos.

El proceso siempre inició en los muros perimetrales de las cajas ya que la mayoría de las veces, al iniciar el turno, la losa de fondo tenía un pequeño tirante de agua. Una vez que la superficie estuvo seca se aplicó una capa de base (primer) y tres capas de impermeabilizante.



Figura 62 Aplicación de impermeabilizante en losa de fondo en un pozo caja



Fuente: fotografía tomada por el autor de esta tesis

## 2.10. Instalación de tubería de concreto reforzado

Estos trabajos son muy importantes ya que la tubería es el conducto que lleva el agua residual, el cual debe garantizar hermeticidad en todo su trayecto.

### Trabajos previos a la instalación de tubería

Este proceso inició desde la descarga de la tubería en la zona de obra, cuando los tubos se entregaban en la obra se revisaba que no estuvieran rotos, fisurados o agrietados, también se verificaba que los tubos correspondieran al pedido solicitado.

Figura 63 Tubos de concreto reforzado estibados en obra



Fuente: fotografía tomada por el autor de esta tesis

La descarga de la tubería se realizaba con la ayuda de una grúa HIAB, la cual colocaba los tubos en el suelo, siempre teniendo precaución de calzar los tubos para evitar que rodaran. Esta estiba<sup>21</sup> se

<sup>21</sup> Colocar materiales u objetos sueltos de forma que ocupen el menor espacio posible.

realizó con base en las recomendaciones que CONAGUA emite, lo cuales se muestran en la siguiente tabla, por tal motivo no se estibaban en forma piramidal.

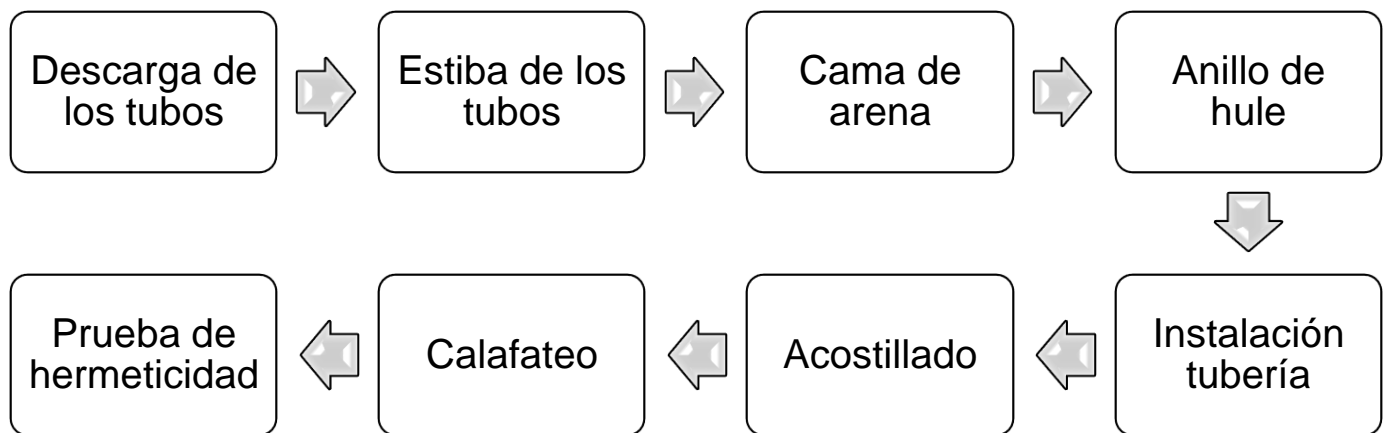
Tabla 10 Números de estiba máxima (recomendada)

Diámetro (m)	Números de estiba máxima
0.15 – 0.38	4
0.45 – 0.90	2
1.070 o mayores	1

Fuente: Comisión Nacional del Agua. (2012). Manual de Instalación de Tubería para Drenaje Sanitario. p. 59

### Proceso constructivo

Diagrama 6 Proceso para la colocación de tubería de concreto reforzado



Fuente: diagrama elaborado por el autor de esta tesis

La brigada de topografía siempre estuvo presente durante la instalación de los tubos ya que esta verificaba los niveles de arrastre y la alineación de la tubería con el eje de trazo.

Previo a la instalación de la tubería se realizaba cuidadosamente la limpieza de la campana, espiga y del anillo de hule<sup>22</sup> con un cepillo de alambre para retirar cualquier material ajeno a los tubos. En esta obra ni el anillo de hule ni la campana se lubricaron por indicaciones del fabricante de la tubería.

Cuando la tubería estaba totalmente libre de sustancias extrañas se colocaba el anillo de hule en la espiga, el anillo se ajustaba recorriendo la circunferencia con un objeto redondo y liso entre la espiga y el anillo de hule con el propósito de estabilizar la tensión del empaque.

<sup>22</sup> Elemento elastomérico que se usa como sello en las juntas o uniones de las tuberías, para conseguir su hermeticidad (CONAGUA, 2011).



Figura 64 Colocación de anillo de hule en tubería de concreto reforzado de 107 cm de diámetro



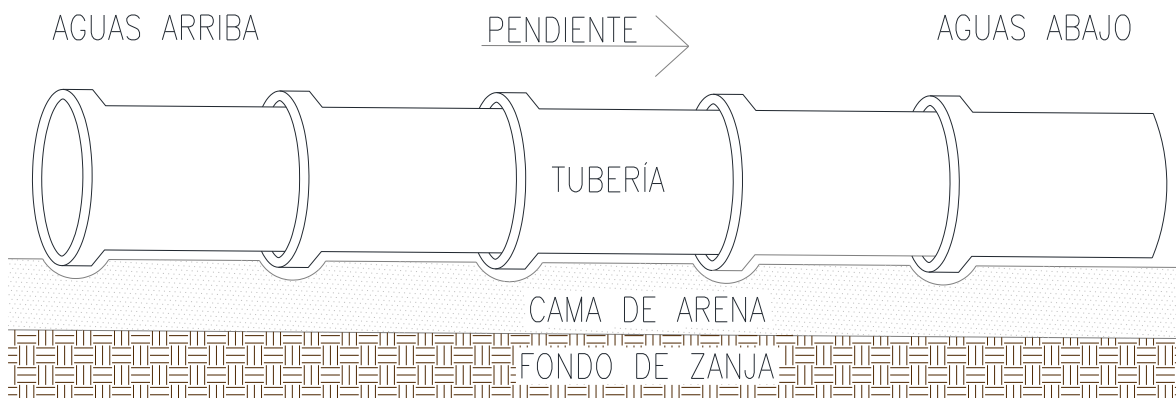
Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

## Instalación de tubería

Desde la caja de deflexión CD-03 hasta la caja de conexión CC-01, la instalación de la tubería se realizó de aguas abajo hacia aguas arriba cuidando que las campanas fueran colocadas siempre en dirección aguas arriba, ya que la forma más fácil de realizar la instalación es introducir la espiga (macho) del tubo a instalar en la campana (hembra) del tubo anteriormente colocado.

De la caja de conexión CC-02 hasta la caja de deflexión CD-03 la instalación de la tubería se realizó desde aguas arriba hacia aguas abajo, aunque esto no se recomienda, se tuvo que realizar de esa forma para evitar el cierre de Avenida uno.

Figura 65 Instalación de tubería de aguas abajo hacia aguas arriba



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

Una vez que el anillo de hule estaba en posición se procedía a izar la tubería empleando estrobos o eslingas para poder bajarlos a la zanja y proceder a su instalación.

*Figura 66 Herramientas empleadas para izar tubos de concreto reforzado*

Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

La forma de instalación de los tubos está en función del diámetro de la tubería, era necesario utilizar la excavadora o una grúa telescópica para acercar la tubería a su posición final, una vez que la punta del tubo (espiga) estaba en posición se utilizaba un dispositivo de tracción, unido a una viga colocada en algún tubo instalado algunas secciones atrás, para llevar la punta del tubo a su posición de unión por fuerza mecánica. Estos dispositivos de tracción aseguran que la separación de la junta quedará dentro de los límites marcados por el fabricante.

*Figura 67 Dispositivo de tracción para instalación de tubería*

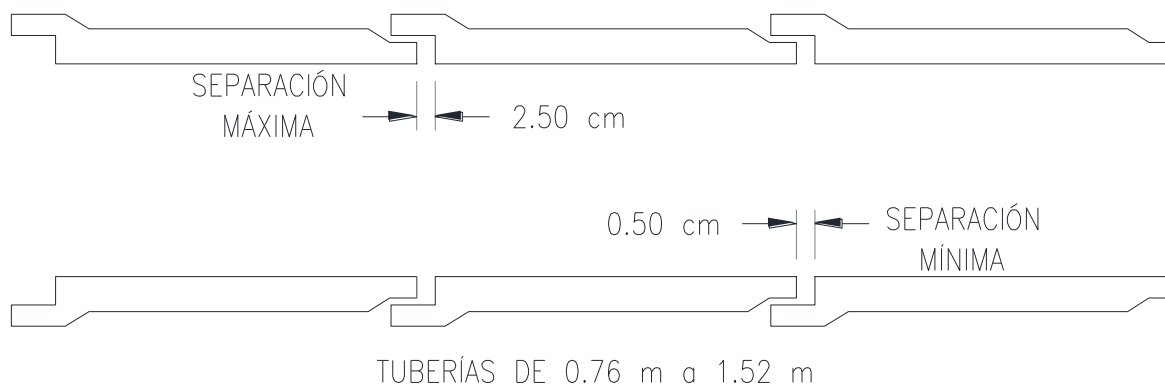
Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Cada vez que un tubo se instalaba, se verificaba que la separación mínima y máxima en las juntas fuera la correcta, para mantener la separación mínima se colocaban tiras de madera entre las juntas. Esta separación es importante para permitir la flexión en las uniones en caso de que existan



asentamientos o movimientos en el suelo. De la misma forma se verificaba con un escantillón que el anillo de hule estuviera en la posición correcta en toda la circunferencia de la junta.

Figura 68 Separación mínima y máxima entre tubos



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

En la figura 69 se observan varias etapas del proceso ya mencionadas en el texto, estas pretenden ilustrar el trabajo ilustrado y su secuencia.

Figura 69 Muro berlín, tubería instalada y acostillado de tubería



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

## 2.11. Rellenos

Previo al inicio de estos trabajos se recibían los suministros de material, los cuales se estibaban lo más cerca posible de la zanja (ver Figura 70) para evitar merma durante los traslados. El material era traspaleado a la zanja por los trabajadores de la obra o con ayuda de la retroexcavadora.

*Figura 70 Suministro de materiales para acostillado y relleno de zanja*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

## Acostillado

Posterior a la instalación de la tubería de concreto y que la topografía indicaba que el nivel de arrastre y la alineación con el eje de trazo eran los correctos o estaban dentro de los límites establecidos por el proyectista, se procedía a colocar arena como relleno lateral para evitar que la tubería se moviera y saliera de su eje de trazo. Este material era trasladado desde un banco autorizado por el laboratorio de la supervisión de obra.

*Figura 71 Tubería de concreto reforzado en proceso de acostillado*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis



Este acostillado se colocaba en capas de aproximadamente 20 centímetros y era compactado hasta el rebote de pisón, este rebote aseguraba que la arena estuviera compactada al 90% de la prueba ASSHTO estándar.

## Relleno principal

Una vez que el acostillado estaba por 20 centímetros por encima del lomo de la tubería de concreto reforzado se procedía a traspalear el tepetate hacia la zanja. El material de relleno se colocaba en capas de aproximadamente 25 centímetros de espesor (medidos con un escantillón) para que una vez compactado el material se formaran capas de 18 a 20 centímetros de espesor.

*Figura 72 Capas de relleno de zanja de tubería*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

La compactación se realizó por medios mecánicos, apisonadores manuales tipo bailarina y rodillos compactadores de 1 tonelada, el tiempo o número de pasadas dependía de la longitud del tramo a compactar.

Figura 73 Compactación del material de relleno con rodillo vibratorio en tándem y apisonador manual (bailarina)



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Durante toda la obra se tuvieron laboratoristas de control de calidad que verificaban que el material tuviera una humedad cercana a la óptima para que el grado de compactación se cumpliera.

Las pruebas de compactación se realizaban hasta que el laboratorio contratado por la empresa constructora liberaba la capa<sup>23</sup>.

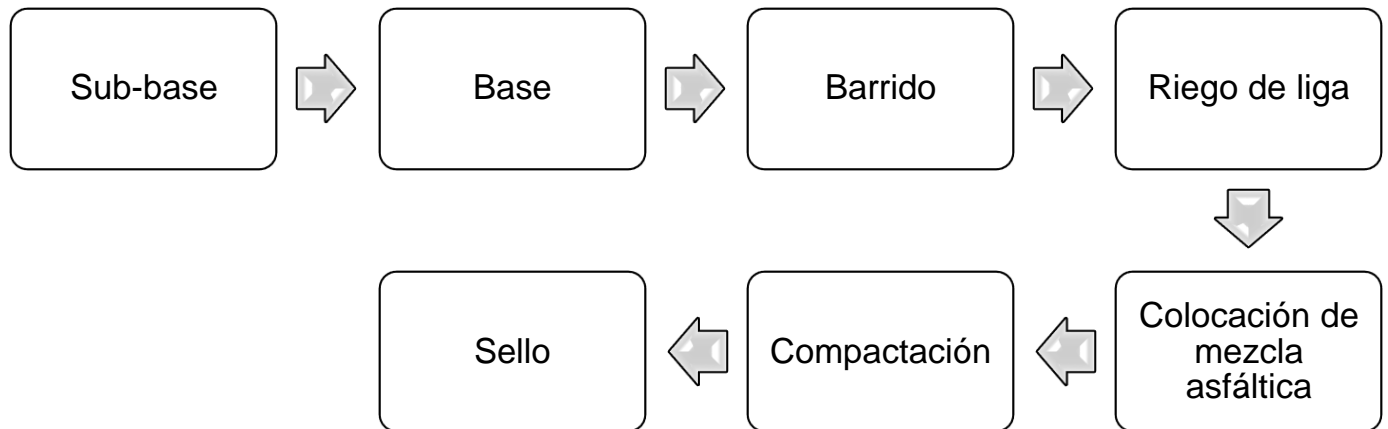
## 2.12. Estructura de pavimento flexible

Con base en el cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TDPA) y la suma de ejes sencillos equivalentes a 8.2 toneladas esperados en el horizonte de proyecto, se tenía considerada una estructura de pavimentos formada por 20 centímetros de sub-base, 32 centímetros de base estabilizada con cemento hidráulico y 10 centímetros de carpeta de mezcla asfáltica colocada en caliente.

<sup>23</sup> Ver el capítulo 2.7.4 Prueba AASHTO estándar para ver el procedimiento de verificación de grado de compactación realizado en campo, el cual obtiene un resultado preliminar pero muy cercano al de laboratorio.

## Proceso constructivo

Diagrama 7 Proceso constructivo de la estructura de pavimento



Fuente: diagrama elaborado por el autor de esta tesis

### Sub-base y Base

Una vez que se tuvo tramo listo (de la caja de deflexión CD-03 km 0+453 al pozo caja PC-04' km 0+311) para colocar y compactar la sub-base y posteriormente la base, se suministró el material, el cual fue muestreado desde el banco y cumplió las características solicitadas por el proyecto ejecutivo.

Es importante destacar que el material suministrado tenía calidad de base, derivado de esto se empleó para la base y la sub-base.

El material se hidrató en la obra con una pipa de agua por instrucciones del laboratorio, después se colocó y se extendió con una motoconformadora *CAT 140 H* (ver Figura 74).a lo largo de la zanja. Seguido de esto se compactó el material con un vibrocompactador *Ingersoll Rand SD-100D* y con pisonadores manuales tipo bailarina.

Figura 74 Motoconformadora y rodillo vibrocompactador liso empleados para estructura de pavimento



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis



Derivado de la falta de experiencia de los operadores de los apisonadores manuales, los cuales no compactaban el material extendido uniformemente, se generaron algunos problemas durante estos trabajos. Al verificar el grado de compactación del material, el laboratorio observó que las capas no estaban compactadas uniformemente en las orillas, esto provocaba que los trabajos se tuvieran que repetir ocasionando que el constructor gastara muchos recursos en elaborar correctamente el trabajo. Por esto se decidió colocar relleno fluido en vez de la estructura de pavimento convencional.

## Relleno fluido

Como se mencionó en el subtema anterior, uno de los problemas que se presentó durante el proceso constructivo de la estructura de pavimentos fue que no se lograba compactar el material de sub-base y base al 100% con respecto a su Peso Volumétrico Seco Máximo (PVSM) como lo marcaba el proyecto ejecutivo y la norma N-CMT-4-02-001/2011 (SCT, 2011) en su Tabla 2. Por eso se decidió sustituir ambas capas de la estructura de pavimento por relleno fluido con resistencia a la compresión  $f'c = 20 \text{ kg/cm}^2$ .

*Figura 75 Vaciado de relleno fluido como base y sub-base de la estructura de pavimento*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

La forma de colocación del relleno fluido es simple, se vacía desde la olla al lugar donde quedará colocado, con ayuda de palas se extiende para lograr el espesor requerido, con ayuda de un peine de alambre se deja un acabado texturizado y así lograr una mejor adherencia entre la carpeta asfáltica y el relleno fluido.

## Barrido

Se barrió con barredoras mecánicas autopropulsadas. Este barrido tiene la función de remover basura, piedras, polvo, grasa, encharcamientos o materias ajenas a la estructura de pavimento donde será colocada la carpeta de mezcla asfáltica.



Figura 76 Barredora mecánica realizando limpieza de polvo y tierra previo al riego de liga



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Durante estos trabajos fue necesario realizar un riego con agua para evitar polvaredas que generen molestia a los vecinos y a la gente que transitaba por la zona de obra.

### Riego de liga

Consiste en la aplicación de una emulsión sobre la base terminada, esta se aplicó dos horas antes de tender la carpeta asfáltica. Durante la ejecución de la obra se aplicó con petrolizadora o a mano, dependiendo del área que se tuviera lista para realizar los trabajos.

Figura 77 Colocación de riego de liga previo al asfaltado



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

## Extendido de carpeta asfáltica

Estos trabajos se realizaron de dos formas diferentes durante la obra, las cuales dependían de la longitud del tramo a trabajar:

- Empleando una pavimentadora autopropulsada
- Traspaleando el material desde el camión que lo suministraba

Posterior a que el material estaba sobre el relleno fluido, se extendía con rastrillos

Sin importar como colocaban, extendían y conformaban el material se formaba una capa de material sin compactar.

*Figura 78 Pavimentadora autopropulsada colocando material asfáltico*



Fuente fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Para esta actividad se contó con un laboratorista de control de calidad que verificaba la temperatura de colocación de la mezcla asfáltica.

## Compactación

Inmediatamente después de haber extendido la mezcla asfáltica se compactaba longitudinalmente con un vibrocompactador tándem o un compactador manual, la forma en que se realizaba era desde las orillas hacia el centro, con un traslape de por lo menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

En la Figura 79 se puede observar el tamaño tan diferente que se empleó para ejecutar la misma actividad.



*Figura 79 Compactación de carpeta asfáltica con diferentes máquinas*

Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

Siempre se tuvo cuidado de no estacionar el equipo de compactación sobre la carpeta de mezcla en caliente recién compactada, esto es son el fin de evitar deformaciones permanentes en la superficie terminada.

## Sello

El sello se realizó con cemento y agua, el cual se vaciaba sobre la carpeta asfáltica y era barrido para tapar todos los poros y espacios vacíos en la superficie de rodamiento. En la figura 80, de lado derecho se observa el cemento sobre la carpeta asfáltica.

*Figura 80 Sello colocado posterior a la compactación*

Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

## 2.13. Trabajos complementarios

Estos trabajos fueron realizados después de terminar la construcción del colector, las cajas, rellenos y la restitución de la vialidad.

### 2.13.1. Calafateo interior de tubería

Por normatividad es necesario calafatear cada una de las juntas al interior de la tubería, este está marcado por la SCT en la norma N-CTR-CAR-1-03-002-00 en el punto G.4. El calafateo se elabora con mortero (arena cemento) en proporción 1:3. Este se realizó en todas las juntas que quedaron dentro de los límites establecidos por el fabricante y la dependencia reguladora del servicio.

En aquellas juntas donde no se logró respetar la separación máxima en las juntas se realizó un calafateo con cuerda de polipropileno y un sellador de poliuretano para asegurar la hermeticidad de la tubería.

Primero se limpiaba la junta con un cepillo con cerdas de alambre, posteriormente se retacaba la junta con cuerda de polipropileno empleando cualquier herramienta manual que permitiera empujar la cuerda hasta el fondo de la campana del tubo, posteriormente se colocaba el sellador de poliuretano en tres capas, esto debido a que en las partes superiores de la tubería el sellador caía por peso propio.

*Figura 81 Trabajos de calafateo al interior de la tubería de 107 centímetros*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

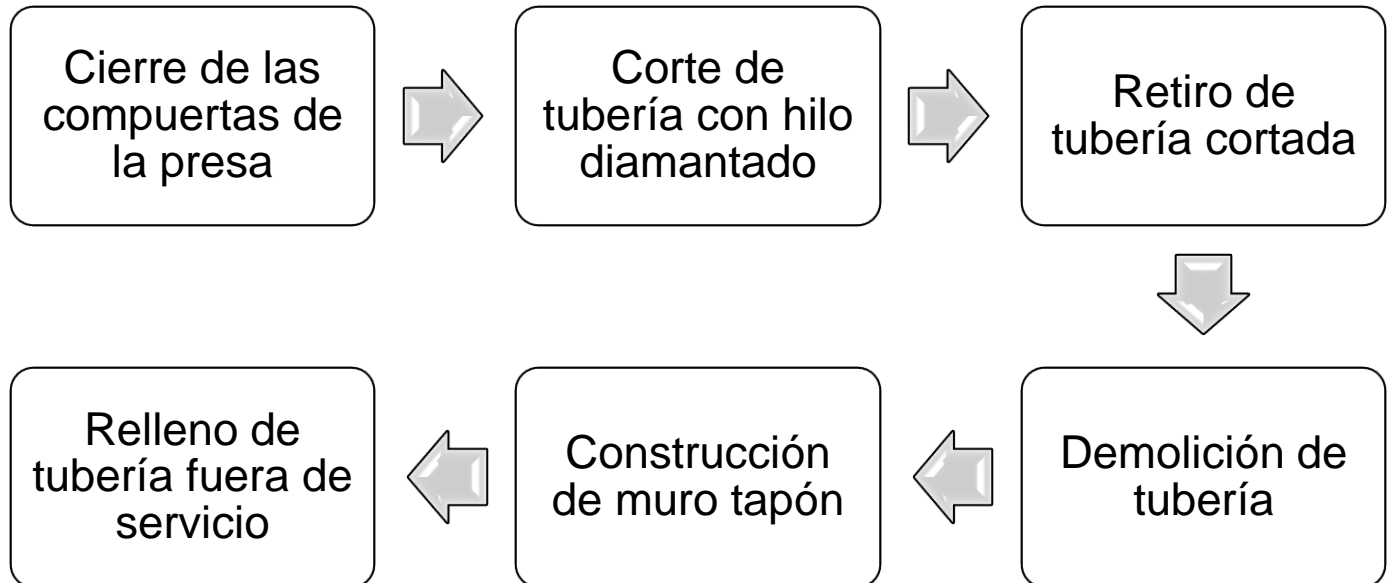
### 2.13.2. Proceso de cierre o apertura de drenaje (pegue)

Al tratarse del desvío de un colector, es necesario dejar fuera de servicio uno de los ramales de la tubería. Estos trabajos son coloquialmente conocidos como pegue, el cual consiste en cortar un tramo de tubería que está en servicio (dentro de una caja de conexión) y construir un muro tapón de concreto para dejar fuera de funcionamiento la sección o ramal de tubería deseado.



En colectores de gran tamaño (mayores a 107 cm de diámetro) este es uno de los procedimientos que mejor se deben de planificar ya que se debe trabajar con muchas dependencias gubernamentales al mismo tiempo (Agua, Vialidad, Seguridad, etc.)

Diagrama 8 Proceso para realizar pegue



Fuente: diagrama elaborado por el autor de esta tesis

El proceso se inició con el cierre de las compuertas aguas arriba del colector. Este cierre se realizó con el tiempo suficiente para dejar que el tirante de agua dentro de la tubería bajara o desapareciera completamente.

Figura 82 Cierre de compuertas de la presa



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

En obra, se procede realizando un corte en ambos lados de la tubería, la herramienta con la que se elaboró este trabajo fue una cortadora con hilo diamantado, este corte se realizó lo más cercano a los muros de la caja como fue posible. Este corte pudo haber sido efectuado con cortadoras manuales pero el proceso era muy tardado.

*Figura 83 Corte de tubería de concreto reforzado con hilo diamantado*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

\*Estas imágenes corresponden a un colector con diámetro mayor al de proyecto en cuestión, sin embargo, ilustran el proceso que se llevó a cabo para realizar el pegue.

Una vez finalizado el corte de la tubería se retira de la caja, se coloca en un lugar seguro, colocando polines para evitar que este se pueda desplazar. Se continuó el proceso realizando la demolición del tubo extraído.

*Figura 84 Retiro del colector que se encontraba en servicio*



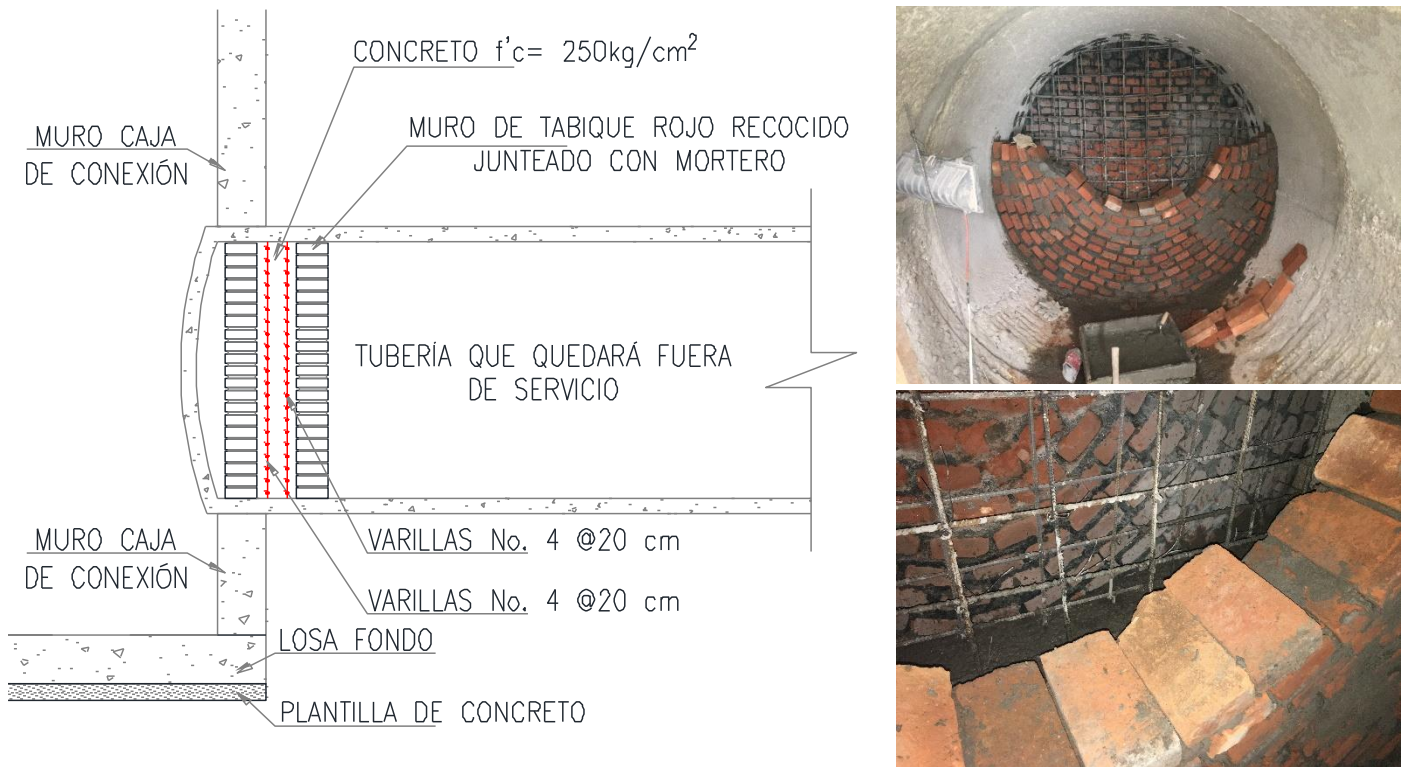
Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

\*Estas imágenes corresponden a un colector con diámetro mayor al de proyecto en cuestión, sin embargo, ilustran el proceso que se llevó a cabo para realizar el pegue.



Al tener el flujo de agua guiado hacia la tubería nueva, se inició la construcción de los muros tapón de concreto, al inicio y al final del ramal de la tubería que quedó fuera de funcionamiento. Estos muros consisten en un muro de concreto reforzado entre dos paredes de ladrillo rojo recocido, juntas con mortero (cemento-arena) en proporción 1 a 3, este detalle se muestra en la figura 85.

Figura 85 Detalle constructivo y fotografías de muro tapón



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

\*Estas imágenes corresponden a un colector con diámetro mayor al de proyecto en cuestión, sin embargo, ilustran el proceso que se llevó a cabo para realizar el proceso de construcción del muro tapón.

Para construir los muros tapón es necesario realizar excavaciones (ventanas) desde el nivel de terreno natural en los dos extremos de la tubería para que el personal tenga acceso a la tubería.

Durante este proceso fue necesario realizar mediciones de los gases presentes en la tubería para salvaguardar la salud de los trabajadores.

En este punto se tiene un ramal de la tubería fuera de servicio, vacía, por lo que es necesario rellenar dicha instalación con relleno fluido, utilizando las ventanas antes descritas, se realiza el colado continuamente hasta que la tubería queda totalmente rellena.

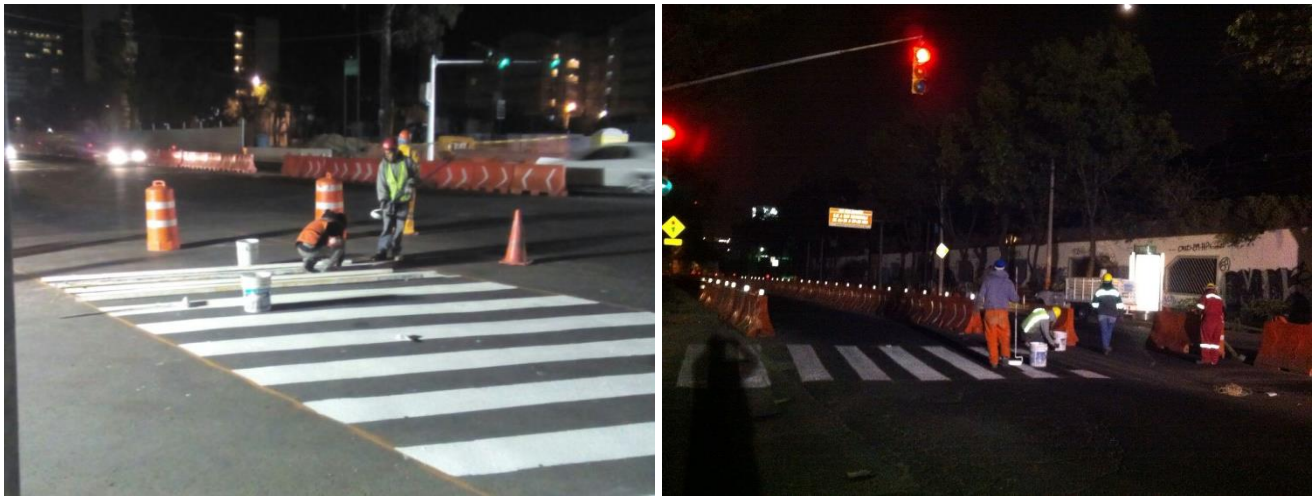
### 2.13.3. Pintado de señalamiento horizontal

Una vez concluidos los trabajos de restitución de la vialidad es necesario dejar las señales horizontales (balizamiento) necesarias para proporcionar la información suficiente al tránsito y a los peatones que transitan por la zona que fue restituida. Estos trabajos se realizaron con base en el



Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad (SCT, 2014) ya que ahí se especifican estos trabajos.

*Figura 86 Pintado de balizamiento después de la restitución de la vialidad*



Fuente: fotografías tomadas por el autor de esta tesis

#### 2.13.4. Retiro del señalamiento temporal

Cuando el señalamiento cumplió con su función de informar, guiar y proteger las zonas de obra este fue retirado para evitar confusión a los vehículos que transitaban por la zona.

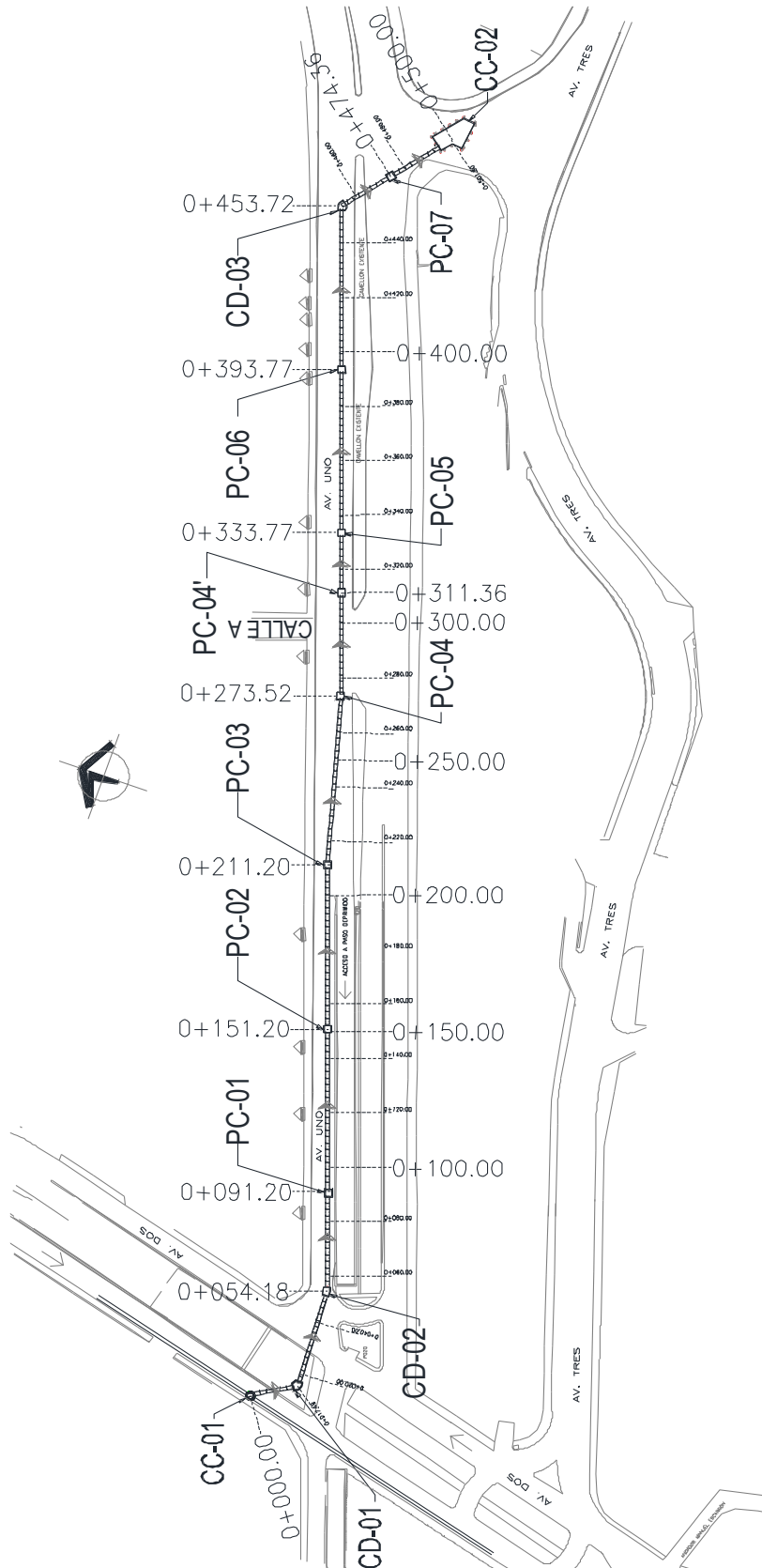
#### 2.13.5. Elaboración de los planos definitivos

Para finalizar los trabajos se actualizaron los planos con todas las modificaciones hechas en la obra. Para poder elaborar estos planos fue necesario que durante el transcurso de la obra la brigada de topografía fuera recolectando y obteniendo toda la información necesaria (levantamientos) para poder ubicar estos cambios en el proyecto.

Estos planos (planta, cortes transversales y longitudinal) se entregaron en forma física y en archivo electrónico con extensión .DWG y .PDF generados desde el programa de computo AutoCad con el formato y especificaciones establecidas por la dependencia.

A continuación, se muestra un dibujo en planta con las modificaciones ya mencionadas en el texto.

Figura 87 Croquis en planta del desvío del colector de Avenida Uno



Fuente: dibujo elaborado por el autor de esta tesis

### 3. Conclusiones

De manera general, se concluye lo siguiente:

En esta investigación de campo se lograron describir a detalle las actividades previas, durante y posteriores al proceso constructivo del desvío de un colector de concreto reforzado de 107 centímetros de diámetro en una zona urbana; se mostraron las diferentes partes involucradas en el proceso y los problemas que se presentaron durante la ejecución de esta obra; lo anterior con el fin de que el lector pueda conocer las áreas de mejora durante la construcción de una obra similar, sin dejar de tomar en cuenta que cada proyecto tiene sus particularidades.

Por otra parte, la ética del residente juega un papel primordial en la construcción de la obra, ya que este debe de ser capaz de verificar y cumplir las normas ejecutando los trabajos con eficiencia y cuidando la seguridad de la sociedad.

De manera particular, se concluye lo siguiente:

Se debe verificar que la información que se recibe de la empresa proyectista, referente a instalaciones, interferencias y otros elementos que influyen en la ejecución de los trabajos se ubiquen realmente en donde están señalados, en caso de encontrar información errónea es importante comunicarlo inmediatamente a la parte correspondiente para que se hagan los cambios necesarios al proyecto y así evitar retrasos en la ejecución de los trabajos.

La información con la que cuenta cada dependencia debe estar siempre actualizada y detallada para agilizar los procesos. La falta de información propicia que las obras se puedan detener por largos períodos en espera de una respuesta, liberación o solución ante alguna situación presentada.

La falta de experiencia de la mano de obra y del personal que dirige la obra propicia que al realizar trabajos o resolver problemas no se haga de una manera eficiente, provocando una cadena de errores que conllevan riesgo físico y mala calidad en la ejecución de los trabajos.

Se debe contar con una supervisión con capacidad técnica que trabaje tiempo completo para verificar el cumplimiento de los procedimientos y normas correspondientes. Esta supervisión debe de tomar acciones preventivas, en caso de no haber estado presente durante las actividades deberá rechazar cualquier tipo de trabajo que constituya una amenaza al medio ambiente o a la seguridad de la sociedad.

Finalmente, se sugiere que, al finalizar la obra, la parte constructora haga un análisis detallado de los objetivos alcanzados, considerando aspectos económicos, tiempos de ejecución y calidad de los trabajos para poder conocer las fortalezas y debilidades de la empresa. De esta manera se pueden optimizar los procesos.



## Bibliografía

- Arquitectura21, equipo de redacción. (2012, 03). Trazo y nivelación en preliminares construcción. Manuelette Ramirez Bencosme. Obtenido 03 de noviembre de 2017, de <http://www.arquitectura21.com/2012/03/trazo-y-nivelacion-en-preliminares-construccion.html>.
- Bailey, H. & Hancock, W. (2002). Curso básico de construcción. México: Limusa.
- Comisión Nacional del Agua. (1994). Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Datos básicos, México.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Geotecnia en construcción especializada. México, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua. (2009). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua. (2009). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Proyectos Ejecutivos. México, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua. (2009). Semblanza Histórica del Agua en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua. (2012). Manual de Instalación de Tubería para Drenaje Sanitario. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cruz, R., Rojas, G., & Torres, A.. (2012). Proyecto ejecutivo de un colector combinado en la zona nororiente del Estado de México. Facultad de Ingeniería. UNAM.
- Grajales, J. (2004). Construcción, Operación y Mantenimiento de Redes Hidráulicas. Facultad de Ingeniería UNAM, México.
- Grupo Sitsa. (2010). Termofusión. 2010, de Grupo Sitsa Sitio web: <http://www.termofusion.com.mx/termofusion.html>
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2000). Relleno Fluido. Revista Construcción y Tecnología.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2000). Revista Construcción y Tecnología, Relleno fluido. México, D.F.
- Instituto Mexicano del Transporte. (2000). Norma N-CTR-CAR-1-03-002-00 "Alcantarillas tubulares de concreto con junta hermética – especificaciones".
- Instituto Mexicano del Transporte. (2000). Norma N-CTR-CAR-1-07-016/00 Señalamiento y Dispositivos para protección en Obras.
- Instituto Mexicano del Transporte. (2001). Norma N-CTR-CAR-1-02-006/01 Estructuras de concreto reforzado.
- Instituto Mexicano del Transporte. (2002). Norma N-CMT-1-03/02 "Materiales para Subrasante".
- Instituto Mexicano del Transporte. (2004). Norma M-MMP-2-02-056/04 "Revenimiento del Concreto en Estado Fresco".
- Instituto Mexicano del Transporte. (2004). Norma N-CTM-2-02-005/04 "Calidad del concreto hidráulico".
- Instituto Mexicano del Transporte. (2004). Norma N-CTM-3-02/04 "Tubos de concreto con refuerzo".
- Lara, J. (1991). Alcantarillado (segunda edición). México: Facultad de Ingeniería UNAM.
- Martínez, L. (2018). La supervisión de obras. (Tesis de Licenciatura en Ing. Civil). Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México.
- Mendoza, E. (1989). Introducción al proceso constructivo. Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México.
- Morales, D. (2017). Proceso constructivo para el drenaje con el empleo de tubería de polietileno termofusionada. (Tesis de Licenciatura en Ing. Civil). Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México.
- NMX-C-162-ONNCCE: Industria de la Construcción – Concreto - Determinación del Peso Unitario, Cálculo del Rendimiento y Contenido de Aire del Concreto
- NMX-C-435-ONNCCE-2008: Industria de la Construcción - Concreto - Método para Determinar la Temperatura del Concreto Fresco
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-CONAGUA-2011, Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba.
- Norma Oficial Mexicana NOM-031-STPS-2011, Construcción-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo

- Norma Oficial Mexicana NOM-034-SCT2-2011, Señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades urbanas.
- Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal. (2001). Libro 3, Tomo I, Construcción e instalaciones. Obra civil en urbanización.
- Normas de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal. (2001). Libro 4, Tomo II, Calidad de los materiales para obra civil. Materiales compuestos.
- Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación, S.C. (1996). Norma NMX-C-402-1996-ONNCCE Industria de la Construcción - Tubos - Tubos de Concreto Reforzado
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. (1996). "industria de la construcción - tubos - tubos de concreto reforzado con junta hermética - especificaciones. México, D.F.: Editorial: Sin datos.
- Sánchez, F. (2005). Procedimiento constructivo de redes de gas natural en polietileno. (Tesis de Licenciatura en Ing. Civil). Facultad de Ingeniería, UNAM. Ciudad de México.
- Secretaría de comunicaciones y transportes. (1986). Manual de dispositivos para el control del tránsito en calles y carreteras. México, D.F. Secretaria de comunicaciones y transportes.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2014). Manual de señalización vial y dispositivos de seguridad (sexta edición). México: Dirección General de Servicios Técnicos.
- Secretaria del Trabajo y Previsión Social. (2011). Norma Oficial Mexicana NOM-031-STPS-2011, Construcción- Condiciones de seguridad y salud en el trabajo.
- (SEMARNAT [10/12/2017] [En línea] Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/impacto-ambiental-y-tipos/procedimiento-de-evaluacion>)".
- Sin Autor. (2017). Del desagüe del Valle de México al drenaje profundo. mayo - junio 1999, de México desconocido Sitio web: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/del-desague-del-valle-de-mexico-al-drenaje-profundo.html>
- Víctor Yepes Piqueras. (junio 14, 2015). Entibación berlinesa o "muro berlinés". 2017, de Universidad Politécnica de Valencia Sitio web: <http://victoryepes.blogs.upv.es/2015/06/14/entibacion-berlinesa-o-muro-berlines/>