



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS DE LAS NORMATIVAS PARA DIAGNÓSTICOS DE REDES DE
ALCANTARILLADO SANITARIO APLICANDO EL EQUIPO CCTV”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO PREVIO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

GUIDO AYALA ÁVILA

TUTOR:

ING. CECIBEL ZAMBRANO, MSc

SAMBORONDÓN, SEPTIEMBRE 2019

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DE MIEMBRO DE TRIBUNAL

En mi calidad de miembro del tribunal del estudiante **GUIDO GREGORY AYALA AVILA** que cursa en la Escuela de Ingeniería Civil, dictado en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES.

CERTIFICO:

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **ANÁLISIS DE LAS NORMATIVAS PARA DIAGNÓSTICOS DE REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO APLICANDO EL EQUIPO CCTV** , presentado por el estudiante Guido Gregory Ayala Avila con cédula de ciudadanía N °. 0922910427, como requisito previo para optar el Grado Académico de Ingeniería Civil, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

Miembros del Tribunal:

Samborondón, Septiembre de 2019.

CERTIFICACIÓN FINAL DE APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del estudiante **GUIDO GREGORY AYALA AVILA** que cursa en la Escuela de Ingeniería Civil, dictado en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES.

CERTIFICO:

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **ANÁLISIS DE LAS NORMATIVAS PARA DIAGNÓSTICOS DE REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO APLICANDO EL EQUIPO CCTV** , presentado por el estudiante Guido Gregory Ayala Avila con cédula de ciudadanía N °. 0922910427, como requisito previo para optar el Grado Académico de Ingeniería Civil, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

Tutora: Ing. Cecibel Zambrano, Msc.

Samborondón, Septiembre de 2019.

DEDICATORIA

A Dios por guiarme a lograr culminar una meta más en mi vida; a mi familia por ser el apoyo incondicional en todo momento; a los profesores que me han impartido sus conocimientos para ser un buen profesional; y a mis amigos que fui cosechando a lo largo de mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Urbano Caicedo como Director de la Carrera de Ingeniería Civil; a la Ing. Cecibel Zambrano por ser mi tutora y por la ayuda brindada durante el desarrollo de la presente investigación; al Ing. Mario García y al Ing. Oscar Lalama por brindarme su tiempo y conocimientos relacionado a mi tema de estudio; y a los demás docentes y profesionales como el Ing. Harold Molano y el Ing. Fernando Valderrama que fueron vitales para la culminación de mis estudios universitarios.

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Área de estudio y crecimiento demográfico.....	4
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
1.5. Justificación.....	7
CAPÍTULO II.....	8
2 MARCO TEÓRICO	8
2.1. Inclusión del CCTV para inspecciones de tuberías.....	8
2.2. Implementación del CCTV en Guayaquil.....	10
2.3. Sistema de alcantarillado de Guayaquil.....	12
2.3.1. Redes de alcantarillado sanitario.....	12
2.3.2. Cuencas y Plantas de tratamiento.....	16
2.4. Tipos de fallas en tuberías de alcantarillado sanitario.....	18
2.4.1. Fallas Hidráulicas.....	18
2.4.2. Fallas Estructurales.....	19
2.5. Uso del equipo CCTV: Etapas.....	20
2.5.1. Mantenimiento preventivo.....	21
2.5.2. Mantenimiento Correctivo.....	21
2.6. Tipo de inspecciones con CCTV.....	22
2.6.1. Cámara con sistema estacionario.....	22
2.6.2. Cámara con sistema de empuje manual.....	23
2.6.3. Cámara con sistema móvil robótico	24
2.7. Legislación Nacional respecto al uso y aprovechamiento del agua	27
2.7.1. Metodología Local para inspecciones con CCTV.....	28
2.8. Normas extranjeras para inspecciones con CCTV.....	29
2.9. Tipo de tuberías: materiales	30
2.9.1. Tuberías de PVC.....	31
2.9.2. Tuberías de Hormigón: Simple y Armado.....	33
CAPÍTULO III.....	36

3	MARCO METODOLÓGICO	36
3.1.	<i>Método de investigación</i>	36
3.1.1.	Recopilación de datos.....	37
3.1.2.	Fuentes Teóricas.....	37
3.1.3.	Casos Análogos.....	38
3.1.4.	Trabajo de Campo.....	38
3.1.5.	Análisis Estadístico.....	39
CAPÍTULO IV		44
4	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	44
4.1.	<i>Análisis de los casos de estudio</i>	44
4.1.1.	Rehabilitación de redes: Sector Los Vergeles.....	44
4.1.1.1.	Descripción de la muestra.....	44
4.1.1.2.	Clasificación de fallas según normativa local.....	47
4.1.1.3.	Análisis estadístico de fallas en sector Los Vergeles.....	48
4.1.1.4.	Análisis de la norma local para inspecciones con CCTV.....	57
4.1.1.5.	Trabajos correctivos a partir del diagnóstico de redes.....	62
4.1.2.	Rehabilitación de redes: Cuenca “La Chala”	65
4.1.2.1.	Descripción de la muestra.....	65
4.1.2.2.	Clasificación de fallas con la norma española EN-13508.....	70
4.1.2.3.	Análisis estadístico de fallas en redes de la cuenca La Chala.....	75
4.1.2.4.	Análisis de fallas según material de colectores.....	85
4.2.	<i>Análisis de precios unitarios del proyecto “La Chala”</i>	94
4.2.1.	Descripción de la inspección.....	94
4.2.2.	Etapas de la rehabilitación del sistema de alcantarillado.....	95
4.2.2.1.	Primera Etapa: Trabajos preliminares.....	96
4.2.2.2.	Segunda Etapa: Limpieza de colectores.....	99
4.2.2.3.	Tercera Etapa: Detectar fallas con equipo CCTV.....	101
4.2.2.4.	Cuarta Etapa: Diagnóstico de redes de alcantarillado.....	104
4.2.2.5.	Quinta Etapa: Diseño del método correctivo.....	108
4.2.2.5.1.	Sliplining.....	110
4.2.2.5.2.	Pipe Bursting.....	112
4.2.2.5.3.	Rehabilitación a cielo abierto.....	114
4.2.2.5.4.	CIPP (Cured in a place pipe).....	116
4.2.2.5.4.1.	CIPP Hidráulico.....	118
4.2.2.5.4.2.	CIPP E-1.....	119
4.2.2.5.4.3.	CIPP E-2.....	121
4.2.2.6.	Sexta Etapa: Inspección previo a los trabajos correctivos	123
4.2.2.7.	Séptima etapa: Trabajos de rehabilitación de colectores.....	125
4.2.2.8.	Octava Etapa: Verificación con CCTV del tramo rehabilitado.....	129

4.3.	<i>Análisis de la normativa extranjera de la EPM</i>	133
4.3.1.	Descripción de la norma.....	133
4.4.	<i>Propuesta de norma para diagnóstico de redes de alcantariado</i>	134
4.4.1.	Clasificación de fallas.....	134
4.4.1.1.	Fallas Estructurales.....	134
4.4.1.2.	Fallas Operativas.....	137
4.4.2.	Cuantificación de Fallas.....	140
4.4.2.1.	Ubicación en la Circunferencia del tubo.....	140
4.4.2.2.	Relevancia de la falla.....	141
4.4.3.	Registro de Fallas.....	143
4.4.4.	Verificación del Estado Estructural - Operativo de la red.....	144
4.4.5.	Intervalos de grados según estado de la red.....	144
CAPÍTULO V		147
5	CONCLUSIÓN	147
	RECOMENDACIONES:	150
TRABAJOS CITADOS		151

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación geográfica de la ciudad de Guayaquil.....	5
Figura 2.1: Equipo de inspección de tuberías, denominado “mandril”	10
Figura 2.2: Mapa esquemático de cuencas de drenaje del alcantarillado sanitario de la ciudad de Guayaquil	17
Figura 2.3: Inspección usando Circuito Cerrado de Televisión con sistema estacionario.....	23
Figura 2.4: Inspección con CCTV con sistema de empuje manual.....	24
Figura 2.5: Componentes que integran el equipo de CCTV con sistema móvil.....	27
Figura 2.6: Tubería Novafort de PVC – Superficie interna lisa y superficie externa corrugada.....	31
Figura 2.7: Tubería Novaloc de PVC – Superficie interna y externa lisa.....	32
Figura 4.1: Ubicación de colectores inspeccionados en el sector Los Vergeles.....	45
Figura 4.2: Desviaciones de alineación en redes de alcantarillado sanitario.....	48
Figura 4.3: Uso de las manecillas del reloj para localizar fallas transversales.	60
Figura 4.4: Implantación de las estaciones de bombeo que transportan las AASS de la cuenca La Chala.	66
Figura 4.5: Línea de impulsión “Pradera –Las Esclusas”	67
Figura 4.6: Implantación de colectores de la cuenca La Chala clasificados según su diámetro.	69
Figura 4.7: Implantación de colectores de la cuenca La Chala clasificados según el material.....	87
Figura 4.8: Juntas desplazadas y grietas en un colector 400mm	91
Figura 4.9: Porosidad y falta de mortero en las paredes del tubo.	92
Figura 4.10: Depósitos adheridos o sedimentados en las paredes del colector de 250mm.	93
Figura 4.11: Infiltraciones del agua circundante al interior de la tubería.	93
Figura 4.12: Ubicación geográfica de la inspección correspondiente al trabajo de campo.....	95
Figura 4.13: Limpieza de redes de alcantarillado sanitario con el uso de hidrojet	100
Figura 4.14: Equipo CCTV marca IBAK usado para inspecciones en cuenca La Chala	101
Figura 4.15: Inspección de redes de alcantarillado sanitario con equipo CCTV móvil.....	102
Figura 4.16: Registro de fallas dependiendo de su ubicación en la circunferencia del tubo.	104
Figura 4.17: Registro grafico de las fallas detectadas en el tramo inspeccionado.....	105
Figura 4.18: Registro fotográfico de una junta desplazada en el tramo inspeccionado.....	107
Figura 4.19: Registro fotográfico de material de sellado penetrante en el tramo inspeccionado.....	108
Figura 4.20: Aplicación del método de Pipe Bursting.	112
Figura 4.21: Reparación puntual de un colector mediante el método tradicional con zanja.	114
Figura 4.22: Aplicación del método correctivo mediante CIPP Hidráulico.	118
Figura 4.23: Aplicación del método correctivo mediante CIPP Estructural 1.....	120
Figura 4.24: Aplicación del método correctivo mediante CIPP Estructural 2.....	122
Figura 4.25: Introducción del hidrojet en el colector mediante el pozo de inspección.....	124
Figura 4.26: Introducción del hidrojet por el colector a rehabilitar.....	124

Figura 4.27: Inspección con CCTV previo a los trabajos correctivos.....	125
Figura 4.28: Introducción de la manga mediante el pozo de inspección.	127
Figura 4.29: Procesos correspondiente al método correctivo de CIPP con curado UV.	128
Figura 4.30: Registro fotográfico del colector previo y después de la rehabilitación.....	130
Figura 4.31: Esquema de redes de la cuenca La Chala rehabilitadas mediante tecnologías sin zanja. ..	131
Figura 4.32: Puntuación de fallas según su ubicación en la circunferencia del tubo.	140

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Distribución de la población en el cantón de Guayaquil.....	5
Tabla 2.1: Resumen de longitud de redes de alcantarillado inspeccionados hasta el 2015.....	12
Tabla 2.2: Descargas de las aguas servidas del área urbana de Guayaquil.....	13
Tabla 2.3: Catastro de redes de alcantarillado sanitario del sector urbano de Guayaquil	14
Tabla 2.4: Cuencas de drenaje que componen el sistema de alcantarillado sanitario de Guayaquil	16
Tabla 2.5: Características entre los distintos equipos de Circuito Cerrado de Televisión.....	25
Tabla 2.6: Especificaciones Técnicas de las tuberías PVC Novafort.....	32
Tabla 2.7: Especificaciones Técnicas de las tuberías PVC Novaloc.....	33
Tabla 2.8: Especificaciones Técnicas de las tuberías de hormigón simple y hormigón armado.....	34
Tabla 4.1: Tramos inspeccionados en el proyecto de rehabilitación de colectores de Vergeles.....	46
Tabla 4.2: Resumen de los colectores clasificados por el diámetro y tipo de material	47
Tabla 4.3: Tipo de falla: Desviaciones de alineación en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles	50
Tabla 4.4: Tipo de falla: Infiltraciones en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.	51
Tabla 4.5: Tipo de falla: Obstrucciones en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.....	51
Tabla 4.6: Tipo de falla: Abrasión mecánica en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.....	52
Tabla 4.7: Tipo de falla: Corrosión en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.....	52
Tabla 4.8: Tipo de falla: Deformaciones en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.....	53
Tabla 4.9: Tipo de falla: Agrietamientos en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.....	53
Tabla 4.10: Tipo de falla: Agrietamientos en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.....	54
Tabla 4.11: Trabajos de rehabilitación de colectores implementados en el sector Los Vergeles.....	64
Tabla 4.12: Catastro de redes que componen la cuenca “La Chala”	66
Tabla 4.13: Longitudes de redes clasificados según el diametro del colector.	68
Tabla 4.14: Plantilla para registrar datos de colectores inspeccionados.	70
Tabla 4.15: Localización de fallas circunferenciales según las manecillas del reloj.....	71
Tabla 4.16: Tipos de fallas clasificadas según el diámetro de los colectores.	72
Tabla 4.17: Deformaciones (BAA) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	75
Tabla 4.18: Fisura (BAB) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	76
Tabla 4.19: Rotura (BAC) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	77
Tabla 4.20: Falta de mortero (BAD) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	78
Tabla 4.21: Daños en la superficie (BAF) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	78
Tabla 4.22: Material de sellado penetrante (BAI) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	79
Tabla 4.23: Juntas desplazadas (BAJ) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	80
Tabla 4.24: Tuberías porosas (BAN) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”.	80
Tabla 4.25: Reparación defectuosa (BAL) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	81
Tabla 4.26: Terreno visible (BAO) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	81

Tabla 4.27: Raíces (BBA) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	82
Tabla 4.28: Depósito adheridos (BBB) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	82
Tabla 4.29: Depósito sedimentados (BBC) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”	83
Tabla 4.30: Análisis estadístico del tipo de falla: Entrada de tierra (BBD).....	83
Tabla 4.31: Análisis estadístico del tipo de falla: Infiltración (BBF).....	84
Tabla 4.32: Análisis estadístico del tipo de falla: Fugas (BBG)	85
Tabla 4.33: Resumen de longitudes de colectores respecto al material.....	86
Tabla 4.34: Resumen general de colectores de la cuenca La Chala.....	88
Tabla 4.35: Costos de trabajos preliminares previo a rehabilitación de redes de la cuenca La Chala.	97
Tabla 4.36: Levantamiento topográfico de cotas invert de pozos de inspección.....	98
Tabla 4.37: Recolección de información del tramo inspeccionado correspondiente a la cuenca La Chala.	99
Tabla 4.38: Costos de limpieza de redes de alcantarillado de la cuenca La Chala.	101
Tabla 4.39: Costo de inspección de colectores con equipo CCTV.....	103
Tabla 4.40: Plantilla de registro de fallas según normativa europea EN 13508.	106
Tabla 4.41: Costo de rehabilitación de tirantes con tecnología SlipLining.....	111
Tabla 4.42: Costo de rehabilitación de colectores con tecnología Pipe Bursting.....	113
Tabla 4.43: Costo de rehabilitación de tirantes con tecnología Pipe Bursting	113
Tabla 4.44: Costo de rehabilitación de ramales con tecnología Pipe Bursting	114
Tabla 4.45: Costo de rehabilitación de tuberías PVC con apertura con zanja.....	115
Tabla 4.46: Costo de rehabilitación de tuberías Hormigón Armado con apertura con zanja.	116
Tabla 4.47: Criterios para la aplicación de los diferentes tipos de CIPP.	117
Tabla 4.48: Costo de rehabilitación de ramales mediante CIPP Hidráulico.	119
Tabla 4.49: Costo de rehabilitación de tirantes mediante CIPP Hidráulico.....	119
Tabla 4.50: Costo de rehabilitación de ramales y tirantes mediante CIPP E-1.....	120
Tabla 4.51: Costo de rehabilitación de colectores mediante CIPP E-1.....	121
Tabla 4.52: Costo de rehabilitación de colectores mediante CIPP E-2.....	122
Tabla 4.53: Propiedades estructurales de colectores rehabilitados con CIPP.....	129
Tabla 4.54: Clasificación de los daños estructurales de la red.	135
Tabla 4.55: Clasificación de los daños operativos de la red.....	137
Tabla 4.56: Calificación de fallas estructurales según ubicación circunferencial y relevancia	141
Tabla 4.57: Calificación de fallas operativas según su ubicación circunferencial y relevancia	142
Tabla 4.58: Formato de plantilla para registro de daños	143
Tabla 4.59: Intervalos de grados propuesto por la EPM en relación al estado de la red.	145
Tabla 4.60: Criterios de la EPM para el diagnóstico y las medidas a tomar según el estado de la red..	145

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1: Técnicas de la investigación usadas en el presente texto	36
Cuadro 4.1: Tipos de fallas en Sector Los Vergeles clasificadas según el diámetro de los colectores	49
Cuadro 4.2: Tipos de fallas en Sector Los Vergeles clasificadas según el material de los colectores.....	56
Cuadro 4.3: Tipos de fallas en Sector Los Vergeles clasificadas según los años en servicio de los colectores.....	58
Cuadro 4.4: Tipos de fallas clasificadas según su ubicación en el interior del tubo.	61
Cuadro 4.5: Tipos de fallas clasificadas según la severidad de daños.	63
Cuadro 4.6: Tipos de fallas estructurales clasificadas según el diámetro de los colectores.....	73
Cuadro 4.7: Tipos de fallas operativas clasificadas según el diámetro de los colectores.....	74
Cuadro 4.8: Tipos de fallas estructurales clasificadas según el material de los colectores.....	89
Cuadro 4.9: Tipos de fallas operativas clasificadas según el material de los colectores.	90
Cuadro 4.10: Etapas de rehabilitación de redes de la cuenca La Chala	96
Cuadro 4.11: Tecnologías para instalación de tuberías sin necesidad de zanja.	109
Cuadro 4.12: Métodos de rehabilitación implementados en el proyecto La Chala.....	132

GLOSARIO:

- **Alcantarillado sanitario:** Sistema de tuberías que cumplen la función de recolectar el agua residual de una ciudad y transportarla a un sitio de tratamiento.
- **Sistema de alcantarillado combinado:** Se refiere a que las aguas residuales y aguas pluviales se recolectan en conjunto y son transportadas en el mismo sistema de redes.
- **Sistema de alcantarillado separado:** Se refiere a que las aguas residuales y aguas pluviales son transportados en sus respectivas redes de tuberías, y son tratados cada uno por separado.
- **Nivel Freático:** se refiere a la distancia que existe entre la presencia de agua en el suelo desde el nivel de la superficie.
- **Durabilidad:** Se refiere a la propiedad de un material a conservar sus características mecánicas durante el paso de los años.
- **CCTV:** Equipo tecnológico denominado Circuito Cerrado de Televisión que mediante cámaras permite monitorear lugares donde resulta difícil al acceso del hombre.
- **Pozo de inspección:** También llamado cámaras de inspección que cumplen la función de permitir al operador acceder hacia las redes subterráneas.
- **Mandril:** Equipo de inspección para tuberías de alcantarillado que se basa en detectar obstrucciones.
- **Colector:** Se refiere a la tubería que cumple la función de recolectar el agua servida de las redes terciarias, y transportarlas un lugar de tratamiento.

- **Tirantes:** Son tuberías que descargan el agua residual a los pozos de inspección.
- **Caudal:** Se refiere a la cantidad de un fluido que es transportado por un conducto en un determinado tiempo.
- **Estación de bombeo:** Son estructuras compuestas por bombas y válvulas destinadas a recibir las aguas residuales de una cuenca de drenaje que son transportadas mediante gravedad. A través de las bombas logra impulsar las aguas servidas a un lugar con mayor elevación.
- **Cuencas de drenaje:** Se le denomina al sistema de alcantarillado sanitario que está compuesto por tuberías que recolectan el agua residual de un área específica.
- **Rigidez:** Es la propiedad de un material que corresponde a la resistencia a doblarse ante ser sometidas a cargas externas.
- **Hermeticidad:** Capacidad de un material de mantenerse impermeable ante el paso de fluidos.
- **Cargas superficiales:** Cargas que se encuentran distribuidas alrededor de la superficie, que puede ser debido a tráfico, peatones y entre otros.
- **Diámetro nominal:** Hace referencia al diámetro interno de la tubería.

RESUMEN

Hoy en día, es imprescindible para el crecimiento urbano de una ciudad contar con un óptimo sistema de recolección de las aguas residuales, y así ofrecer condiciones de vida dignas a los que habitan en ella. Por tal motivo, para la ciudad de Guayaquil se ha vuelto prioridad brindar cobertura de redes de alcantarillado sanitario a toda la población, abasteciendo actualmente a un 90% aproximadamente. Cabe mencionar, que las entidades encargadas del control y manejo del agua de la ciudad de Guayaquil han incorporado nuevas tecnologías para la inspección y rehabilitación de las redes de alcantarillado, con la finalidad de conservar su tiempo de vida útil, reduciendo los costos de ejecución y el impacto social. Sin embargo, aún existen ambigüedades respecto a los criterios a considerar para diagnosticar el estado de las tuberías, y esto es debido que en Ecuador no hay una normativa estandarizada que permita calificar el estado de las tuberías bajo un mismo criterio. Si bien existe la metodología interna para inspecciones de redes de alcantarillado que fue propuesta por la entidad concesionada en el manejo del agua de la ciudad, cabe mencionar que no está aprobada por ninguna institución del Estado, por lo cual no se considera estándar.

En el presente proyecto se procede a analizar la aplicación de las normativas extranjeras para el diagnóstico de redes de alcantarillado sanitario mediante el uso del equipo CCTV, y contrastarla con la metodología local utilizada en la ciudad de Guayaquil, con la finalidad de proponer mejoras en la etapa de diagnóstico. Además se pretende comparar los procesos de inspecciones acontecidas durante los últimos 10 años, tomando como caso de estudio a los sectores de Los Vergeles en el 2008 y La

Chala que comenzó en 2016 y se mantienen trabajos hasta la actualidad. Por otro lado, se realizara un análisis estadístico, económico y general de los procesos de rehabilitación, describiendo como se ha ido actualizando los métodos correctivos a partir del alcance que brinda los resultados de las inspecciones con el equipo CCTV.

Pues bien, el presente estudio puede beneficiar a la empresa pública encargada de llevar control de los sistemas de aguas servidas, debido que se podría obtener mayor certeza de la metodología empleada en Guayaquil para diagnósticos de las redes de alcantarillado, obteniendo mejores resultados en la toma de decisiones, y así, priorizar las inversiones y recursos para que sean intervenidos aquellos sistemas de tuberías que más lo requieran.

Palabras clave: Redes de alcantarillado sanitario, CCTV, Inspecciones de tuberías, tecnologías de rehabilitación sin zanja, diagnostico de redes, Circuito Cerrado de Televisión, aguas residuales.

ABSTRACT

Nowadays, it is essential for the urban growth of a city to have an optimal wastewater collection system, and thus offer decent living conditions to those who inhabit it. For this reason, for the city of Guayaquil it has become a priority to provide coverage of the sanitary sewer system to the entire population, currently supplying approximately 90%. It is worth mentioning that the entities in charge of the control and management of water in the city of Guayaquil have incorporated new technologies for the inspection and rehabilitation of sewer pipes, with the aim of conserving their useful life, reducing execution costs and the social impact. However, there are still ambiguities regarding the criteria to be considered to diagnose the condition of the pipes, and this is because in Ecuador there is no standardized standard that allows qualifying the condition of the pipes under the same criteria. Although there is an internal methodology for sewer system inspections that was proposed by the concessioned entity in the city's water management, it should be specified that it is not approved by any state institution, so it is not considered standard.

This project will proceed to analyze the application of foreign regulations for the diagnosis of sanitary sewer pipes through the use of CCTV equipment, and contrast it with the local methodology used in the city of Guayaquil, with the proposal to propose improvements in the diagnostic stage. In addition, it is expected to compare the inspection processes that have occurred during the last 10 years, taking as a study sample the sectors of Los Vergeles in 2008 and La Chala that began in 2016 and work was carried out until today. On the other hand, a statistical, economic and general

analysis of the rehabilitation processes is carried out, describing how the corrective methods have been updated from the scope that provides the results of the inspections with the CCTV equipment.

Well, the present study can benefit the public company in charge of carrying out the control of sewage systems, because it could obtain greater certainty of the methodology used in Guayaquil for diagnoses of sewer pipes, obtaining better results in decision making, and thus, prioritize investments and resources so that those pipe systems that most require it are intervened.

Keywords: sanitary sewer system, CCTV, Pipe inspections, trenchless rehabilitation technologies, diagnosis of pipes, Closed Circuit Television, wastewater.

CAPÍTULO I.

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Desde siempre, el agua ha sido un recurso vital para que el ser humano pueda tener condiciones de vida dignas. Bajo el punto de vista sanitario, es necesario que el manejo del agua, ya sea potable o de alcantarillado, se manejen de forma adecuada y se logre abastecer todas las necesidades de la población (Lopez, 1997). Hoy en día, Guayaquil se ha convertido en una de las pocas ciudades del Ecuador que ha podido renovar sus sistemas de redes subterráneas, reemplazando los antiguos de asbesto cemento por tuberías de materiales que reduzcan el impacto en la naturaleza, como el PVC. Este plan de renovación de las tuberías subterráneas comenzó en 1998 con el proyecto de la regeneración urbana impulsado por el Municipio de Guayaquil, que inició desde el centro de la ciudad con la construcción del malecón 2000, y fue abarcando a los otros sectores de la ciudad (Perrone, 2012).

Hasta antes de 1998, las tuberías frecuentemente no cumplían con su ciclo de vida útil, ya que presentaban fallas que no se podían detectarlas a tiempo, provocando el colapso total o parcial de la tubería, siendo este un problema para la ciudadanía en Guayaquil, debido que se generaban afectaciones como el hundimiento de una calle, desbordes de las aguas en la superficie, entre otros (Bajaña, 2016). Si bien, con el proyecto de la regeneración urbana se logró reemplazar las tuberías más antiguas, es conocido que al pasar el tiempo, están expuestas a sufrir inconvenientes debido son vulnerables a algunos factores como: el nivel freático, las condiciones geológicas e

hidrológicas del entorno, la calidad del material, ataques químicos, entre otros; causando que se vea afectado su durabilidad. Por lo cual, ante tal motivo se volvió necesario buscar una manera para llevar registro y control sobre el estado de las redes de tuberías, con el fin de verificar que se encuentren trabajando correctamente según la función para la que fue creada.

En la ciudad de Guayaquil, la entidad encargada del manejo del agua potable y alcantarillado, es la empresa privada Interagua, perteneciente al grupo Veolia Environment, la cual ganó el contrato de concesión en el año 2001. Entre los servicios que ofrece Interagua, están los mantenimientos preventivos, con el fin de conservar por mayor tiempo la vida útil de las tuberías y así, que trabajen en las condiciones adecuadas (Bajaña, 2016). Por consiguiente, esta empresa ha implementado constantemente nuevas tecnologías para conocer el estado real de las tuberías, y hoy en día ha logrado optimizar los procesos de inspección realizándolos de manera confiable y rápida. Es así, como se ha ido innovando en los procesos de inspecciones, empleando nuevas tecnologías para diagnosticar las tuberías, reemplazando los equipos más antiguos como los mandriles de metal, por una tecnología más actualizada como el Circuito Cerrado de Televisión (CCTV), que es usada alrededor del mundo.

En la actualidad, es muy común ver la aplicación del Circuito Cerrado de Televisión para revisión de redes de sistemas de alcantarillado, debido que ofrece facilidades de trabajo, sin embargo aunque se ha innovado los equipos con que se hacen las inspecciones, en Ecuador aún existen muchas ambigüedades en la metodología para

diagnosticar correctamente el estado de la tubería, lo cual genera varios problemas como la toma de decisiones a partir de los resultados de las inspecciones con Circuito Cerrado de Televisión. En el país no existe una normativa estandarizada vigente con una clasificación de daños que permita diagnosticar redes, como si existen en otros países como Colombia, España o Estados Unidos, que ofrecen escalas sobre la criticidad de fallas que se provocan en las tuberías. Algunos criterios a basarse en las normativas son el estado estructural y operacional de la tubería, el tipo de material, el tiempo de vida, profundidad, diámetro, características geológicas, construcción o el número de acometidas (Hernandez, 2011)

1.2. Planteamiento del problema

En el año 2007, en el Ecuador se incorporó la tecnología de Circuito Cerrado de Televisión convencional para mejorar los procesos de inspecciones en tuberías de alcantarillado, siendo el equipo que se sigue usando comúnmente (INTERAGUA, 2015). Sin embargo, en la actualidad se conoce que esta técnica puede presentar deficiencias, debido a la falta de un personal capacitado para manejar adecuadamente los equipos de inspección, pudiendo ocasionar dudas en el diagnóstico y valoración del estado real de la tubería.

Debido a que los sistemas de tuberías para alcantarillado cumplen la función de transportar grandes caudales de agua servida de una ciudad, es necesario que estén en óptimas condiciones, por lo cual es importante que las inspecciones con CCTV sean realizadas de forma correcta, sin embargo, aún existe problemas en la metodología empleada para diagnosticar una tubería, ocasionando probablemente que se tomen

malas decisiones. Ante un mal diagnóstico de la tubería, puede generar que fallas leves como las obstrucciones, grietas, corrosión interna, conexiones erradas, uniones defectuosas y entre otros; se conviertan en problemas graves a futuro como el hundimiento del pavimento de la calle producido por el colapso de una tubería (Hernandez,2011).

Hoy en día, existen variedad de metodologías extranjeras que son empleadas para mantenimientos preventivos como la PACP, usada en Estados Unidos, la normativa propuesta por Water Research Center de Inglaterra, o la EN 13508 de Colombia. Con esta investigación se busca analizar casos reales comparando la metodología empleada actualmente en Ecuador, y contrastarla con normas extranjeras aplicadas al diagnóstico de tuberías, donde se incorpore la técnica de Circuito Cerrado de Televisión. Por lo cual, se genera la siguiente interrogante: ¿Cómo a partir del análisis de una metodología extranjera para inspecciones de tuberías, usando la tecnología de Circuito Cerrado de Televisión, pueden ser evaluados casos reales ya diagnosticados según criterios basados en la metodología local usada en Guayaquil?

1.3. Área de estudio y crecimiento demográfico

El presente trabajo de investigación enfocará como punto de estudio a proyectos de rehabilitación del área urbana del cantón de Guayaquil, perteneciente a la provincia del Guayas en la región de la costa, siendo el más poblado del Ecuador, ya que cuenta con el 15,8% de los habitantes en el país, citando datos del CENSO INEC 2010 (INTERAGUA, 2015).

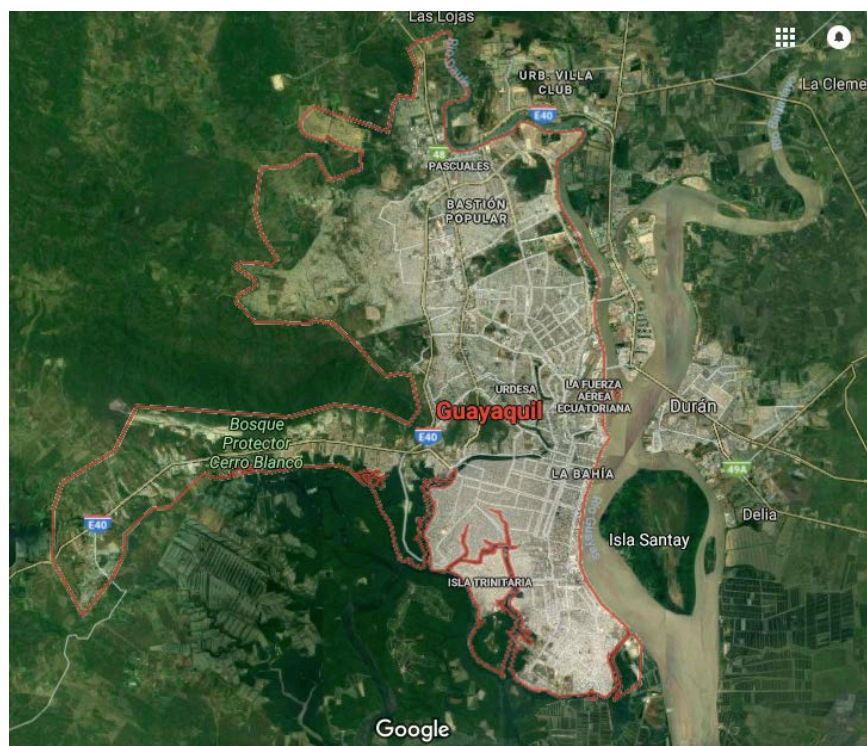


Figura 1.1: Ubicación geográfica de la ciudad de Guayaquil

Fuente: (Google)

En la tabla 1.1, se observa que hasta el 2010, el cantón de Guayaquil tenía 2'350.915 habitantes, perteneciendo la mayoría al área urbana con una población de 2'291.158 personas, y el restante distribuidos en parroquias rurales. Según hasta el Censo 2010, el área urbana de Guayaquil contaba con 652.882 viviendas aproximadamente, representando el 97% del total existente del cantón.

Tabla 1.1: Distribución de la población en el cantón de Guayaquil.

Fuente: CENSO INEC, 2010

Área urbana de Guayaquil	J.G. Rendón	El morro	Posorja	Puna	Tenguel	TOTAL
2.291.158	11.897	5.019	24.136	6.769	11.936	2.350.915

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar un análisis general de las diferentes metodologías extranjeras y la local aplicadas al diagnóstico de redes de alcantarillado sanitario mediante el uso del CCTV, a partir del estudio de casos reales de inspecciones realizadas durante los últimos 10 años en Guayaquil, determinando su importancia en la toma de decisiones.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la aplicación de las normativas extranjeras para el diagnóstico de redes de alcantarillado sanitario mediante el uso del equipo CCTV, y contrastarla con la metodología local utilizada en la ciudad de Guayaquil.
- Realizar un análisis comparativo de los procesos de inspecciones de redes de alcantarillado sanitario acontecidas en los sectores de Los Vergeles y La Chala, y proceder analizar la aplicación del uso del equipo CCTV en ambos casos, considerando que tienen un rango de 10 años de diferencia.
- Analizar el alcance que ha brindado los resultados de las inspecciones con el equipo CCTV para la incorporación de nuevas tecnologías de rehabilitación incorporadas durante los últimos 10 años.
- Proponer una alternativa de norma para diagnóstico de redes de alcantarillado sanitario basado en los criterios y estándares de normativas y metodologías extranjeras, analizados en el presente texto.

1.5. Justificación

Ante la incorporación de nuevos equipos aplicados a los mantenimientos preventivos para detección de fallas en tuberías de alcantarillado sanitario, surge la importancia de realizar un estudio respecto a la metodología usada en Ecuador para diagnosticar el estado de las redes, y así aprovechar en su totalidad estas nuevas tecnologías, garantizando una buena valoración respecto a los resultados que se obtienen de las inspecciones.

La presente investigación sería de gran aporte para la empresa pública EMAPAG, debido que se podría obtener mayor certeza de la metodología empleada en Guayaquil para diagnósticos de las redes de alcantarillado, obteniendo mejores resultados en la toma de decisiones, y así, priorizar las inversiones y recursos para que sean intervenidos aquellos sistemas de tuberías que más lo requieran.

Con el buen uso de las nuevas tecnologías basado en una metodología que le permita al operador diagnosticar correctamente las tuberías, se podría prevenir que se generen problemas graves a largo plazo, evitando que fallas leves se conviertan en una molestia para la sociedad, como el hundimiento de una calle debido al colapso de una tubería. Adicionalmente, este trabajo abriría los caminos a investigaciones posteriores que sigan aportando para la implementación de nuevas tecnologías, ya que podría usar este trabajo como punto de partida hacia la formulación de nuevos estudios con el fin de optimizar los procesos de detección de fallas en tuberías de alcantarillado.

CAPÍTULO II.

2 MARCO TEÓRICO

2.1. Inclusión del CCTV para inspecciones de tuberías

La historia del CCTV comienza en 1942, cuando el científico alemán Walter Bruch crea el primer equipo de video vigilancia, con el objetivo de ser usado en guerras, y monitorear los lanzamientos de misiles desde un sitio seguro. Con el pasar los años, la tecnología fue implementándose para otras áreas, desde inspecciones al espacio por parte de la NASA hasta ser usado en monitorear la seguridad de la reyes de Inglaterra (Correa, 2017). Sus siglas CCTV hacen referencia al sistema de Circuito Cerrado de Televisión, que consisten en observar imágenes y videos a través de cámaras, donde dichas imágenes son proyectadas directamente al computador o monitor del operador. Se diferencia de las señales de televisión abiertas, debido que las imágenes transmitidas por la tecnología de CCTV solo pueden ser vistas por las personas autorizadas (Dossier, 2010).

En 1960, en Inglaterra se decide implementar la tecnología CCTV para realizar inspecciones en tuberías de alcantarillado por primera vez. El uso de esta tecnología surgió debido a la necesidad de conocer el estado de las tuberías, lo cual requerían de un equipo confiable para realizar mantenimientos rutinarios a sus redes subterráneas, y así poder observar el estado interior de las tuberías. Desde entonces, este método se ha convertido en una herramienta importante para la renovación y rehabilitación de las redes, debido que permite mayor seguridad y facilidad de

inspeccionar tuberías de diámetros pequeños donde al hombre le resulta difícil acceder (Robalino, 2015).

Anteriormente, la metodología empleada para localizar fallas en las redes de alcantarillado eran las inspecciones a cielo abierto, que consistía en excavar una zanja a lo largo de la tubería para observar su estado, y analizar si existía una falla para proceder a renovar o repararla, lo cual derivaba en mayor mano de obra y tiempo (Mendoza, 2013). Por otro lado, el uso del equipo de Circuito Cerrado de Televisión ofrece optimización en todo el proceso, debido que simplemente se necesita introducir el equipo en la tubería a través de los pozos de inspección, sin necesidad de excavar en la superficie, siendo importante limpiar la tubería previo a realizarse la inspección (EMAPAG, Rehabilitación del sistema de alcantarillado sanitario, 2015).

Con el pasar los años, si bien se pudo conocer el estado de las tuberías a través de imágenes, se volvió necesario crear normativas para clasificar los tipos de fallas que eran detectadas mediante el uso del CCTV. Por tal motivo, en Inglaterra se creó la primera norma para diagnóstico de tuberías en el año 1978, manteniéndose vigente hasta la actualidad.

Hoy en día, existen otras nuevas normativas que son implementados en varios países para realizar inspecciones en tuberías. Dichas normativas clasifican los problemas según la característica de la falla, ya sea estructural o de funcionamiento (Lopez, 2009). Sin duda, esta tecnología ha optimizado los procesos de los mantenimientos, logrando detectar fallas a tiempo permitiendo repararlas, con el fin de alargar el tiempo de vida útil de las tuberías.

2.2. Implementación del CCTV en Guayaquil

Desde 1998 que se empezó a remodelar la ciudad de Guayaquil con el proyecto de la regeneración urbana, fue necesario renovar las redes de alcantarillado, conformado en su mayoría por tuberías que habían excedido su tiempo de vida útil, y así renovarlas por otras de material que sea más amigable para el medio ambiente y a la necesidad de la población, como el PVC, hormigón armado, entre otros (CLH, 2010).

Después del 2001, siendo el año en que Interagua toma concesión del control y manejo del sistema de agua potable y alcantarillado de la ciudad, se fue implementando nueva tecnología con el transcurso de los años, siendo el equipo conocido como mandril, uno de los pioneros en usarse para inspecciones de tuberías en Ecuador, sin embargo su aplicación era limitada al no permitir conocer visiblemente el estado de las tuberías, como se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1: Equipo de inspección de tuberías, denominado “mandril”

Fuente: (CLH, 2010)

Por lo tanto, en el año 2007 incorporan otro tipo de tecnología conocida como Circuito Cerrado de Televisión (CCTV), siendo el equipo que es usado hasta la actualidad. Se usó este nuevo equipo, con el propósito de conocer de manera más precisa el estado

estructural e hidráulico de la tubería, y así dar un diagnóstico correcto a la tubería, pudiendo aumentar la cantidad de inspecciones por año (Florsheim, 2011).

Dentro del equipo que maneja la entidad operacional, se encuentra varios tipos según el diámetro de tubería que se desee inspeccionar (INTERAGUA, 2015). Entre esos están:

- Para inspecciones en tuberías de diámetros pequeños de 100 a 300mm, cuentan con dos equipos de CCTV con empuje manual. Se utiliza el modelo “Sieker 3.200”, que es patente de la marca Aries, teniendo una longitud de alcance del cable de hasta 60m.
- Para inspecciones en tuberías de diámetros de 200 a 1500mm, cuentan con dos equipos de CCTV de tipo cámara de poste. Se utiliza el modelo “pole cam 3000mm”, que es patente de la marca Aries.
- Para inspecciones en tuberías de diámetros 150 a 1400mm, cuentan con dos equipos de CCTV de inspección televisiva en colores, de la marca Cues.

Desde que se implementó la tecnología de CCTV en Guayaquil, se pudo inspeccionar una longitud de 86450m de tubería hasta 2015, determinando que las fallas más frecuentes son las infiltraciones de los fluidos y el pandeo de las tuberías debido a cargas externas. A continuación se muestra las longitudes inspeccionadas por años, siendo el 2009 el año donde se realizó inspecciones en mayor cantidad de longitudes con 35820m de tuberías (INTERAGUA, 2015).

Tabla 2.1: Resumen de longitud de redes de alcantarillado inspeccionados hasta el 2015

Fuente: (INTERAGUA, 2015)

Año	Longitud de tubería inspeccionada con CCTV
2008	23767 m
2009	35820 m
2010	20143 m
2011	2341 m
2012	340 m
2013	504 m
2014	3140 m
2015	486 m
TOTAL	86450 m

2.3. Sistema de alcantarillado de Guayaquil

2.3.1. Redes de alcantarillado sanitario

Las redes de alcantarillado sanitario de la ciudad de Guayaquil trabajan de manera independiente al sistema pluvial, y cumplen la función de recolectar todas las aguas residuales que se genera por el uso de la población, transportándolas a un punto de descarga, ya sea una estación de bombeo o directamente a la planta de tratamiento (Abad, 2016).

Una vez tratada el agua residual es devuelta al medio ambiente, siendo casi el 98% descargado al Rio Guayas. En la tabla 2.2, se puede analizar los datos que hasta el último censo poblacional en el 2010, casi el 60,65% de las viviendas descargaban sus aguas servidas al sistema de alcantarillado sanitario. Luego hasta mitad del año 2015, la entidad operativa del manejo del agua de Guayaquil pudo brindar servicio de alcantarillado sanitario a un 77% del total de la población de Guayaquil, abarcando un área de casi 10000 Ha. superando una longitud total de tubería de 4300 km

aproximadamente, y hasta la actualidad el servicio de alcantarillado sanitario ha aumentado casi a un 90% (INTERAGUA, 2015).

Tabla 2.2: Descargas de las aguas servidas del área urbana de Guayaquil.

Fuente: (INTERAGUA, 2015)

Descarga de las aguas servidas	Total (viviendas)	Área Urbana de Guayaquil
Al sistema público de alcantarillado	364.380	60,65%
A pozo séptico	177.152	29,49%
A pozo ciego	34.660	5,77%
Directo al mar, río, lago, entre otros	4.953	0,82%
Letrina	5.792	0,96%
No tiene	13.878	2,31%
TOTAL	600.815	100%

Como se mencionó anteriormente, la longitud total del sistema de tuberías de alcantarillado sanitario es alrededor de 4330 km. Vale mencionar que los materiales de tuberías más utilizados son el hormigón armado y el PVC, sin embargo también son empleados otro tipo de materiales, como se muestra en la tabla 2.3; donde se aprecia el catastro de las redes de alcantarillado sanitario del sector urbano de la ciudad de Guayaquil, clasificando la longitud de tuberías, según el material y diámetro (INTERAGUA, 2015).

Tabla 2.3: Catastro de redes de alcantarillado sanitario del sector urbano de Guayaquil

Fuente: (INTERAGUA, 2015)

Diámetro (mm)	Tipo de Material											TOTAL
	Asbesto Cemento	Acero	GRP	Hormigón Armado	Hormigón Ductil	HF	Hormigón Simple	PEAD	PRFV	PVC	Otros	
50							10,00			76,42		86,42
75										20,00		20,00
90		6,84					6,75	25,30		113,10	2,92	154,91
100				4,89		2,38	67,21			9.077,44	92,54	9.244,46
106							39,40					39,40
110				65,77	7,00	6,67	885,93	28,30		79.749,75	346,56	81.089,98
149										25,10		25,10
150				1.064,98			10.268,26			30.704,69	587,37	42.625,30
160		42,16		3.231,00	14,90		1.040.425,76			1.111.371,31	828.477,44	2.983.562,57
163										158,02		158,02
165										19,00		19,00
175				6,74			56,00			178.040,40	4.207,09	182.310,23
200	29,33	12,61		39.129,73	382,07	17,40	141.666,70	137,81		217.894,60	53.907,96	453.178,21
220										19.284,61	260,32	19.544,93
225							13,90					13,90
250				16.532,38	42,69		40.749,97	307,45		57.706,26	13.944,59	129.283,34
254										34,40		34,40
275										5,30		5,30
280					3,09					1.350,76		1.353,85
300			384,00	18.422,04	59,23		39.679,62	650,71		28.119,85	8.733,35	96.048,80
315										2.423,59	28,54	2.452,13
325							43,00					43,00
330											237,50	237,50
335							96,00			783,76		879,76
350	21,32			1.841,48			3.395,16			3.867,14	588,99	9.714,09
375							4.082,90			89,73	492,26	4.664,89
400		966,20		13.089,28	1.098,16		26.738,75	90,23		19.817,32	3.765,81	65.565,75
440										661,85		661,85
450		371,77		5.200,92	461,85		12.182,54	47,90		1.678,60	628,56	20.572,14
500		138,66		20.876,28	1.648,51		5.874,68	9.471,46		3.114,08	1.153,94	42.277,61
525				3.298,82			163,00			52,14	391,78	3.905,74
540										1.924,56		1.924,56
550				2.273,34			127,40	1.825,30		272,00		4.498,04
560								637,73				637,73
600		345,62	313,78	24.761,98	2.420,42		1.951,16	70,80		1.650,78	1.617,55	33.132,09
650				1.334,67						901,91		2.236,58
675				2.661,96			100,51			631,59	53,11	3.447,17
685				869,85								869,85
690				41,73								41,73
700		4.822,04		2.404,03				24,00				7.250,07
750		739,42		7.625,30			906,18			1.798,29	56,20	11.125,39
760				176,00						315,50		491,50
775				1.353,65								1.353,65
800		931,47	190,43	2.736,60	35,25		87,60	24,00				4.005,35
812				102,90								102,90
825				3.077,37	44,16					86,70	511,37	3.719,60
850				813,17								813,17
900		1.873,50		6.641,87	1.267,75		98,12	252,00		25,00	529,80	10.688,04
975				159,03	70,80		72,80			415,72		718,35
980				880,95								880,95
1000			689,42	3.416,23	70,50				74,76	93,40		4.344,31
1050				4.441,75								4.441,75
1100				396,08					1.759,76			2.155,84
1125				965,29							749,76	1.715,05
1150				863,60								863,60
1200			330,14	1.862,74			142,15				256,64	2.591,67
1250				305,30								305,30
1300				850,55								850,55
1350		639,70		5.910,84								6.550,54
1400		57,28		309,10								366,38
1425				296,42								296,42
1431									79,98			79,98
1500				4.537,36			997,47				5.346,27	10.881,10
1600										16,00		16,00
1650											2.068,63	2.068,63
1800			259,81								91,00	350,81
1875					21,14							21,14
2000											2.663,11	2.663,11
2250				2.126,38								2.126,38
Otros				500,77			4.078,46			1.969,46	11.509,42	18.058,11
Total General	50,65	10.947,27	2.167,58	207.461,12	7.647,52	26,45	1.335.007,38	13.592,99	1.914,50	1.776.340,13	943.300,38	4.298.455,97

Dentro de los componentes de un sistema de alcantarillado sanitario que trabaja de manera independiente como el de Guayaquil, está conformado por: las tuberías domiciliarias que son las encargadas de recolectar el agua servida de todas las casas y conducirlos a las redes terciarias que comúnmente están ubicadas en las aceras al exterior de las viviendas, que cumplen la función de direccionar los efluentes a los pozos de inspección de cada cuenca de aportación, donde los colectores secundarios y primarios que son las tuberías de mayor diámetro, transportarán el agua a algún cuerpo receptor.

Cabe conocer que cada integrante que conforma el sistema de alcantarillado sanitario (tirantes, terciarias, colectores secundarios y primarios) tiene distintos diámetros, según el caudal de agua que transportan. Por ejemplo, las redes terciarias manejan diámetros alrededor de 150mm hasta 200mm, y abarcan alrededor del 87% del total de tuberías de Guayaquil.

En los tirantes, que son las tuberías que conectan a los pozos de inspección, se encuentran diámetros desde 150mm hasta 300mm, y conforman el 4% del sistema de alcantarillado sanitario. Para los colectores secundarios comúnmente se utilizan tuberías de diámetros de 150mm a 400mm aproximadamente, y corresponden al 6% del total de redes de tuberías. Por último, los colectores principales que son las tuberías con mayor diámetro, desde 450mm hasta 2400mm y representan el 3% (Florsheim, 2011).

2.3.2. Cuencas y Plantas de tratamiento

La cobertura de la red pública de alcantarillado sanitario de Guayaquil abarca 7 cuencas, donde se descargan las aguas residuales de ciertos sectores específicos de la ciudad, y son transportados mediante pendiente a través de tuberías hasta llegar a una estación de bombeo o directo a una planta de tratamiento. Actualmente, la ciudad de Guayaquil cuenta con una red de colectores que recolectan las aguas residuales abarcando un 90% del servicio de la ciudad. Los caudales de aguas servidas que se manejan en Guayaquil abarcan alrededor de $280,000m^3 / dia$ en temporada de sequía, el cual aumenta en épocas lluviosas hasta un rango alrededor de $400,000m^3 / dia$ hasta $450,000m^3 / dia$ (EMAPAG-EP, 2016).

A continuación se procede a explicar las cuencas con sus respectivas plantas de tratamiento que componen el sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Guayaquil. Como se muestra en la tabla 2.4, existen 7 cuencas que se dividen según el sector que recolectan el agua servida. Las cuencas más grandes son la zona Sur de las Esclusas y la zona Norte de los Merinos con un área de 5193Ha y 9146Ha respectivamente.

Tabla 2.4: Cuencas de drenaje que componen el sistema de alcantarillado sanitario de Guayaquil

Fuente: (EMAPAG-EP, 2016).

ID	Cuenca
1	P.T. Las Esclusas
2	P.T. Los Merinos
3	P.T. Pascuales
4	P.T. Daular
5	P.T. Oeste
6	P.T. Puerto Azul
7	P.T. Vía a la costa

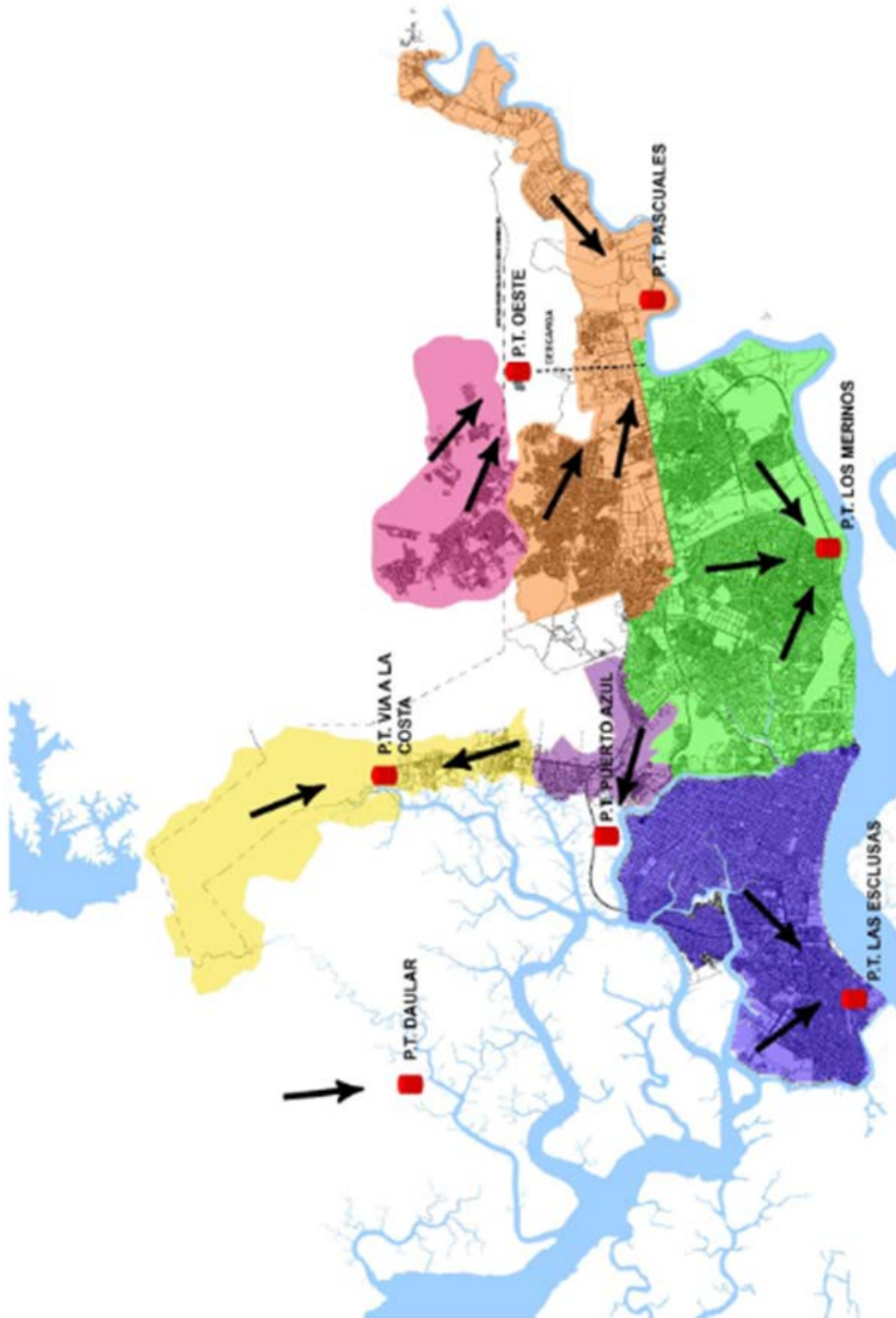


Figura 2.2: Mapa esquemático de cuencas de drenaje del alcantarillado sanitario de la ciudad de Guayaquil

Fuente: (Interagua, 2018)

2.4. Tipos de fallas en tuberías de alcantarillado sanitario

Las tuberías de alcantarillado sanitario están expuestas a ciertos factores externos como gases tóxicos, nivel freático, exceso de carga o mala calidad del suelo, que podrían alterar o atenuar su tiempo de vida útil. Por tal motivo, es importante la implementación de planes de mantenimiento preventivo y de rehabilitación, con el fin de conocer el estado en el que se encuentra las redes, y así solucionar posibles fallas leves que con el transcurso de los años podrían empeorar e incluso llegar a un colapso, siendo la falla más crítica. Cabe destacar que existen tipos de falla como se muestra a continuación:

2.4.1. Fallas Hidráulicas

Las fallas hidráulicas son las que podrían alterar el funcionamiento operativo del sistema, es decir aumentar o disminuir el caudal para el cual fue diseñado (Salud, 2005). Dentro de las fallas más comunes que suelen encontrarse, están:

- **Obstrucciones:** son causadas por atascamiento o sedimentación de algún objeto en el interior de la tubería, impidiendo el paso de las aguas residuales. Los causantes de dichas fallas suelen ser por: rocas, vidrios, grasas, plásticos y raíces.
- **Infiltraciones:** son causadas por desprendimiento de los sellos en las juntas o debido a grietas a lo largo del cuerpo del tubo. Es preocupante en ciudades que están situadas cerca de cuerpos de agua y el nivel freático este muy cerca de la superficie, debido que podría aumentar el caudal considerablemente.

- **Conexiones erradas/clandestinas:** cuando el sistema de alcantarillado sanitario es separado del pluvial, es importante considerar que están diseñados para dicho caudal netamente de agua residuales. Es común, ver en algunas ciudades que existan conexiones ilegales de aguas lluvias conectadas al sistema de alcantarillado sanitario, provocando un aumento del caudal.
- **Pérdida de capacidad:** Normalmente ocurre en tramos donde el fluido circula a una baja velocidad, debido a una pendiente mínima. Adicionalmente, cuando las arenas u otros objetos se sedimentan disminuyen la velocidad, perjudicando el buen funcionamiento del sistema.

2.4.2. Fallas Estructurales

Las fallas estructurales son las que podrían atenuar el soporte o armazón del sistema, que al no localizarlas a tiempo podrían desencadenar en un colapso (Hernandez,2011). Dentro de las fallas más comunes que suelen encontrarse, están:

- **Corrosión interna:** se producen debido al constante contacto de las paredes internas del tubo con los gases tóxicos producidos de las aguas residuales. Se presentan con manchas marrones y desprendimiento del material, siendo crítico en las tuberías de hormigón armado, debido a la desprotección de las varillas de acero.
- **Desacople de juntas:** Desplazamiento entre las juntas de tuberías, una en relación a la otra.
- **Deflexiones:** Se presentan deformaciones de manera vertical u horizontal a lo largo del cuerpo del tubo, perdiendo su forma.

- **Grietas:** Son comunes en las tuberías de alcantarillado debido a exceso de cargas externas. Pueden provocarse de manera longitudinal o transversal, y se presentan como una línea que supera el 40% del espesor del tubo.
- **Fracturas:** Cuando la grieta no se la localiza a tiempo podría provocar fallas más graves como las fracturas, que son separaciones en forma de líneas que superan en su totalidad el espesor del tubo.
- **Colapso:** Destrucción total de la tubería. Requiere reemplazo de carácter obligatorio.

2.5. Uso del equipo CCTV: Etapas

En ciudades como Guayaquil, donde el sistema de recolección de las aguas servidas y lluvias se transporta por tuberías, es importante conocer en qué estado se encuentran a lo largo de su vida útil, con el fin de evitar problemas a las personas y al ambiente, para lo cual se necesita la implementación del equipo de CCTV. Dentro del uso de las inspecciones televisivas, existen 2 etapas: *mantenimiento preventivo* y *mantenimiento correctivo*. Aunque en ambas es necesario el uso de metodologías para diagnosticar y valorar el estado de las tuberías, es importante conocer que la clasificación de severidad de falla es diferente para cada una, y tienen distintas puntuaciones dependiendo si la tubería fue recién instalada y hubo errores en el proceso de instalación, o si son fallas causadas porque la tubería se está acercando al fin de su vida útil (PACP , 2015).

2.5.1. Mantenimiento preventivo

Consiste en realizar inspecciones televisivas rutinarias que permitan conservar las tuberías por más tiempo, garantizando que funcionen correctamente evitando problemas a futuro. Pues con el pasar de los años, existe más probabilidades que las redes de alcantarillado puedan sufrir daños por estar expuestas a ciertos factores como: nivel freático, características geológicas e hidrológicas, mala calidad del material, cargas externas, entre otros. Debido a tales motivos, es necesario realizar inspecciones rutinarias usando CCTV, por lo cual esta etapa es un proceso del mantenimiento preventivo (Danubio, 2018).

Esta etapa del mantenimiento preventivo es de gran importancia debido que al existir un buen plan de mantenimientos preventivos, se podría localizar fallas leves logrando solucionarlas a tiempo, y así evitar que se puedan producir problemas más graves como: el colapso de tuberías, hundimiento de la calle, contaminación del suelo, grietas en la superficie, entre otros. Esto permite también priorizar los recursos para que sean intervenidas las tuberías que más la necesiten. Pues, es conocido que es menos costoso rehabilitar una tubería por motivo de una falla puntual, a tener que renovarla debido al colapso total o parcial de la misma (González, 2010) .

2.5.2. Mantenimiento Correctivo

Consiste en solucionar los problemas existentes en las tuberías, ya sea reparando las fallas que se encuentren o reemplazarla en caso que este en estado deplorable (Salán, 2012). Hoy en día, existen varios métodos correctivos para renovar o rehabilitar una tubería. Entre los métodos correctivos sin zanjas están: el CIPP que sus siglas

significan “Cure In Place Pipe”, el Pipebursting, el Spiral Wound, y por último el método tradicional con zanja.

Como mantenimiento correctivo, el equipo de CCTV es usado en el último proceso, es decir, una vez finalizada la renovación o rehabilitación de una tubería, ya sea con cualquier método correctivo aplicado, siendo obligatorio realizar inspecciones televisivas para conocer si se hizo la instalación correctamente, y no se ha producido errores o fallas durante su proceso, como: pandeo, roturas, grietas, obstrucciones, entre otras.

2.6. Tipo de inspecciones con CCTV

Pues bien, ¿En qué consisten las inspecciones con Circuito Cerrado de Televisión? Es uno de los métodos más precisos y rápidos que se dispone en la actualidad para evaluar el estado de las tuberías, debido que no es necesario hacer una zanja para realizar la inspección, optimizando costos y tiempo. Existen tres tipos de inspecciones con Circuito Cerrado de Televisión como son: el sistema estacionario, sistema de empuje manual y el sistema móvil (Trapote, 2014).

2.6.1. Cámara con sistema estacionario

El sistema estacionario consiste en que la persona que realiza la inspección, debe introducir el equipo en el pozo de inspección como se muestra la figura 2.2, el cual va grabando y tomando fotos del interior de la tubería mediante una cámara con un alto zoom de alcance. Las imágenes y grabaciones son transmitidas directamente a la pantalla, como se muestra en la figura 2.2 Existen diferentes equipos para inspecciones de tipo estacionario, que varían en la calidad de las imágenes y el alcance

que tiene la cámara, alcanzando distancias de visibilidad de hasta 40 o 50 metros (Hernández, 2009).

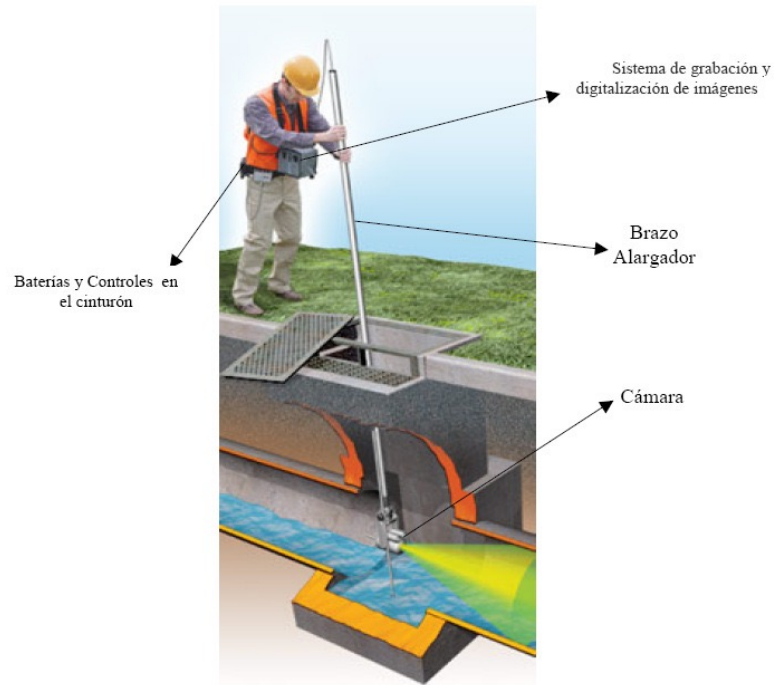


Figura 2.3: Inspección usando Circuito Cerrado de Televisión con sistema estacionario.

Fuente: (Hernández, 2009)

2.6.2. Cámara con sistema de empuje manual

El uso del equipo CCTV con cámara con sistema de empuje manual es usado para tuberías de diámetros pequeños, y como su nombre lo indica consiste en un cabezal que es empujado manualmente a través de la tubería. Se introduce el cabezal al interior de la tubería a través de un pozo de inspección como se observa en la figura 2.3, el cual con la cámara se va grabando y tomando imágenes del interior de la tubería, que son transmitidas al monitor del operador (Organización Panamericana de Salud, 2005). Algunas de las características que representan al equipo CCTV con empuje manual es que debe tener una visión clara que permitan imágenes de calidad

para poder observar con mayor precisión el interior de las tuberías. Además, el cabezal está integrado con un sistema de luces que brinda iluminación para acceder a lugares oscuros.



Figura 2.4: Inspección con CCTV con sistema de empuje manual

Fuente: (GrHidro, 2015).

Al igual que el equipo de CCTV con cámara con sistema móvil, esta tecnología está integrada con un cable flexible que une el cabezal con el puesto de control y mando, y tiene una longitud de 30 a 40 metros que es usado para inspecciones de redes con diámetros de 40 hasta 200mm. Existen otros modelos que son usados para tuberías de mayor diámetros que abarcan desde 100 hasta 500mm, y tiene una longitud de cable de hasta 120mm (GrHidro, 2015).

2.6.3. Cámara con sistema móvil robótico

Como se mencionó anteriormente, otro tipo de inspecciones con Circuito Cerrado de Televisión es el sistema móvil. Si bien, hoy en día los equipos para inspecciones con Circuito Cerrado de Televisión pueden contar con escáner o láser integrados como se explica en la tabla 2.4, en Ecuador se siguen usando los equipos convencionales. Las inspecciones con los equipos convencionales de CCTV, consiste en usar un robot

integrado con cámara y luces que se introducen en las tuberías sin necesidad de hacer zanjas, ya que son introducidos mediante los pozos de inspección existentes. Una vez en el interior de la tubería, el robot es direccionado mediante control remoto desde el puesto de mando, que también es el lugar donde se observan las grabaciones, permitiendo analizar de manera visual el interior de la tubería, y poder localizar la falla con mayor precisión. En la actualidad existen equipos que permiten acceder a tuberías de hasta 100mm de diámetro en adelante. La distancia que podrá alcanzar el equipo va depender de la longitud del cable del equipo, alcanzando en algunos modelos hasta 250 metros (Barbosa, 2013).

Tabla 2.5: Características entre los distintos equipos de Circuito Cerrado de Televisión.

Fuente: (Lamprea, 2014)

Características de los equipos con sistema móvil de CCTV		
Tipo	Ventajas	Desventajas
CCTV convencional	<ul style="list-style-type: none"> * No es necesario realizar zanjas * Es el menos costoso * Acceso a diámetros pequeños de tuberías 	<ul style="list-style-type: none"> * Solo detecta fallas visibles ante el lente de la cámara * Errores humanos en el manejo del equipo y en el diagnóstico
CCTV con escáner	<ul style="list-style-type: none"> * No es necesario realizar zanjas * Realiza las inspecciones más rápido que los otros equipos de CCTV * El proceso de inspección es automático, reduciendo los errores humanos. 	<ul style="list-style-type: none"> * Al ser automático, tiene dificultad en detectar presencia de corrosión y deformaciones. * Es más costoso que el equipo CCTV convencional * Las imágenes no suelen tener escala definida
CCTV con láser	<ul style="list-style-type: none"> * No es necesario realizar zanjas * Ofrece imágenes 3D con escalas definidas, ofreciendo resultados más precisos * Puede detectar fallas potenciales y corrosión 	<ul style="list-style-type: none"> * Es el más costoso de los equipos de CCTV, debido que brinda información mas detallada.

Para propósito de esta investigación, se inspeccionará específicamente con los equipos del sistema móvil convencional debido que son los que se usan actualmente en Ecuador, y serán explicados a continuación. Como se muestra en la figura 2.4, los equipos para inspecciones con CCTV de tipo móvil, se integran de 4 componentes como son:

- **1) La cámara**, que viene integrada con el robot permitiendo ir grabando el interior de la tubería, aún en zonas oscuras debido que cuenta con luces que facilitan la visibilidad. La cámara puede girar completamente de manera horizontal como vertical, según requiera el operador. El zoom va variar según el modelo del equipo que use para la inspección.
- **2) La unidad de control y mando**, que es el equipo utilizado para controlar la dirección del equipo y la cámara, según se necesite. Además cuenta con una pantalla que trasmite lo que va grabando la cámara, permitiendo detectar las fallas con mayor facilidad.
- **3) El carrete del cable**, le permite al robot alcanzar grandes distancias en el interior de la tubería. Existen equipos que permiten movilizarse hasta 250m de distancia. El cable usado para inspecciones con CCTV es de material flexible, que permite mayor facilidad de movimiento.
- **4) El tractor de la cámara**, que viene integrado con ruedas para moverse en el interior de la tubería. Su función es servir de soporte para la cámara.

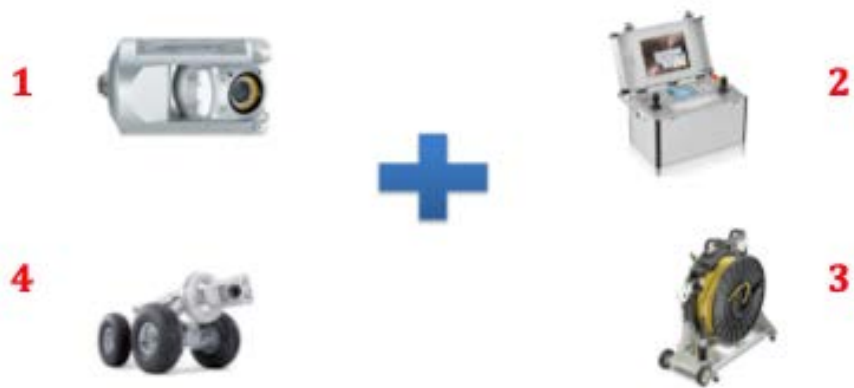


Figura 2.5: Componentes que integran el equipo de CCTV con sistema móvil.

Fuente: (VEGroup, 2017)

2.7. Legislación Nacional respecto al uso y aprovechamiento del agua

En 2014, mediante disposición de La Asamblea Nacional se decidió aprobar la “Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua”, con la finalidad de conservar el buen manejo de un recurso valioso como es el agua. Es así, como se lo definió como un derecho de uso público considerado de vital importancia para brindar condiciones de vida digna a los seres humanos y por ende, salvaguardar a la naturaleza. En el artículo 318 de la presente Ley, se menciona la prohibición de cualquier tipo de privatización del derecho al agua, y se considera que su gestión debe ser pública. También menciona que los procesos de abastecimiento del agua potable y el saneamiento de las aguas residuales deben ser ofrecidos únicamente por entidades jurídicas estatales, y designa a la Autoridad Única del Agua como entidad encargada de la planificación del buen uso del agua, garantizando igualdad de derechos con fines productivos de la población (Tribunal Constitucional de la República del Ecuador, 2014).

En base al artículo 15, donde se hace mención al “Sistema nacional estratégico del agua”, se dispone de las autoridades encargadas del manejo y control de los recursos hídricos. Entre las más importantes están: La Autoridad Única del agua, La Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA), Los GADs, entre otros.

En el artículo 6, correspondiente al “Control y Regulación de la disponibilidad” menciona que cualquier tipo de actividad donde interfiera el manejo de los recursos hídricos deberá ser regulada y controlada por la Autoridad Única del Agua junto a la participación de la Autoridad Ambiental Nacional en base a la formulación de normativas técnicas estandarizadas (Tribunal Constitucional de la República del Ecuador, 2014).

2.7.1. Metodología Local para inspecciones con CCTV

La metodología local empleada para inspecciones de redes de alcantarillado sanitario fue propuesta por la empresa concesionada en el manejo del abastecimiento y saneamiento del agua de Guayaquil. Si bien, esta normativa de origen interno de la empresa es utilizada en los trabajos de rehabilitación que realiza, cabe mencionar que no está aprobada por ninguna institución del Estado, por lo cual no está estandarizada.

En su contenido ofrece una metodología adaptada de otras normativas para realizar correctamente la inspección, ya sea desde la forma de usar el equipo hasta como ir detectando las fallas en el interior de la tubería. Además, ofrece una tabla de clasificación de las fallas, para posteriormente determinar el grado de severidad que será explicado a continuación.

2.8. Normas extranjeras para inspecciones con CCTV

En la actualidad, la importancia de contar con normas estandarizadas para diagnóstico de tuberías, permite a las empresas encargadas de realizar las inspecciones basarse en un mismo criterio, ya que es conocido que una tubería puede tener diferentes valoraciones respecto a su estado en el que se encuentre, dependiendo de la normativa que se use.

Como se explicó anteriormente algunos criterios a basarse son el estado estructural y operacional de la tubería, el tipo de material, el tiempo de vida, profundidad, diámetro o el número de acometidas (Hernandez, 2011). Entre las normas más importantes que son usadas en otros países, están:

a) La norma EN 13508, esta norma europea es de origen español creada en el año 2003, y aun está vigente para inspecciones de redes de alcantarillado en muchos países de Europa (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2003). Esta norma se la ha adaptado para ser usada en varios países de Europa como Francia, España, Holanda, Italia, entre otros.

Esta norma clasifica mediante códigos según cada tipo de fallas, permitiendo describir correctamente cada uno. Entre las clasificaciones están:

- Codificación respecto a fallas estructurales (código: BA)
- Codificación respecto al funcionamiento hidráulico (código: BB)
- Codificación de inventario (código: BC)
- Otros (código: BD)

- b) La norma PACP**, es usada en Estados Unidos para inspección de fallas en tuberías. Su consideración para la ponderación de las fallas, se fundamenta en el estado estructural y operacional de la tubería. Fue creada por la Organización Nacional del Comercio para la Industria de la Rehabilitación (NASSCO).
- c) La norma propuesta por Water Research Center**, fue creada en Inglaterra en 1978, siendo la primera norma para diagnosticar el estado real de las tuberías. Su última actualización fue en 2004, permitiendo usarse en inspecciones con CCTV. Se basa en las condiciones estructurales y de servicios de la tubería (Lamprea, 2014) .
- d) La norma propuesta por la Empresa Pública de Medellín**. Es usada únicamente en la ciudad de Medellín, Colombia.
- e) La norma NS-058, propuesta por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá**. Esta norma es usada para inspecciones de sistemas de alcantarillado en la ciudad de Bogotá, Colombia. Aparte de determinar la criticidad de la tubería, propone explicar los pasos previos de las revisiones y los planes rutinarios de inspección.

2.9. Tipo de tuberías: materiales

El equipo de Circuito Cerrado de Televisión puede trabajar en cualquier tipo de material, ya sea hormigón, PVC, asbesto cemento, hierro, entre otros. Sin embargo, en Ecuador se emplean comúnmente tuberías de hormigón y PVC para uso de redes de alcantarillado, por lo cual es importante conocer previamente en qué consisten. A

continuación se procede a explicar las características de las tuberías de PVC y hormigón (Bastidas, 2019).

2.9.1. Tuberías de PVC

Las tuberías de PVC ofrecen tecnologías conocidas como Novaloc y Novafort. Ambas son usadas para los sistemas de alcantarillado sanitario, debido que estructuralmente ofrecen un alto grado de rigidez y de hermeticidad. Las ventajas que ofrece las tuberías de PVC es la optimización de tiempo, no siendo necesario el uso de maquinaria para el montaje del tubo, debido que son livianas en comparación con otros materiales como el hormigón o el hierro y tienen durabilidad para 50 años (Plastigama, 2014).

La tubería Novafort se diferencia visualmente de la Novaloc, debido que las paredes internas del tubo son lisas y las paredes externas son corrugadas, como se muestra en la figura 2.6.



Figura 2.6: Tubería Novafort de PVC – Superficie interna lisa y superficie externa corrugada.

Fuente: (Plastigama, 2014)

El uso de las tuberías dependerá de los diámetros requeridos que se analizarán desde el diseño. Como se observa en la Tabla 2.6, la tubería Novafort es empleada cuando se requieren diámetros nominales entre un rango de 100mm a 975mm. Cabe agregar

que comercialmente son fabricados con una longitud de 6m, sin incluir la campana del tubo.

Tabla 2.6: Especificaciones Técnicas de las tuberías PVC Novafort.

Fuente: (Plastigama, 2014)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS TUBERÍAS DE PVC PARED ESTRUCTURADA NOVAFORT		
<i>Diámetro Nominal</i>	<i>Diámetro Interior</i>	<i>Longitud Útil (NO incluye campana)</i>
mm	mm	m
110	100	6
125	110	6
160	146	6
175	160	6
200	183	6
220	200	6
250	228	6
280	250	6
315	287	6
335	300	6
400	364	6
440	400	6
500	450	6
540	500	6
650	600	6
760	700	6
875	800	6
975	900	6

En cambio, las tuberías Novaloc son fabricadas para que las superficies de las paredes internas y externas del tubo sean lisas, como se muestra en la figura 2.7. Además, la tubería Novaloc es fabricada con unión elastomérica en sus bordes para brindar mayor hermeticidad.



Figura 2.7: Tubería Novaloc de PVC – Superficie interna y externa lisa.

Fuente: (Plastigama, 2014)

La tubería Novaloc es usada para requerimientos de diámetros nominales que sobrepasen los 975mm, y comercialmente son fabricados con longitudes de 6m y con diámetros nominales entre rangos de 1035mm a 1900mm, como se muestra en la tabla 2.7.

Tabla 2.7: Especificaciones Técnicas de las tuberías PVC Novaloc

Fuente: (Plastigama, 2014)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS TUBERÍAS DE PVC PARED ESTRUCTURADA NOVALOC		
<i>Diámetro Nominal</i>	<i>Diámetro Interior</i>	<i>Longitud</i>
mm	mm	m
1035	100	6
1150	110	6
1245	146	6
1345	160	6
1545	183	4
1600	200	4
1700	228	4
1800	250	4
1900	287	4

2.9.2. Tuberías de Hormigón: Simple y Armado

Otro tipo de material que se usa en la fabricación de tuberías es el hormigón, que son empleadas para sistemas de alcantarillado y a diferencia de las tuberías de PVC, su uso resulta más conveniente en suelos donde se presente nivel freático cerca de la superficie, debido que no se desestabilizan por las fuerzas de empuje que genera el agua a su alrededor. Además, la resistencia del hormigón va aumentando con el pasar del tiempo, siendo un material con alto grado de durabilidad (Inkatonsa, 2017).

Las tuberías de hormigón ofrecen facilidades con respecto a las inspecciones y la limpieza, debido a que son fabricadas con superficie interna lisa, al igual que los

tubos de PVC. En la tabla 2.7, se observa los diámetros interiores de las tuberías, tanto de hormigón simple y hormigón armado. Cabe agregar que las tuberías con hormigón simple son fabricadas con diámetros interiores entre rangos de 150mm hasta 900mm. En cambio, las tuberías de hormigón armado son fabricadas con diámetros interiores desde 500mm hasta 2250mm. Las tuberías de hormigón son fabricadas con longitudes menores que las tuberías de PVC, debido que es necesario la colocación de juntas de neopreno en las uniones de los tubos cada cierta distancia, como se muestra en la tabla 2.8, y así evitar que el hormigón presente fisuras.

Tabla 2.8: Especificaciones Técnicas de las tuberías de hormigón simple y hormigón armado

Fuente: (Inkatonsa, 2017)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TUBERÍA DE HORMIGÓN						
Diámetro Interior		Longitud del tubo	Peso del Tubo		Espesor de Pared	Peso del Tubo
Espiga	Campana		Hormigón Simple	Hormigón Simple		
mm	mm	m	Kg/m	Kg/m	cm	Kg
150	150	1,25	46		2,8	57,5
200	200	1,25	64		3,2	80
250	250	1,5	87		3,6	130,5
300	300	1,5	133		4,5	199,5
400	400	1,5	213		5	319,5
500	500	1,5	320		6	480
500	500	1,5		327	6	490,5
600	600	1,5	400		6,5	600
600	600	1,5		407	6,5	610,5
670	670	2,5	536		10,3	1340
670	670	2,5		544	10,3	1360
780	780	2,5	694		10,5	1735
830	830	2,5		710	10,5	1775
900	900	2,5	874		11,5	2185
900	900	2,5		883	11,5	2207
1000	1000	2,5		1000	12	2500
1090	1100	2,5		1232	13,5	3080
1200	1200	2,5		1440	14	3600
1400	1400	2,5		1654	15	4135
1500	1500	2,5		1954	16	4885
1700	1700	2		2410	17,5	4820
1800	1800	2		2735	18,5	5470
2000	2000	2		3358	20,5	6716
2245	2250	2		4098	22,5	8196

Como se mencionó anteriormente, los equipos para inspecciones con CCTV pueden acceder hasta tuberías de 100mm en adelante, siendo muy útil para revisar tuberías de PVC y hormigón, sin embargo pueden inspeccionar tuberías de cualquier material.

CAPÍTULO III.

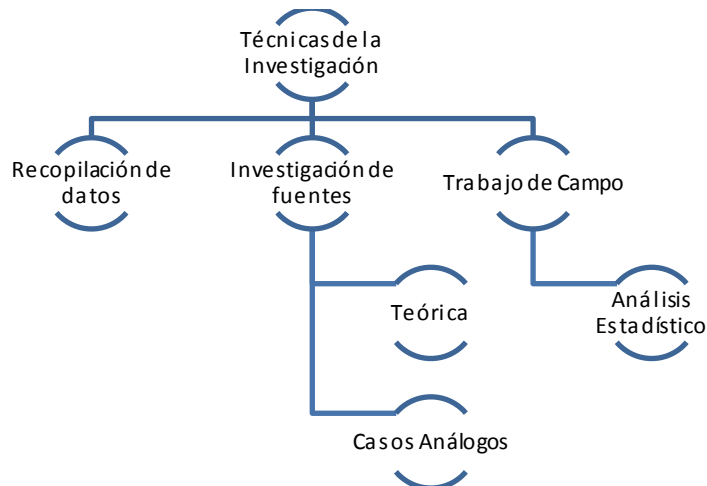
3 MARCO METODOLÓGICO

3.1. Método de investigación

El presente trabajo de titulación contiene un diseño de investigación no experimental de tipo longitudinal, debido que maneja información ya dada de casos reales existentes de inspecciones con tecnología de Circuito Cerrado de Televisión. Este trabajo se fundamenta en la recopilación de información sobre distintos casos de inspecciones, que fueron tomados de los últimos 10 años, el cual no se modifica las variables, debido que los objetos de estudio serán analizados de manera descriptiva y estadística en base a las metodologías empleadas para diagnosticar tuberías en Ecuador.

Como se muestra en el cuadro 3.1, fue necesario utilizar técnicas y herramientas, ya sea bibliográficas o de campo, que fueron de utilidad para el análisis y desarrollo de la presente investigación.

Cuadro 3.1: Técnicas de la investigación usadas en el presente texto



3.1.1. Recopilación de datos

En la presente investigación, para la recopilación de datos fue necesario consultar a los organismos encargados de controlar y manejar el funcionamiento de los sistemas de alcantarillado de Guayaquil. Dentro de la información que se obtuvo fueron datos e informes técnicos que constató los precedentes relacionados a los procesos de mantenimientos de las redes de alcantarillado, y como se ha ido optimizando dentro de los últimos 10 años debido a la implementación de nuevas tecnologías tanto en los trabajos preventivos como los correctivos.

3.1.2. Fuentes Teóricas

Dentro de las fuentes teóricas, fue necesario realizar consultas a textos como libros, tesis e informes, que sean referentes a la implementación de la tecnología del Circuito Cerrado de Televisión, y su aplicación en inspecciones de redes de alcantarillado sanitario. Entre las herramientas teóricas que se consultaron están: libros, revistas y tesis realizadas en universidades locales y extranjeras.

Dentro de la información que se obtuvo están:

- La historia del CCTV y su implementación en Guayaquil.
- Las características del equipo CCTV y su funcionamiento en la detección de fallas en redes de alcantarillado.
- Las características del sistema de alcantarillado de Guayaquil, tanto pluvial y sanitario.
- Etapas del uso del equipo CCTV.

- Tipo de inspecciones con CCTV: sistema estacionario, sistema móvil y sistema de empuje manual.
- Normas extranjeras para inspecciones con CCTV
- Materiales para tuberías de alcantarillado

3.1.3. Casos Análogos

Para la presente investigación fue necesario obtener información respecto a casos de inspecciones con CCTV ya realizadas durante los últimos 10 años. Dichas inspecciones fueron realizadas en la ciudad de Guayaquil, y servirán como objeto de estudio con el propósito de analizar las metodologías de diagnóstico que fueron usadas para conocer el estado de la tubería.

3.1.4. Trabajo de Campo

Dentro del trabajo de campo, se estuvo presente en inspecciones de redes de alcantarillado sanitario donde se usó la tecnología del equipo CCTV, que se realizaron en el sur de la ciudad, correspondiente al plan de rehabilitación y renovación de la redes de alcantarillado de la cuenca La Chala, y se pudo conocer detalladamente todos los procesos que conforman los mantenimientos tanto preventivos y correctivos de las tuberías.

El equipo usado fue el CCTV convencional que consiste en ir filmando y tomando imágenes del interior de la tubería, específicamente el modelo utilizado fue el IBAK, que contaba con una longitud de cable de hasta 300m. A partir de los resultados que ofreció este trabajo de campo, se pudo recolectar información en todas las etapas que

consisten el uso del equipo CCTV, ya sea en el mantenimiento preventivo como el correctivo.

3.1.5. Análisis Estadístico

a) Definición de la muestra

La muestra de estudio fue tomada de dos proyectos de rehabilitación de redes de alcantarillado sanitario, que se efectuaron en la ciudad de Guayaquil, específicamente en el sector del norte llamado Los Vergeles y en el sector del sur correspondiente a la Cuenca La Chala, siendo este último el más actual donde se siguen realizando trabajos de mantenimiento hasta la actualidad.

La primera muestra tomada del sector de los Vergeles registra información dada del año 2008, donde se pudo recolectar datos de 1831,30m de redes de colectores inspeccionados. Los diámetros de tuberías encontrados en dicho plan de rehabilitación abarcaron rangos entre 200 a 800mm, y se observó de materiales de PVC, hormigón simple y hormigón armado.

La segunda muestra corresponde al proyecto de rehabilitación de la cuenca La Chala, que se inició en 2016, y mantiene un plazo de trabajo de 30 meses. Se logró inspeccionar el 100% de colectores que abarca una longitud total de 41412.07 metros, y se han encontrado diámetros desde 200mm hasta tuberías de 1400mm cercanas a la estación de bombeo La Chala.

b) Definición de las variables

- Entorno circundante a la tubería

Mala calidad del suelo: El tipo de suelo que rodea a la tubería puede deteriorar su vida útil si consiste en un material de mala calidad, el cual no puede resistir las cargas vivas superficiales, provocando un exceso de esfuerzo a las paredes externas del tubo. Por ejemplo, se pueden generar socavaciones que pueden producir pandeos o deformaciones a lo largo del tubo.

Nivel Freático Alto: La ciudad de Guayaquil se ha caracterizado a lo largo de los años por tener un crecimiento demográfico alrededor de ríos y esteros, como el río Guayas. Debido a su cercanía a cuerpos de agua, es frecuente encontrar el nivel freático muy cerca de la superficie. Eso provoca que las tuberías de redes de alcantarillado estén expuestas a la presión del agua circundante e infiltraciones, lo cual puede alterar el funcionamiento operativo del sistema, al aumentar el caudal para el cual fue diseñado.

- Errores en la metodología constructiva

Mala compactación del suelo: Uno de los problemas constructivos más frecuentes se producen a causa de una mala compactación del suelo, sin importar la calidad del material. Esto puede provocar pandeos y desviaciones en las tuberías, debido a asentamientos y socavaciones, lo cual es otro factor importante que puede atenuar el funcionamiento normal del sistema.

Instalación inadecuada de las juntas: Para que una tubería trabaje según las funciones que se requiere es importante garantizar su hermeticidad, por lo cual se

debe priorizar que las uniones en las juntas de los tubos se realicen de forma correcta, con el fin de evitar que exista desviaciones o que se dañe el sello elastomérico. Ante un mal sellado en las juntas, podría provocar infiltración a poco tiempo de su instalación.

- **Falta de planes de mantenimiento**

Escasez de planes de rehabilitación de redes: Hoy en día, es importante realizar inspecciones preventivas cada cierto tiempo, con el fin de detectar fallas leves, y solucionar el problema evitando que se convierta en una situación más grave, pudiendo alargar el tiempo de vida útil de las tuberías. Al no contar con un plan de rehabilitación de redes, las tuberías pueden estar expuestas a fallar con mayor frecuencia debido a su aproximación al fin de sus años en servicio, siendo más costoso instalar una tubería nueva que reparar una falla puntual.

c) Calculo de medidas de tendencia central

- **Media Muestral**

La media muestral concierne a la suma de un conjunto de números o datos, que posteriormente se los divide para el total de valores sumados, es decir se halla un promedio. Se calculó la media muestral para poder analizar

A continuación se muestra la fórmula para calcular la media, siendo X correspondiente a la marca clase, f a la frecuencia, y N el número total de datos participantes en la ecuación.

$$\bar{X} = \frac{\sum_j X_j f_j}{N}$$

Fórmula# 1: Ecuación para hallar la media muestral.

- **Moda**

Se refiere al valor que se repite con mayor frecuencia dentro de un conjunto de datos.

Se procedió a hallar la moda estadística para determinar qué tipo de falla es la más predominante, y analizar por qué se produce dicho caso.

d) Análisis de medidas de dispersión

- **Varianza**

La varianza como una medida de dispersión es conocida en la estadística por analizar la variabilidad de un grupo de datos en relación a la media muestral. Como se muestra en la siguiente fórmula, para calcular la varianza se procede a sumar la diferencia elevada al cuadrado entre un valor del conjunto de datos y el valor de la media muestral, dividida para el tamaño de la muestra menos uno.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Fórmula# 2: Ecuación para hallar la varianza.

- **Desviación estándar**

La desviación estándar es otra medida de dispersión usada en la estadística para determinar cómo están dispersados cada dato que conforma la muestra, es decir que tan alejado está cada integrante en relación a la media. Cabe destacar que la desviación estándar será más grande mientras mayor sea la diferencia que exista entre los valores.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_j - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Fórmula# 3: Ecuación para hallar la desviación estándar.

- **Coeficiente de variación**

El coeficiente de variación concierne a la relación que existe entre la desviación estándar y su media muestral. Comúnmente el resultado se lo representa en porcentaje para mayor facilidad de análisis.

$$CV = \frac{S_x}{|\bar{X}|}$$

Fórmula# 4: Ecuación para hallar el coeficiente de variación.

CAPÍTULO IV.

4 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Análisis de los casos de estudio

Para realizar el análisis de los resultados obtenidos de las inspecciones de redes de alcantarillado usando la tecnología del Circuito Cerrado de Televisión, fue necesario recolectar información pertinente respecto a trabajos de mantenimiento preventivo durante los últimos años. Para la recolección de datos, fue importante la consulta a varias entidades públicas y privadas de la ciudad de Guayaquil, siendo satisfactorio debido que se pudo obtener una buena muestra para realizar el presente estudio.

La primera muestra corresponde al año 2008 correspondiente a un plan de mantenimiento preventivo y rehabilitación en el sector de los Vergeles ubicado al norte de Guayaquil, donde se pudo recaudar información de informes y videos de 32 inspecciones realizadas en dicho sector. La segunda muestra donde se obtuvo información de varios casos, es perteneciente a un plan de rehabilitación en la cuenca La Chala ubicada al sur de la ciudad de Guayaquil, que comenzó en el año 2016 y hasta el mes de Abril del 2019 se ha completado alrededor del 85% del total proyectado.

4.1.1. Rehabilitación de redes: Sector Los Vergeles

4.1.1.1. Descripción de la muestra

La muestra del sector de Vergeles corresponde al proyecto de inspección televisiva realizado por la entidad operacional del sistema de alcantarillado Guayaquil, con el fin de conocer el estado estructural e hidráulico de las tuberías. El plan de rehabilitación de las redes del sector Los Vergeles abarcaba una longitud total de colectores de

2848,56mt, de los cuales se logró obtener información de 1831,30mt de tuberías correspondiendo al 64,29%. Como se mencionó anteriormente el sector de Vergeles se encuentra ubicado al Noreste de Guayaquil, en la parroquia de Tarqui. El proyecto duro alrededor de 30 días laborables comenzando en el mes de Junio hasta Julio, del año 2008. A continuación, se procede a mostrar cómo están repartidos los 18 puntos donde se realizaron las inspecciones, como se muestra en la figura 4.1.

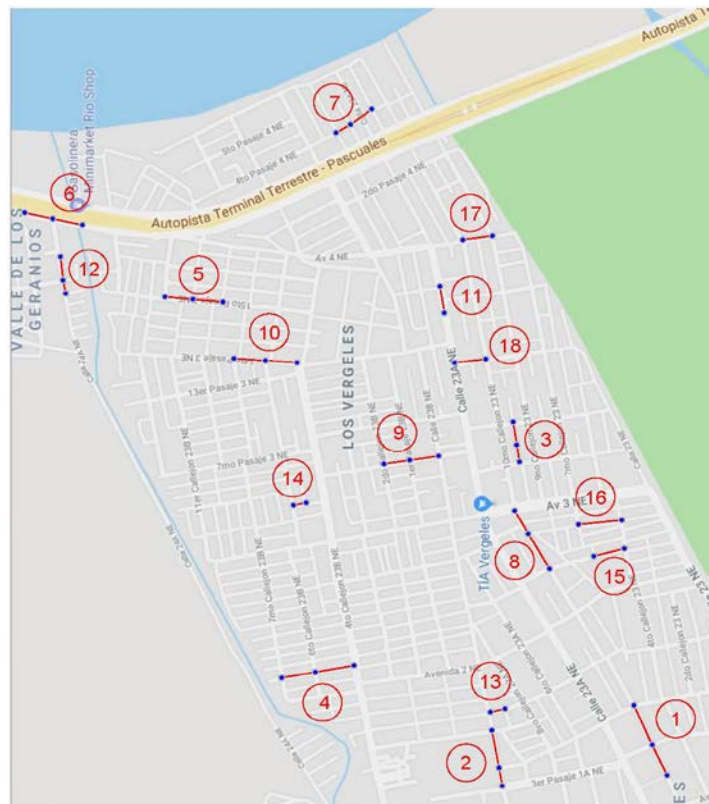


Figura 4.1: Ubicación de colectores inspeccionados en el sector Los Vergeles.

Fuente: (Google)

El equipo CCTV que se usó para realizar las inspecciones fue de la marca CUES, que contaba con una cámara giratoria capaz de filmar y tomar imágenes de alta calidad, y utilizado para tuberías de 150 a 1400mm. En la tabla 4.1, se procede a mostrar datos de cada punto donde se realizó las inspecciones, detallando la longitud, diámetro y material de cada tramo de tubería.

Tabla 4.1: Tramos inspeccionados en el proyecto de rehabilitación de colectores de Vergeles.

Fuente: (Interagua, 2008)

Punto	# de Tramos	Diámetro (mm)	Material	Longitud (m)	Calle	Referencia Entre:
1	1	300	PVC	49,2	10mo Callejón 23 NE	Callejón S/N y 3er Pasaje 1A NE
	2	300	PVC	77,1		3er Pasaje 1A NE y 4to Pasaje 1A NE
2	3	400	Hormigón Simple	47,0	Calle 23B NE	4to Pasaje 1A NE y 5to Pasaje 1A NE
	4	350	Hormigón Simple	87,3		3er Pasaje 1A NE y 4to Pasaje 1A NE
3	5	400	PVC	74,4	Callejón S/N	3er Pasaje 3 NE y 7to Pasaje 3 NE
	6	400	PVC	41,5		7to Pasaje 3 NE
4	7	200	PVC	97,2	Avenida 2 NE	7mo Callejón 23B NE y 6to Callejón 23B NE
	8	200	PVC	77,9		6to Callejón 23B NE y 4to Callejón 23B NE
5	9	500	Hormigón Armado	81,3	15to Pasaje 3 NE	Callejón S/N y 11vo Callejón 23B NE
	10	200	PVC	54,8		11vo Callejón 23B NE y 9no Callejón 23B NE
6	11	315	PVC	33,9	Autopista Terminal Terrestre	Calle 24 A NE
	12	315	PVC	70,3		
7	13	200	PVC	63,8	4to Pasaje 4 NE	2do Callejón 23A NE y 1er Callejón 23A NE
	14	200	PVC	8,0		1er Callejón 23A NE y Calle 23A NE
	15	200	PVC	27,0		Calle 23A NE y 11vo Callejón 23A NE
8	16	350	Hormigón Simple	52,9	10mo Callejón 23 NE	Av. 3 NE y 6to Pasaje 2 NE
	17	375	Hormigón Simple	68,2		6to Pasaje 2 NE y 3er Pasaje 2 NE
9	18	200	PVC	62,8	3er Pasaje 3 NE	2do Callejón 23B NE y 1er Pasaje 23B NE
	19	200	PVC	90,3		1er Pasaje 23B NE y Calle 23B NE
10	20	400	Hormigón Simple	56,7	14vo Pasaje 3 NE	7mo Callejón 23B NE y 6to Callejón 23B NE
	21	400	Hormigón Simple	72,6		6to Callejón 23B NE y 4to Callejón 23B NE
11	22	250	Hormigón Simple	95,2	Calle 23A NE	Av. 4 NE y 16to Pasaje 3 NE
	23	250	Hormigón Simple	90,2		16to Pasaje 3 NE y 13er Pasaje 3 NE
12	24	200	PVC	57,5	Calle 24A NE	Autopista Terminal Terrestre
	25	250	PVC	35,5		
	26	250	PVC	3,2		
13	27	300	Hormigón Simple	38,7	7mo Pasaje 1A NE	Calle 23B NE
14	28	200	Hormigón Simple	38,5	4to Callejón 23B NE	3er Pasaje 3NE y 2nda Peatonal 3 NE
15	29	315	PVC	45,9	3er Pasaje 2 NE	7mo Callejón 23 NE y 4to Callejón 23 NE
16	30	600	Hormigón Armado	93,5	6to Pasaje 2 NE	7mo Callejón 23 NE y 4to Callejón 23 NE
17	31	600	Hormigón Armado	62,6	Avenida 4 NE	10mo Callejón 23 NE y 9no Callejón 23 NE
18	32	800	Hormigón Armado	63,6	Callejón S/N	10mo Callejón 23 NE y Calle 23A NE

4.1.1.2. Clasificación de fallas según normativa local

De los casos inspeccionados, se pudo obtener información de tuberías con diámetros que van desde 200mm hasta 800mm. En la tabla 4.2, se muestra la longitud total de los tramos inspeccionados según su diámetro y el tipo de material, como el PVC siendo el material que se logró obtener mayor longitudes de muestra con un total de 970,3m. También se obtuvo muestras de tuberías de Hormigón Simple y Hormigón Armado con una longitud total de 560m y 301m respectivamente.

Tabla 4.2: Resumen de los colectores clasificados por el diámetro y tipo de material

Fuente: (Interagua, 2008)

Diámetro (mm)	Tipo de materiales			Total general
	Hormigón Armado (m)	Hormigón Simple (m)	PVC (m)	
200		38,5	539,3	577,8
250		185,4	38,7	224,1
300		38,7	126,3	165
315			150,1	150,1
350		52,9		52,9
375		68,2		68,2
400		176,3	115,9	292,2
600	156,1			156,1
500	81,3			81,3
800	63,6			63,6
Total general	301	560	970,3	1831,3

Este proyecto se llevó a cabo por los organismos encargados de la parte operacional y de regulación de los sistemas de alcantarillado en Guayaquil. Para diagnosticar los tramos de tuberías inspeccionados en este proyecto, fue implementado una normativa interna propuesta por la entidad operacional donde considera una tabla de daños que clasifique los tipos de falla en 9 grupos, como son: Permeabilidad, Obstrucción en el flujo, Desviaciones de Alineación, Abrasión Mecánica, Corrosión, Deformaciones, Agrietamiento, Rotura, Colapso. Por lo cual, para procesar la información obtenida se

procede a realizar gráficos de barras donde se determinen los tipos de fallas existentes en los tramos inspeccionados, y así examinarlos según el diámetro, material y otras características.

4.1.1.3. Análisis estadístico de fallas en sector Los Vergeles

Como se indicó anteriormente, se obtuvo información de inspecciones ya realizadas a tuberías con diámetros entre rangos de 200mm hasta 800mm, de las cuales en el cuadro 4.1 se procede a mostrar la cuantificación de los tipos de fallas clasificados según la normativa de la entidad operacional del manejo de agua. Vale mencionar que dentro de los datos recaudados de los casos inspeccionados, se observó que las fallas que predominan son las desviaciones de alineación como se muestra en la figura 4.2, siendo las más afectadas las redes con diámetros de 200mm. Comúnmente este tipo de fallas sucede cuando la tubería alcanza deformaciones debido a exceso de esfuerzos de compresión y sobrepasa el límite de resistencia del tubo. Dentro de los tipos de desviaciones se encuentran de forma puntual, en las juntas y pandeos horizontales y verticales. Otro tipo de fallas a considerar son las fallas por permeabilidad, debido que Guayaquil se caracteriza por ser de las ciudades donde el nivel freático se lo encuentra muy cercano a la superficie.

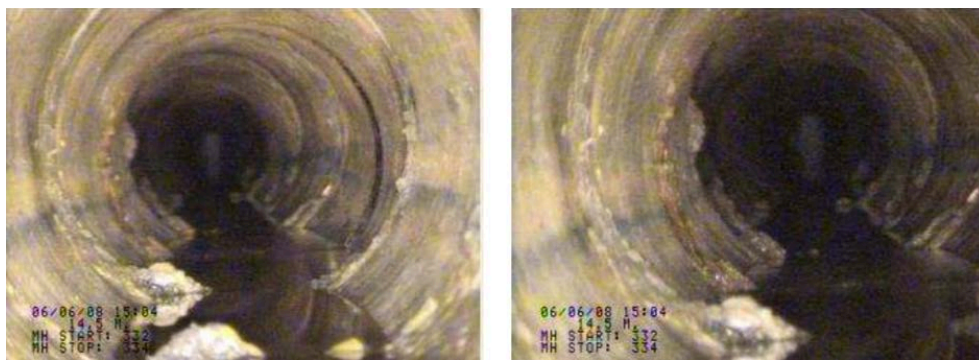
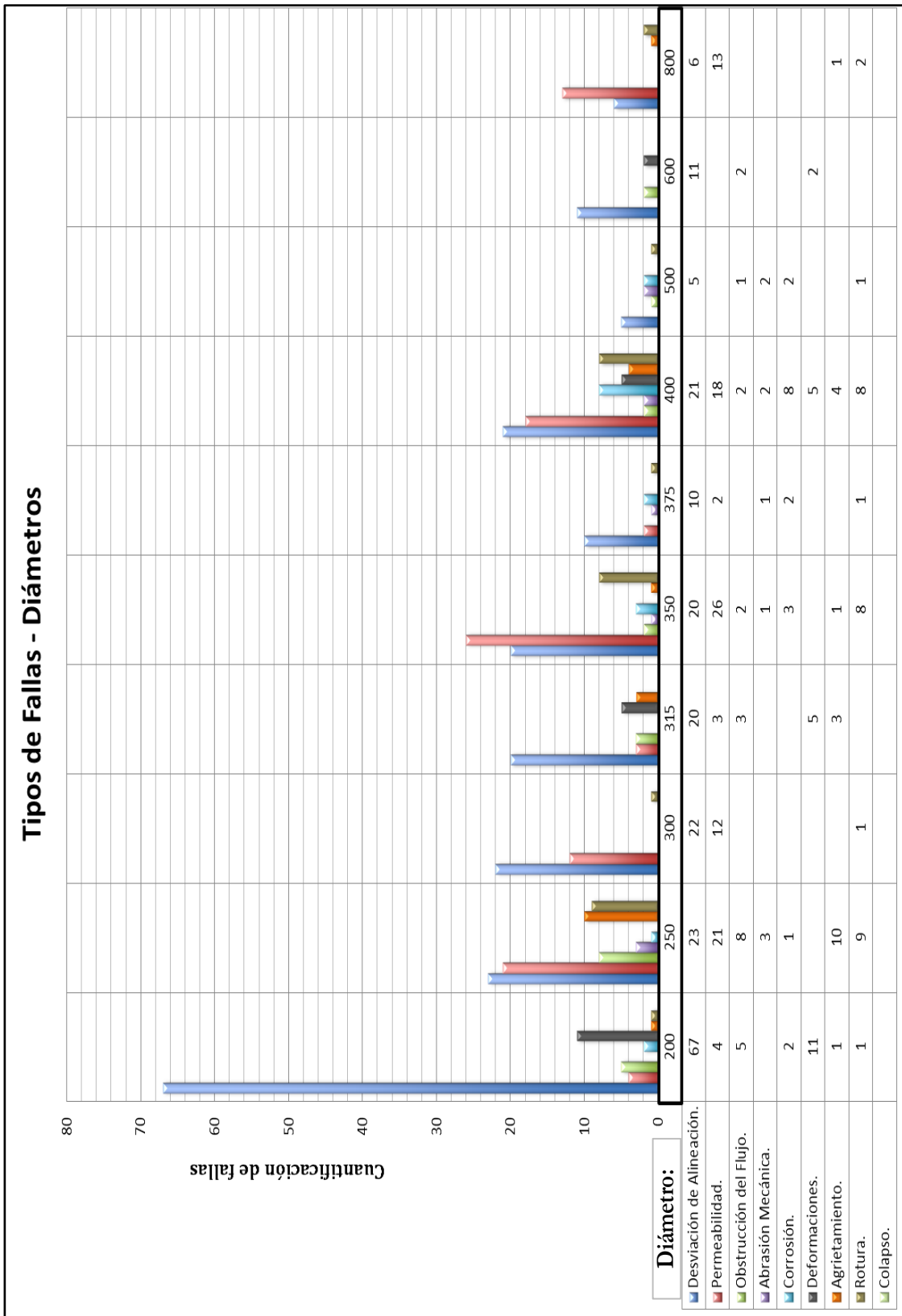


Figura 4.2: Desviaciones de alineación en redes de alcantarillado sanitario

Fuente: (Interagua, 2008)

Cuadro 4.1: Tipos de fallas en Sector Los Vergeles clasificadas según el diámetro de los colectores



Para poder analizar los tipos de fallas encontradas en las redes del sector “Los Vergeles”, se procede a realizar un análisis estadístico donde se muestre que fallas predominaron según los diámetros mencionados anteriormente. A continuación se observa las medidas de tendencia central y el análisis de medidas de dispersión para cada falla según como las clasifica la normativa de la entidad operacional.

Las desviaciones de alineación son fallas que se encuentran en todos los diámetros de tuberías, y contiene un media muestral alrededor de 20,5. El mayor número de repeticiones de este tipo de fallas se dio en las tuberías de 200mm con un total de 67. La desviación estándar que se calculo fue de 17,71 y el coeficiente de variación fue del 86% resultando que la muestra es heterogénea.

Tabla 4.3: Tipo de falla: Desviaciones de alineación en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles

Tipo de falla: Desviación de alineación									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200	10	67	20,5	67	46,5	2162,25	240,25	17,71	86%
250		23			2,5	6,25	0,69		
300		22			1,5	2,25	0,25		
315		20			-0,5	0,25	0,03		
350		20			-0,5	0,25	0,03		
375		10			-10,5	110,25	12,25		
400		21			0,5	0,25	0,03		
600		5			-15,5	240,25	26,69		
500		11			-9,5	90,25	10,03		
800		6			-14,5	210,25	23,36		
Total general					205				

Otro tipo de fallas se basan en la permeabilidad de la tubería, siendo una de las más comunes debido a infiltraciones producto de fisuras y caída de juntas. No se presentaron infiltraciones en tuberías con diámetros de 600 y 800mm. En los cálculos resulto que la media muestral es de 12,375 y las fallas de permeabilidad se presentaron con mayor frecuencia en las tuberías de 350mm con un total de 26

repeticiones. La desviación estándar dio de 7,87 en base a la muestra. Y por el último, el coeficiente de variación dio un resultado de 64% siendo una muestra heterogénea.

Tabla 4.4: Tipo de falla: Infiltraciones en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.

Tipo de falla: Permeabilidad									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200	8	4	12,375	26	-8,375	70,140625	7,79	7,87	64%
250		21			8,625	74,390625	8,27		
300		12			-0,375	0,140625	0,02		
315		3			-9,375	87,890625	9,77		
350		26			13,625	185,640625	20,63		
375		2			-10,375	107,640625	11,96		
400		18			5,625	31,640625	3,52		
800		13			0,625	0,390625	0,04		
Total general		99							

Las obstrucciones se presentan por diferentes causas, ya sea: raíces, sedimentos, rocas o grasas. Se dan con mayor frecuencia en las tuberías de menor diámetro debido que son más superficiales, como se observa en la tabla 4.5. La media muestral obtenida fue de 3,285 y la moda resultado de 8 repeticiones provocada en las tuberías de 250mm. Por último, la desviación estándar resultado de 1,98 otorgando el coeficiente de variación fue de 60%.

Tabla 4.5: Tipo de falla: Obstrucciones en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.

Tipo de falla: Obstrucción de flujo									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200	7	5	3,286	8	1,71428571	2,93877551	0,33	1,98	60%
250		8			4,71428571	22,2244898	2,47		
315		3			-0,2857143	0,081632653	0,01		
350		2			-1,2857143	1,653061224	0,18		
400		2			-1,2857143	1,653061224	0,18		
600		1			-2,2857143	5,224489796	0,58		
500		2			-1,2857143	1,653061224	0,18		
Total general		23							

Las fallas como la abrasión mecánica solo se presentó en tuberías de material con hormigón, debido que consisten en el desprendimiento del mortero de las paredes del tubo debido al constante flujo de agua. Como resultado se obtiene una media muestral de 1,8 y el diámetro de tubería con mayor presencia de esta falla fue la de 250 teniendo una moda de 3. El coeficiente de variación de esta muestra es de 31% otorgando que el análisis para este tipo de falla es homogéneo.

Tabla 4.6: Tipo de falla: Abrasión mecánica en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.

Tipo de falla: Abrasión mecánica									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coeficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}		xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2		
250	5	3	1,800	3	1,2	1,44	0,16	0,56	31%
350		1			-0,8	0,64	0,07		
375		1			-0,8	0,64	0,07		
400		2			0,2	0,04	0,004		
500		2			0,2	0,04	0,004		
Total general		9				2,8	0,31		

La corrosión al igual que la abrasión mecánica se encuentra comúnmente en tuberías de material con hormigón, debido que el ácido sulfhídrico que se origina por las aguas residuales afectan las paredes del tubo dejando expuesto al acero de refuerzo. Como resultado se obtuvo una media muestral de 3 y se presentó con mayor frecuencia en las tuberías de diámetro de 400mm.

Tabla 4.7: Tipo de falla: Corrosión en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.

Tipo de falla: Corrosión									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coeficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}		xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2		
200	6	2	3	8	-1	1	0,111	1,89	63%
250		1			-2	4	0,444		
350		3			0	0	0,000		
375		2			-1	1	0,111		
400		8			5	25	2,778		
600		2			-1	1	0,111		
Total general		18				32	3,56		

Las deformaciones se presentan debido a un exceso de cargas en las paredes de la tubería, el cual provoca que su diámetro se pueda reducir afectando el funcionamiento correcto del sistema. Donde se presentaron con mayor repetición fueron en tuberías de 200mm y de PVC, pudiendo ser debido a una inadecuada instalación o falta de recubrimiento de las paredes externas. El coeficiente de variación con respecto a la media dio un resultado de 50% considerando una muestra homogénea.

Tabla 4.8: Tipo de falla: Deformaciones en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.

Tipo de falla: Deformaciones									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200	4	11	5,8	11	8	64	7,111	2,85	50%
315		5			2	4	0,444		
400		5			2	4	0,444		
600		2			-1	1	0,111		
Total general		23				73	8,11		

Las fallas como el agrietamiento son importantes detectarlas de manera temprana debido que podría desencadenar en fallas más graves como roturas o colapsos, debido a pérdida de su resistencia estructural. En el sector de los Vergeles se encontró repetidamente en tuberías de 200mm a 400mm, resultando una media muestral de 3.3 y una moda de 10. El coeficiente de variación brindo como resultado que la muestra es heterogéneo.

Tabla 4.9: Tipo de falla: Agrietamientos en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.

Tipo de falla: Agrietamiento									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200	6	1	3,3	10	-2	4	0,444	2,62	79%
250		10			7	49	5,444		
315		3			0	0	0,000		
350		1			-2	4	0,444		
400		4			1	1	0,111		
800		1			-2	4	0,444		
Total general		20				62	6,89		

Dentro de las fallas graves se encuentran a las roturas, debido que podría desencadenar en un colapso de la tubería. Suceden cuando el tubo fue sometido a cargas excesivas y no hubo mantenimiento preventivo para solucionarla a tiempo. Se observó la presencia de roturas en las tuberías cercanas al fin de su periodo de vida útil, especialmente en tuberías de 250mm con un total de 9 repeticiones. La desviación estándar dio como resultado 3,38 en base a la media muestral que fue de 3,9. En el análisis se consideró que el coeficiente de variación es de 87% representando que la muestra de dicha falla es heterogénea.

Tabla 4.10: Tipo de falla: Agrietamientos en redes de alcantarillado Sector Los Vergeles.

Tipo de falla: Rotura									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coeficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200	8	1	3,9	9	-2	4	0,444	3,38	87%
250		9			6	36	4,000		
300		1			-2	4	0,444		
350		8			5	25	2,778		
375		1			-2	4	0,444		
400		8			5	25	2,778		
500		1			-2	4	0,444		
800		2			-1	1	0,111		
Total general		31				103	11,44		

Otro tipo de fallas según como lo clasifica la metodología de la entidad operativa son los colapsos, sin embargo en el transcurso de las inspecciones en el sector de Vergeles no se encontraron tramos que hayan sufrido dicha falla. En casos donde se presenten colapsos se procede a reemplazar el tubo existente, debido que perjudica el buen funcionamiento del sistema.

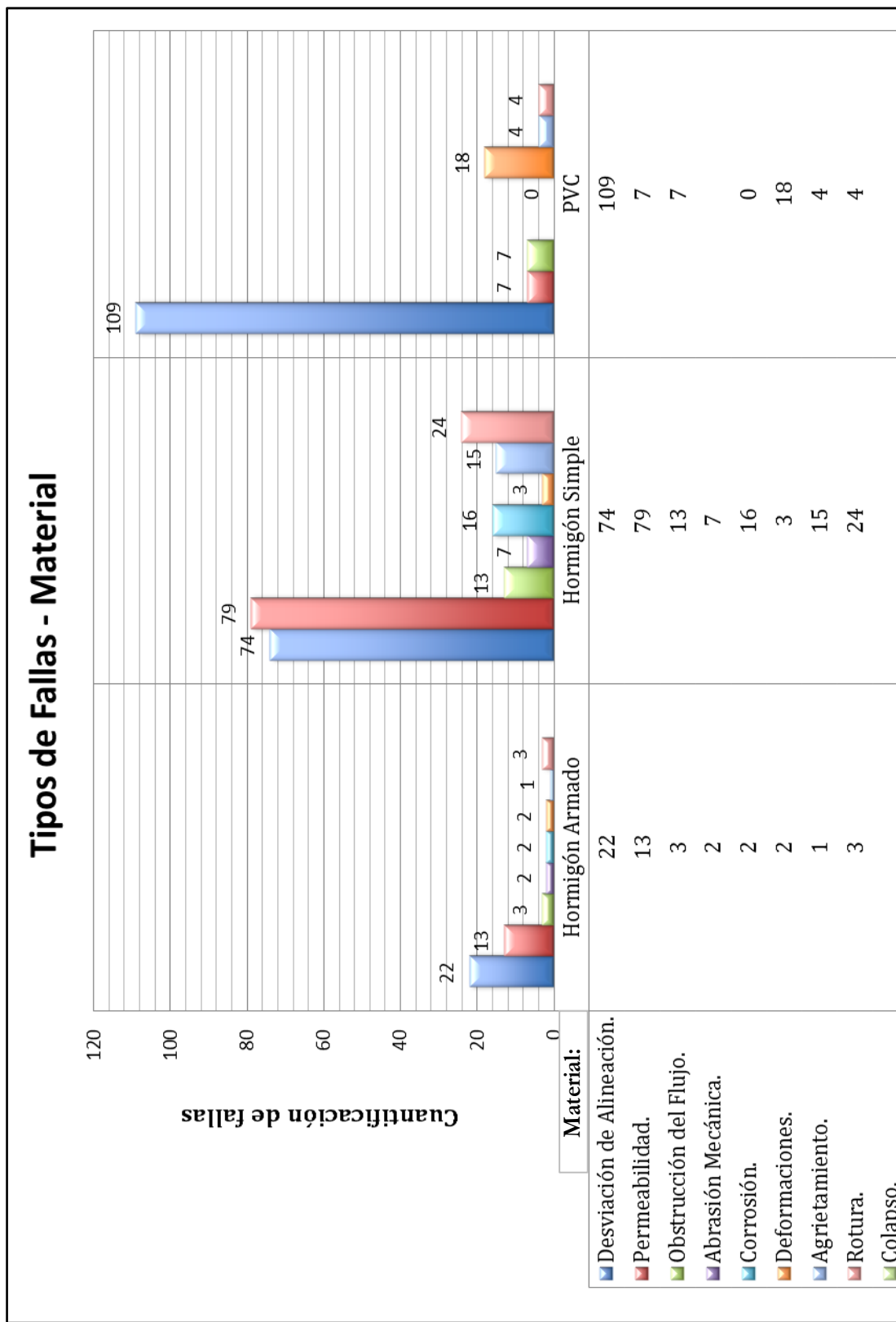
Dentro de las tuberías que se inspeccionaron, se procedió clasificar los tipos de tuberías según el material, ya sea PVC con 18 tramos, hormigón simple con 10 tramos

y por ultimo 4 tramos de hormigón armado. Por lo tanto, a continuación se procede a analizar los tipos de fallas encontrados, como se muestra en el cuadro 4.2.

Como resultado de las inspecciones se obtuvieron muestras de 428 fallas, observando que en los tramos de PVC, se presentan con mayor frecuencia los tipos de fallas como las desviaciones de alineación y las deformaciones con 109 y 18 repeticiones respectivamente, siendo en su mayoría en diámetros de 200mm. Normalmente, las tuberías de PVC de menor diámetro son las más cercanas a las superficies, y en muchas ocasiones sufren este tipo de fallas debido a un suelo mal compactado durante su instalación.

En las tuberías de hormigón armado y hormigón simple también se encontró repetidamente fallas como desviaciones de alineación y deformaciones. Cabe agregar, que además se observaron muchos problemas de permeabilidad como infiltraciones y exfiltraciones debido a grietas o desprendimiento del material sellante en las juntas, corrosión en las paredes internas del tubo y además fallas estructurales considerables como roturas y agrietamientos. Se encontró tramos que presentaban roturas, probablemente debido que tienen más años en servicio y su durabilidad se ha disminuido.

Cuadro 4.2: Tipos de fallas en Sector Los Vergeles clasificadas según el material de los colectores.

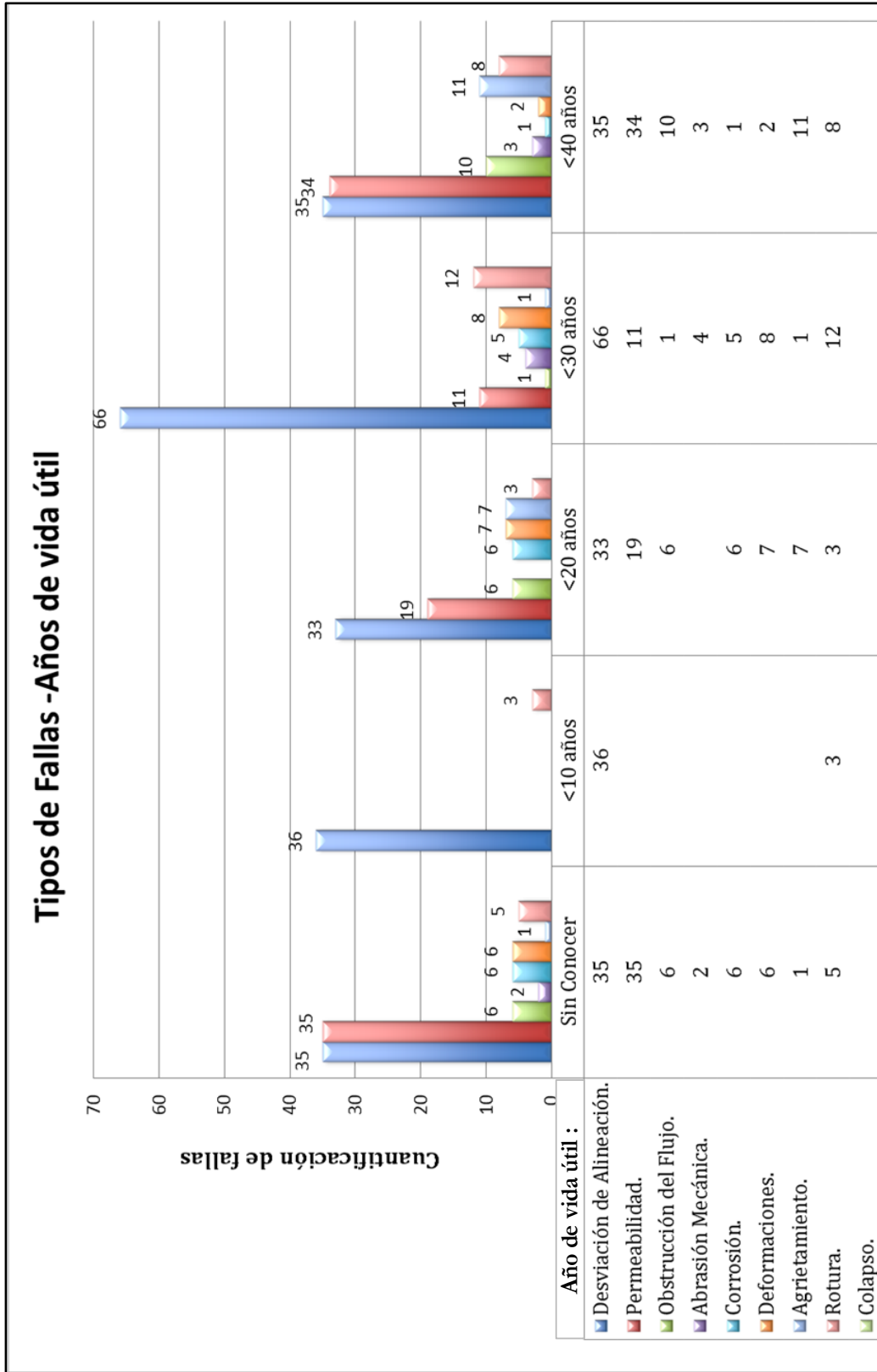


4.1.1.4. Análisis de la norma local para inspecciones con CCTV

Otro de los factores a tener en cuenta en el diagnóstico de tuberías son los años que la tubería ha estado en servicio, debido que comúnmente suelen presentarse más fallas severas en los colectores próximos a cumplir el fin de su ciclo de vida. En la muestra tomada del sector de los Vergeles, se obtuvo información de 32 inspecciones, donde se encontraron colectores que habían cumplido un tiempo de vida útil que abarcaban rangos menores a 10 años hasta sobrepasar los 40 años en funcionamiento. Los años en servicio de la tubería es un criterio importante para catalogar el estado operativo y estructural de una tubería, debido que la severidad de la falla aumenta dependiendo de la edad que tenga en servicio.

En el presente trabajo, se procedió a separar los tramos en rangos de décadas para un mejor análisis, el cual se obtuvo 7 muestras respectivamente para tuberías que tenían 10 años y 20 años en funcionamiento. Las fallas que predominan en las tuberías con un rango de 10 a 20 años son las desviaciones de alineación y las infiltraciones, y eso probablemente es provocado debido a las malas metodologías constructivas. También se recolectó información de 8 casos que tengan un rango de vida útil alrededor de 30 años. Incluso, existieron 5 tramos donde no se conocía información respecto a los años en funcionamiento, siendo los que más presentaban fallas considerables. Y por último, se analizaron datos de 5 colectores que tengan 40 años en funcionamiento. Como se observa en el cuadro 4.3, se puede notar que las tuberías que sobrepasaban los 30 años de vida útil fueron las más afectadas a fallas consideradas importantes, debido que causaban afectaciones estructurales e hidráulicas al tubo.

Cuadro 4.3: Tipos de fallas en Sector Los Vergeles clasificadas según los años en servicio de los colectores.



Para diagnosticar una tubería, es importante analizar donde se presenta ubicada la falla, debido que eso condicionara su incidencia en el funcionamiento estructural e hidráulico del tubo. En el interior de la tubería pueden presentarse fallas que podrán ser más críticas que otras de similares características, y eso dependerá de varios factores, entre esos su ubicación.

En ocasiones se pueden presentar fallas de manera transversal o longitudinal a lo largo de la tubería e incluso fallas puntuales, siendo más severas si se producen a lo largo del invert del tubo, debido que es por donde circula el agua. Este tipo de fallas pueden presentarse como pandeos verticales u horizontales a causa de socavamientos o un suelo mal compactado. Otro de los problemas más frecuentes encontrados en las inspecciones son las juntas deterioradas o desprendidas debido a una inadecuada instalación, siendo peligroso debido que pueden ocasionar infiltraciones aumentando el caudal para el cual fue diseñado el sistema.

La norma que utiliza la entidad operacional, analiza la severidad de la falla según su ubicación dentro de la circunferencia. Por lo cual, es necesario visualizar al tubo en una sección transversal y dividirlo en 12 partes según las manecillas del reloj, como se muestra en la figura 4.2. Para eso, se debe realizar la inspección en el mismo sentido del flujo de agua, sin embargo ocurre en ocasiones donde es imposible avanzar con el equipo debido a colapsos u otras fallas que no permiten el paso del equipo, por lo cual se debe notificar lo sucedido.



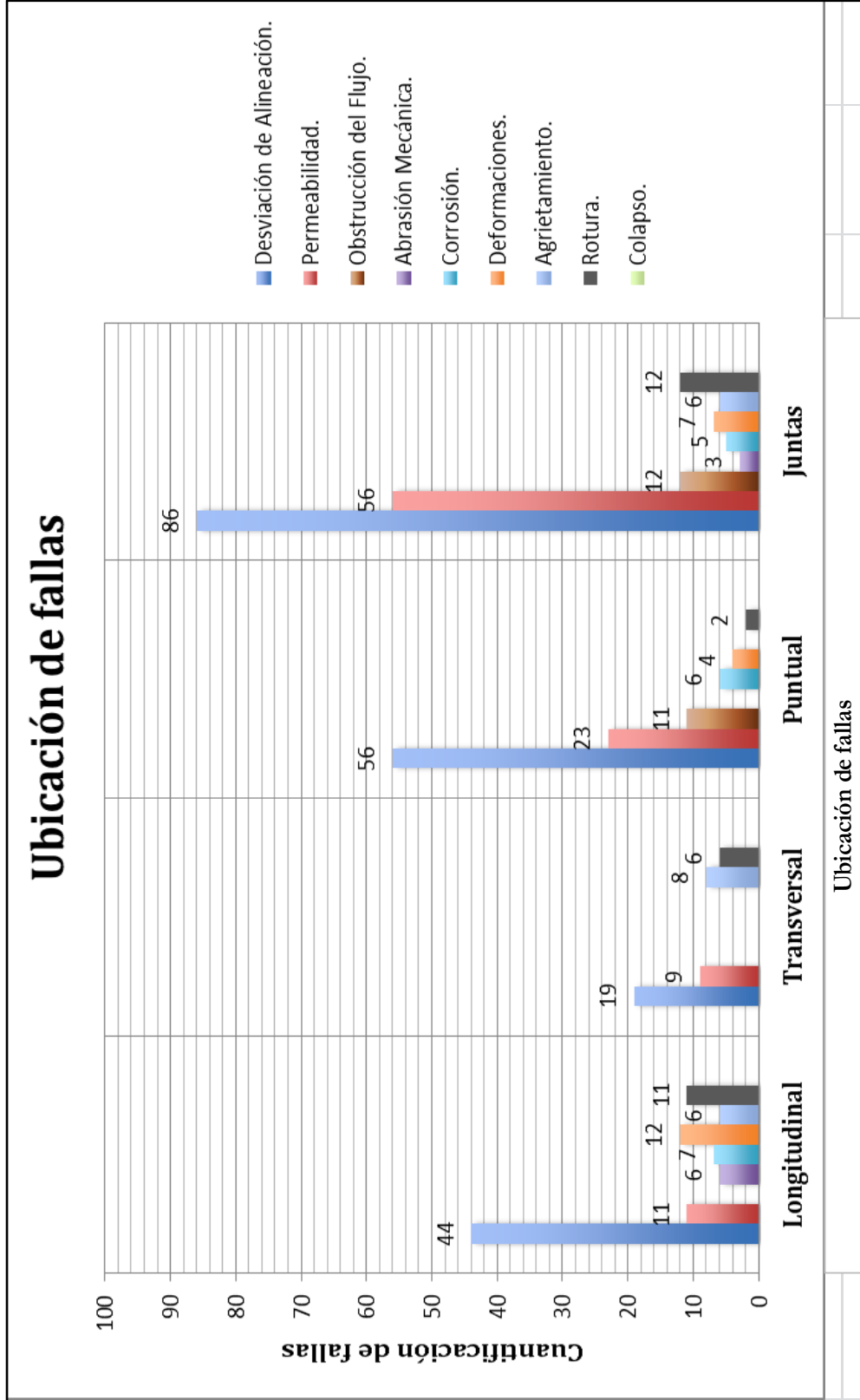
Figura 4.3: Uso de las manecillas del reloj para localizar fallas transversales.

Fuente: (Interagua, 2008)

Por tal motivo, se procedió a clasificar los tipos de fallas según la ubicación en el interior de la tubería, considerando que se encontraban en las juntas, de manera longitudinal, transversal y puntual. La mayoría de fallas detectadas como desviaciones o infiltraciones se presentaron en las juntas entre tubos como se muestra en el cuadro 4.4, debido a la caída o desprendimiento de los sellos de neopreno, siendo un problema grave en Guayaquil debido al nivel freático.

Las fallas de tipo estructural como roturas o agrietamientos se concentraron en las juntas y a largo del tubo de manera longitudinal y transversal, siendo consideradas las más críticas las que están ubicadas en la parte inferior del tubo debido que es por donde el flujo de agua es transportado. Cabe destacar que aunque en ciertos tramos de colectores se encontraron en estado deplorable, no hubo colapsos en ningún integrante de la muestra.

Cuadro 4.4: Tipos de fallas clasificadas según su ubicación en el interior del tubo.



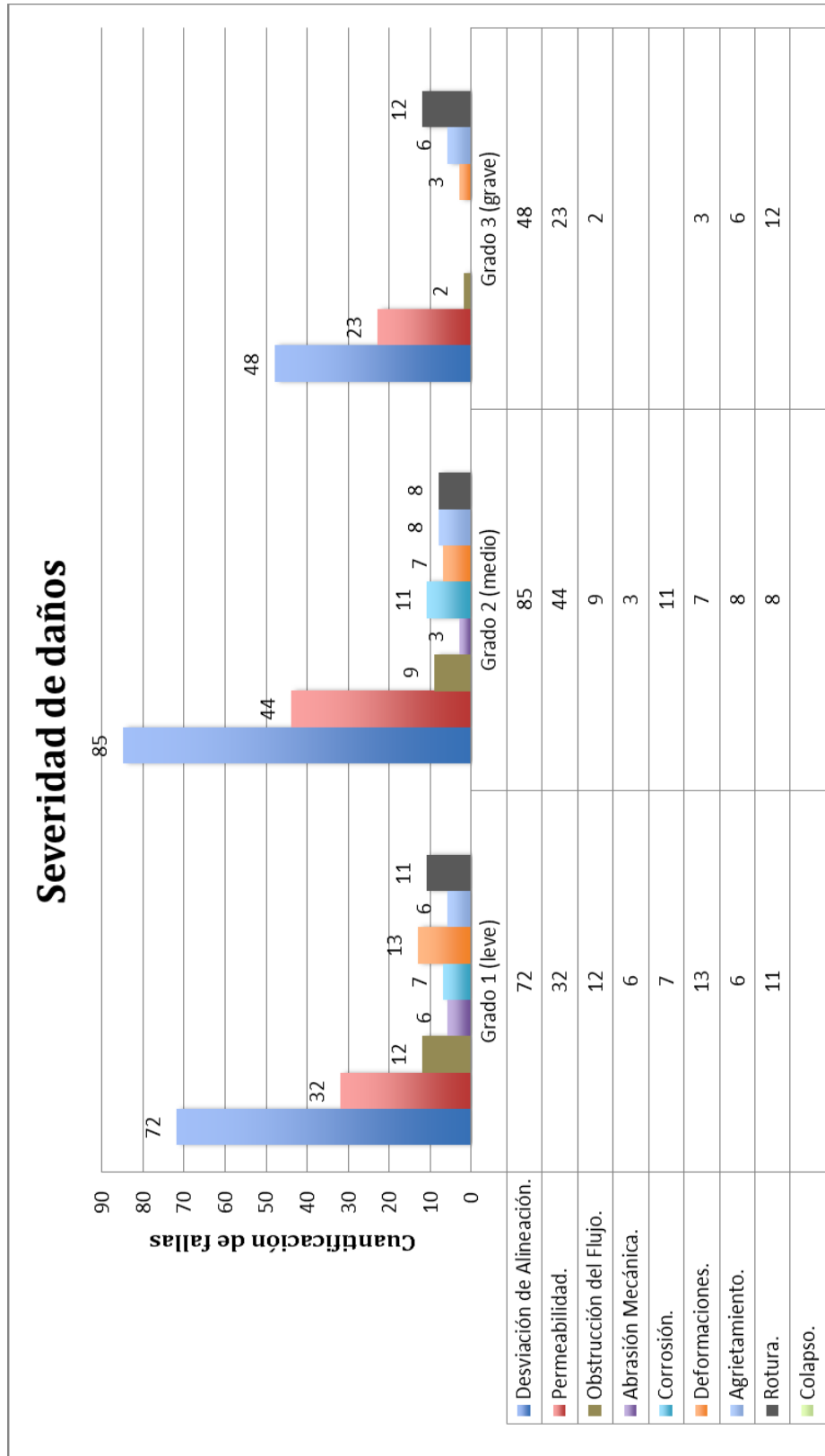
4.1.1.5. Trabajos correctivos a partir del diagnóstico de redes

Como se mencionó anteriormente, la presente norma se basa en criterios como el material y la edad de la tubería, y así mismo la ubicación de la falla dentro de la misma. La norma implementada para este proyecto contempla 3 grados de intensidad de daños: 1) grado leve 2) grado medio 3) grado grave.

Se lo clasifica de esa forma, debido que se requiere obtener facilidad para brindar un diagnóstico respecto al estado de la tubería. Estos 3 grados le dan una calificación a las fallas, dependiendo de su incidencia al funcionamiento habitual de la red, ya sea estructural o hidráulico. Por tal motivo, se procedió a analizar los tipos de fallas según el grado de criticidad que tienen, como se muestra en el cuadro 4.5.

El primer grado representa que la falla no representa un peligro considerable a la tubería, debido que no altera las condiciones para la cual fue diseñado y se puede reparar fácilmente. El segundo grado significa que la falla podría en un futuro desencadenar en problemas graves a la estabilidad estructural e hidráulica del tubo, y queda a criterio de la fiscalización qué medidas se podría tomar para solucionarlas. El tercer grado se considera grave debido a que la tubería se encuentra en condiciones deplorables, y es necesario renovarla para evitar colapsos.

Cuadro 4.5: Tipos de fallas clasificadas según la severidad de daños.



Una vez clasificado las fallas encontradas según el grado de severidad, se procedió a analizar las medidas correctivas que se realizaron después de conocer el diagnóstico de las tuberías inspeccionadas. En la tabla 4.11, se muestra los tipos de trabajos correctivos que fueron implementados para este proyecto de rehabilitación, ya sea el cambio total del tubo o una reparación puntual en el lugar donde se encuentre la falla.

Se puede observar que dentro de los 32 casos inspeccionados, la mayoría se las opto por renovar debido que presentaban fallas considerables que podían afectar la capacidad estructural e hidráulica del tubo, en especial las tuberías que habían excedido los 30 años de vida útil debido que estaban próximas a llegar a su etapa final de funcionamiento, y fueron las que presentaban fallas más graves. Las tuberías que fueron sometidas a reparaciones puntuales son las que tenían menor edad en funcionamiento, y las fallas no comprometían el funcionamiento ideal del sistema.

Tabla 4.11: Trabajos de rehabilitación de colectores implementados en el sector Los Vergeles.

Años de vida útil - Tipo de material	Mantenimiento Correctivo			Total general
	Cambio	OK	Reparación puntual	
<10 años				
PVC	1	2	4	7
<20 años				
Hormigón Simple	1			1
PVC	3	1	2	6
<30 años				
Hormigón Armado	1			1
Hormigón Simple	2		1	3
PVC	3		1	4
<40 años				
Hormigón Armado	3			3
Hormigón Simple	2			2
Sin Conocer				
Hormigón Simple	4			4
PVC			1	1
Total general	20	3	9	32

Cabe destacar que las fallas encontradas se caracterizaron en su mayoría por tener un grado leve (1) o grado medio (2) según su criticidad, lo cual significa que las decisiones tomadas fueron sujetas a criterios de la fiscalización en conjunto de la entidad pública.

4.1.2. Rehabilitación de redes: Cuenca “La Chala”

4.1.2.1. Descripción de la muestra

La segunda muestra corresponde a la rehabilitación de redes de alcantarillado sanitario correspondiente a la cuenca La Chala, impulsado por la entidad reguladora y operativa del manejo del agua de Guayaquil. En el mes de Octubre del año 2016, se comenzó a inspeccionar los colectores y ramales que componían el sistema de redes del sector, cuyos trabajos siguen hasta la actualidad. La finalidad de este plan de mantenimiento surgió para beneficiar a 325000 habitantes, y garantizar el buen funcionamiento de las redes para la circulación de las aguas residuales hasta la estación de bombeo de la subcuenca La Chala (EMAPAG-EP, 2016).

La justificación de realizar el plan de rehabilitación en la cuenca La Chala se dio por el aumento considerable de un 25% de caudal adicional que descargaba a la estación de bombeo, producto de infiltraciones debido a la cercanía a los cuerpos de agua como el Río Guayas y el Estero Salado, considerando que el nivel freático se encontraba a menos de 1 metro de la superficie. Adicional, cabe destacar que se estimaba que las tuberías del sector tengan entre 30 a 50 años en servicio, agravando aún más la situación debido al estado de las redes existentes. En la tabla 2.1, se puede observar las longitudes de los colectores, ramales y tirantes que conforman la cuenca La Chala,

sin embargo se obtuvo información netamente de colectores como muestra de estudio de la presente investigación.

Tabla 4.12: Catastro de redes que componen la cuenca “La Chala”

Sub - Cuenca	Área (Ha)	Colectores (m)	Ramales (m)	Tirantes (m)	Población
B21	585,68	18218,4225	174706,4825	7341,4475	7360
B22	173,88	5481,6425	54952,7325	2596,5075	11886
B23	351,12	11409,4925	97891,9225	4736,1275	19741
B24	231,35	6302,7725	77047,7625	4736,1275	13445
TOTAL	1342,03	41412,33	404598,9	19410,21	52432

Como se mencionó anteriormente, el sector de la sub-cuenca La Chala está ubicado al sur de la ciudad abarcando un área de 1342 Ha, el cual descarga las aguas residuales mediante pendiente hasta llegar a la estación de bombeo “La Chala”. Posteriormente, a través de bombas sumergibles se transporta los fluidos a presión con destino a otra estación de bombeo, denominada “Praderas”.

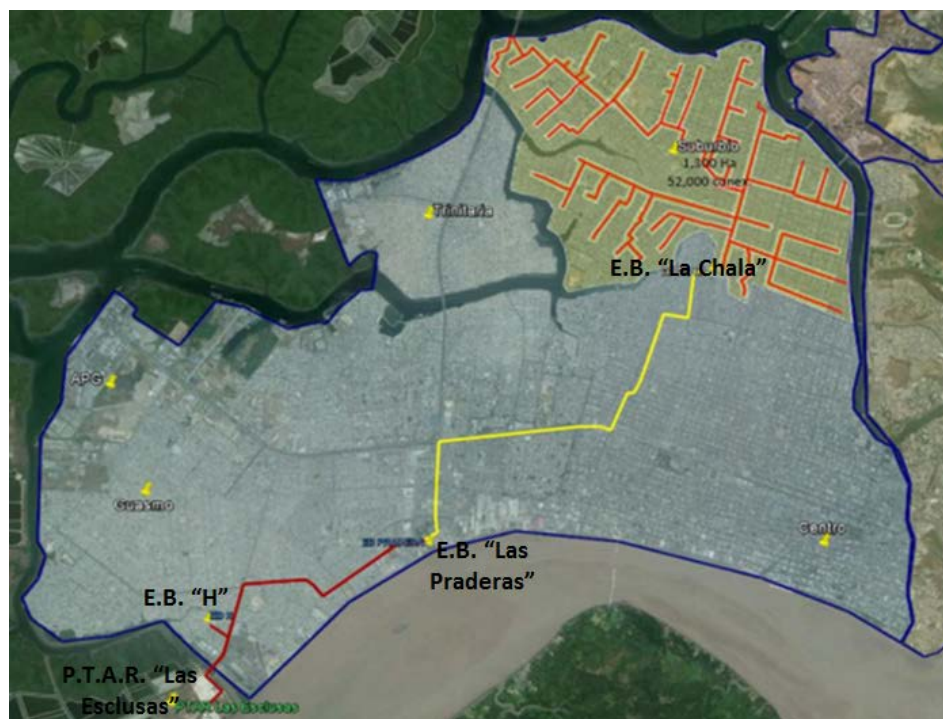


Figura 4.4: Implantación de las estaciones de bombeo que transportan las AASS de la cuenca La Chala.

Fuente: (EMAPAG-EP, 2016).

Por último, las aguas residuales que fueron descargadas a la estación de bombeo “Las Praderas” son transportadas mediante una línea de impulsión hasta llegar a la planta de tratamiento “Las Esclusas” como se muestra en la figura 4,5, donde se procede a tratarlas para ser devueltas al medio ambiente.



Figura 4.5: Línea de impulsión “Pradera -Las Esclusas”

Fuente: (EMAPAG-EP, 2016).

Dentro de la información que se obtuvo de los colectores que conforman la cuenca La Chala están: los diámetros, los tipos de materiales, fallas encontradas, diagnósticos de tramos inspeccionados y métodos de rehabilitación empleados. La red de colector abarca una longitud aproximada de 41412,069 ml, de los cuales se encontraron tramos con diámetros en rangos entre 200 mm hasta tuberías de 1400 mm, como se muestra en la tabla 4.13.

Tabla 4.13: Longitudes de redes clasificados según el diametro del colector.

Diámetro	Longitud (m)
200mm	9992,97
225mm	456,98
250mm	7145,99
300mm	3965,26
350mm	199,98
400mm	5491,20
450mm	727,34
500mm	5741,26
600mm	2460,02
650mm	395,23
800mm	2022,59
900mm	341,66
1000mm	932,66
1200mm	1538,93
TOTAL	41412,06955

A continuación se procede a mostrar la implantación de los colectores clasificados según el diámetro, donde se observa que las tuberías con menor diámetro se encuentran repartidas en las redes secundarias siendo las más cercanas a las superficies y las que llevan menor caudal. Por otro lado, las tuberías con diámetro considerable corresponden en su mayoría al colector principal, siendo los más profundos debido a su cercanía a la llegada a la estación de bombeo.

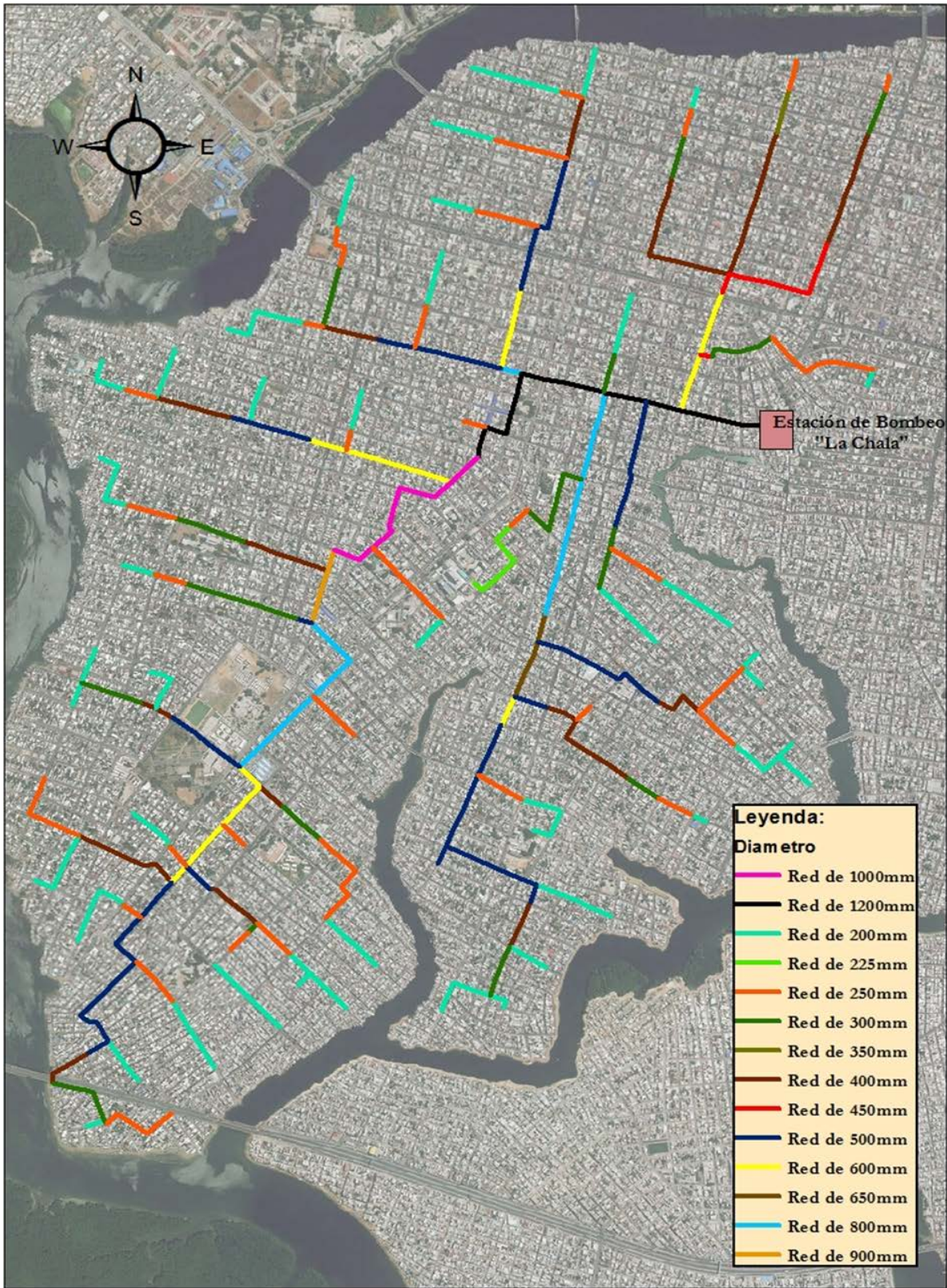


Figura 4.6: Implantación de colectores de la cuenca La Chala clasificados según su diámetro.

Fuente: (EMAPAG-EP, 2016).

4.1.2.2. Clasificación de fallas con la norma española EN-13508

Para el presente proyecto se adjudicó los trabajos de rehabilitación a la empresa Pfeifer y la fiscalización a la empresa Nippon Koeic Lac. Para el diagnóstico de los tramos de tuberías inspeccionados en este proyecto, se implementó la normativa española UNE – EN 13508-2, que se caracteriza por ser de carácter cualitativo debido especifica los datos obtenidos de las tuberías inspeccionadas mediante códigos, clasificándolas en 4 divisiones que son: estructurales, funcionamiento, inventarios y otros. Esta normativa aprobada en el 2003, se la utiliza en algunos países de Europa como: Francia, Italia, Suiza y entre otros. Previo a realizarse la inspección esta normativa solicita ciertos requisitos que servirán para diagnosticar cada tramo, siendo entre esos: el tipo de material, año en construcción, precipitaciones, dirección de la inspección, sección transversal y entre otros. En la tabla que se muestra a continuación detalla el formato de la plantilla que usa esta normativa para registrar el tipo de falla y su ubicación en el interior del tubo.

Tabla 4.14: Plantilla para registrar datos de colectores inspeccionados.

Localización longitudinal	Codigo Principal	Caracterización		Cuantificación		Localización Circunferencial		Junta	Ref. fotográfica	Ref. video	Observaciones
		1	2	1	2	1	2				
12.5	BAB	A	B			11	3			0:12:31	

Se debe especificar tanto la ubicación a lo largo y en la circunferencia del tubo, debido que es un parámetro importante para tomar decisiones respecto a los trabajos correctivos a emplear. Como se muestra en la tabla 4.15, la norma UNE-EN 13508-2 sugiere utilizar las manecillas del reloj para localizar la falla en la circunferencia del tubo, por lo cual sugiere realizarse la inspección en el mismo sentido del flujo del agua

al igual que la normativa implementada por entidad operativa del manejo de agua de Guayaquil.

Tabla 4.15: Localización de fallas circunferenciales según las manecillas del reloj.

Fuente: (UNE-EN13508-2, 2003)

Ángulo	Sentido Horario
0 ± 15	12
30 ± 15	1
60 ± 15	2
90 ± 15	3
120 ± 15	4
150 ± 15	5
180 ± 15	6
210 ± 15	7
240 ± 15	8
270 ± 15	9
300 ± 15	10
330 ± 15	11
360 ± 15	12

Como se mencionó anteriormente, esta normativa opta por clasificar los datos en 4 grupos. En el apartado 8.2 de la norma española EN-13508-2, explica los códigos relacionados a las fallas estructurales, el cual se las puede identificar con las letras “BA”. Dentro de las fallas estructurales están: las deformaciones, fisuras, roturas, defectos en paredes, falta de mortero, daños en la superficie, entre otras que conforman un subgrupo que son clasificadas igualmente por letras. Por ejemplo, el código de las fisuras es BAA, indicando que “BA” pertenece a una falla estructural y “A” a una fisura.

A continuación en el cuadro 4.6, se procede a mostrar la cuantificación de fallas estructurales según los diámetros que conforman el sistema de alcantarillado sanitario de la Chala, que varían en rangos de 200mm hasta 1200mm. Los diámetros de tuberías de 200mm hasta 500mm son los que se han usado con mayor frecuencia

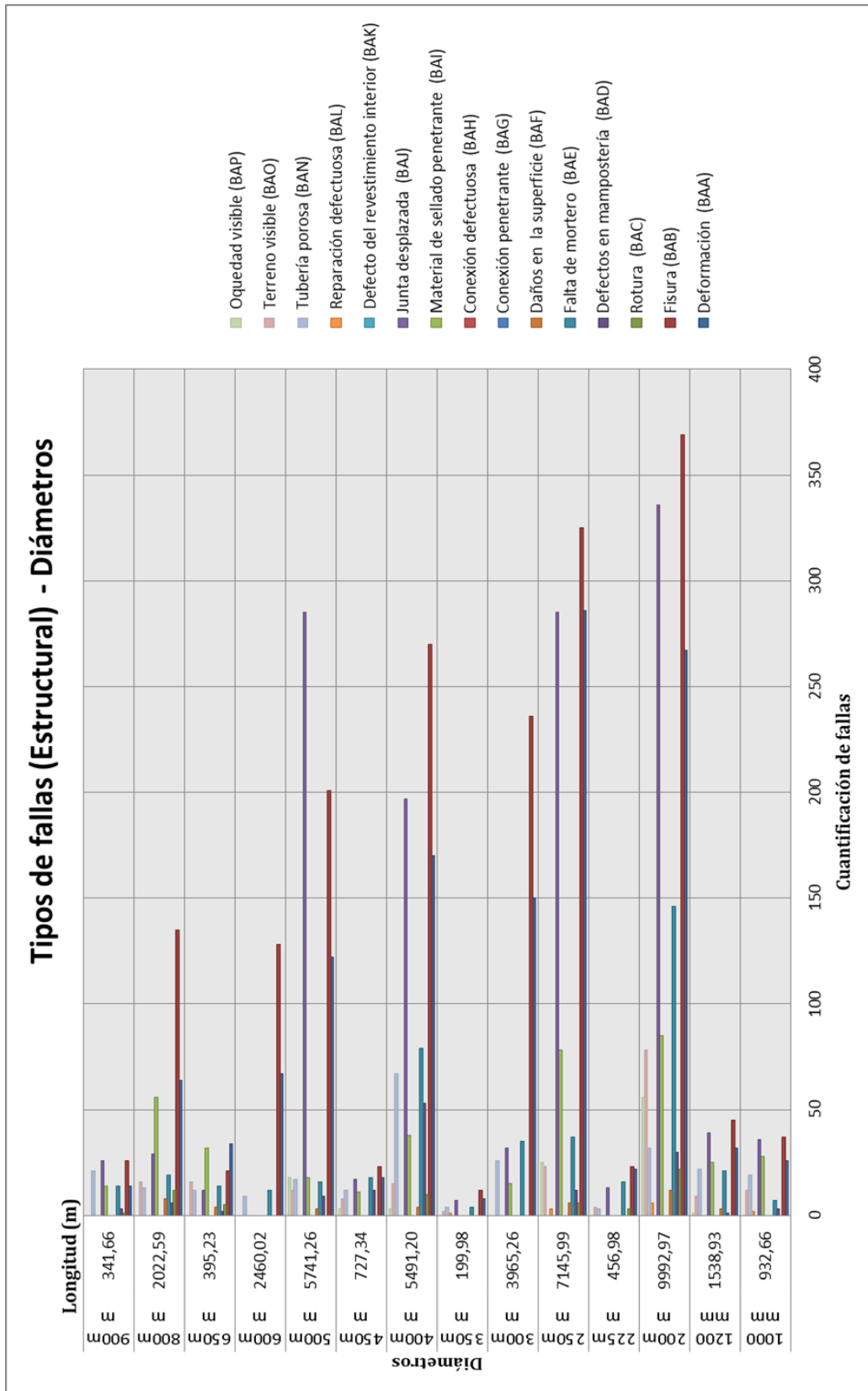
para este sistema de alcantarillado, debido que son empleados comúnmente en los colectores secundarios que son por donde se transportan menor caudal. Para los colectores más grandes que son los que conforman la red principal de alcantarillado se considera usar diámetros más grandes.

Tabla 4.16: Tipos de fallas estructurales clasificadas según el diámetro de los colectores.

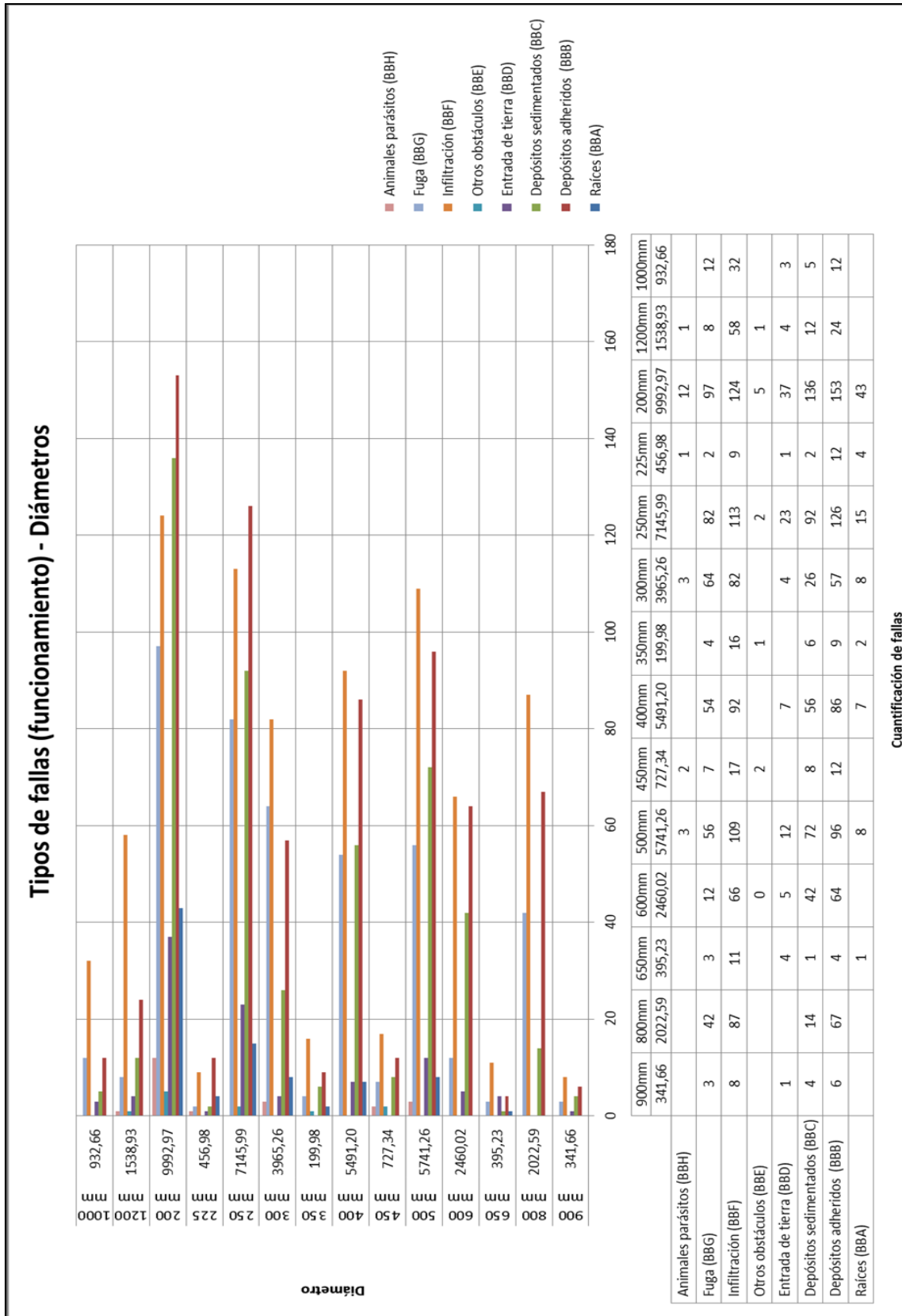
Diámetro:	1000mm	1200mm	200mm	225mm	250mm	300mm	350mm	400mm	450mm	500mm	600mm	650mm	800mm	900mm
■ Oquedad visible (BAP)		1	56		25			3	3	18				
■ Terreno visible (BAO)	12	9	78	4	23		2	15	8	12		16	16	
■ Tubería porosa (BAN)	19	22	32	3		26	4	67	12	17	9	12	13	21
■ Reparación defectuosa (BAL)	2		6		3		1							
■ Defecto del revestimiento interior (BAK)														
■ Junta desplazada (BAI)	36	39	336	13	285	32	7	197	17	285		12	29	26
■ Material de sellado penetrante (BAI)	28	25	85		78	15		38	11	18		32	56	14
■ Conexión defectuosa (BAH)														
■ Conexión penetrante (BAG)														
■ Daños en la superficie (BAF)		3	12		6			4		3		4	8	
■ Falta de mortero (BAE)	7	21	146	16	37	35	4	79	18	16	12	14	19	14
■ Defectos en mampostería (BAD)	3	1	30		12			53	12	9		2	6	3
■ Rotura (BAC)			22	3	6			10				5	12	1
■ Fisura (BAB)	37	45	369	23	325	236	12	270	23	201	128	21	135	26
■ Deformación (BAA)	26	32	267	22	286	150	8	170	18	122	67	34	64	14

Cuantificación de fallas

Cuadro 4.6: Tipos de fallas estructurales clasificadas según el diámetro de los colectores.



Cuadro 4.7: Tipos de fallas operativas clasificadas según el diámetro de los colectores.



4.1.2.3. Análisis estadístico de fallas en redes de la cuenca La Chala

Se procede a realizar un análisis estadístico de los tipos de fallas encontradas en la cuenca “La Chala”, con respecto al diámetro de la tubería. Por lo tanto es importante determinar las medidas de dispersión y de tendencia central, clasificando las fallas según la normativa española EN-13508-2.

Las deformaciones de tuberías componen el grupo de fallas estructurales con código de BAA, que se refiere al cambio del diámetro del tubo, ya sea en vertical u horizontal. Como se muestra en la siguiente tabla, se encontraron un total de 1280 deformaciones resultando que las tuberías con diámetro de 250mm fue donde se presentaron más repeticiones de este tipo de fallas. Para el proyecto de La Chala es importante analizar el porcentaje de reducción del diámetro, debido que dependerá para conocer la severidad del daño, y así determinar el método de rehabilitación a emplear.

Tabla 4.17: Deformaciones (BAA) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”

Tipo de falla: Deformación (BAA)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200mm	14	267	91,43	286	176	30825,33	2371,18	93,99	103%
225mm		22			-69	4820,33	370,79		
250mm		286			195	37858,04	2912,16		
300mm		150			59	3430,61	263,89		
350mm		8			-83	6960,33	535,41		
400mm		170			79	6173,47	474,88		
450mm		18			-73	5391,76	414,75		
500mm		122			31	934,61	71,89		
600mm		67			-24	596,76	45,90		
650mm		34			-57	3298,04	253,70		
800mm		64			-27	752,33	57,87		
900mm		14			-77	5995,18	461,17		
1000mm		26			-65	4280,90	329,30		
1200mm		32			-59	3531,76	271,67		
Total general	1280				114849,43	8834,57			

Las fisuras (BAB) son fallas que se encuentran en todos los diámetros de tuberías, y su severidad dependerá de que tan visible se observa la grieta, debido que puede presentarse de manera superficial o como fractura, siendo más grave este último. También es importante ver la ubicación dentro del tubo, siendo las más graves las que se forman en la circunferencia del tubo. Dentro de los resultados se halló una media muestral alrededor de 132,21, lo cual certifica que esta falla es una de las más predominantes. La desviación estándar que se calculó fue de 126 y el coeficiente de variación fue del 95% resultando que la muestra es heterogénea.

Tabla 4.18: Fisura (BAB) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”

Tipo de falla: Fisuras (BAB)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200mm	14	369	132,21	369	237	56067	4313	126,00	95%
225mm		23			-109	11928	918		
250mm		325			193	37166	2859		
300mm		236			104	10771	829		
350mm		12			-120	14451	1112		
400mm		270			138	18985	1460		
450mm		23			-109	11928	918		
500mm		201			69	4731	364		
600mm		128			-4	18	1		
650mm		21			-111	12369	951		
800mm		135			3	8	1		
900mm		26			-106	11281	868		
1000mm		37			-95	9066	697		
1200mm		45			-87	7606	585		
Total general		1851				206376,36	15875,10		

Otro tipo de fallas son las roturas que están representados bajo el código (BAC), y se consideran graves debido a la pérdida de fragmentos que brindan soporte estructural del tubo. Esta normativa las categoriza según la severidad del daño dependiendo de la cantidad de pérdida del tubo, es decir en ocasiones se presentan como pérdidas de ciertos pedazos del tubo, y en otras aún más grave el desplome de la tubería.

Se encontraron alrededor de 59 fallas de este tipo, obteniendo mayor presencia en las tuberías de 200mm con un total de 22 repeticiones, y una media muestral de 8,43. Debido a los años en servicio de las redes de alcantarillado sanitario de La Chala, es importante tener en cuenta que dichos tramos deben ser obligatoriamente reemplazados.

Tabla 4.19: Rotura (BAC) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”

Tipo de falla: Roturas (BAC)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200mm	7	22	8,43	22	13,6	184,18	30,70	7,09	84%
225mm		3			-5,4	29,47	4,91		
250mm		6			-2,4	5,90	0,98		
400mm		10			1,6	2,47	0,41		
650mm		5			-3,4	11,76	1,96		
800mm		12			3,6	12,76	2,13		
900mm		1			-7,4	55,18	9,20		
Total general		59				301,71	50,29		

Los defectos en la mampostería suceden cuando los ladrillos de las paredes del tubo son desplazados perdiendo la posición original. Este tipo de fallas es representado con el código BAC, y no se encontró en el presente proyecto de rehabilitación.

Al pasar los años, es frecuente que el mortero de las paredes del tubo sufra desgaste debido al paso constante de las aguas residuales. Se presentó en todas las tuberías de hormigón, obteniendo una media muestral de 31,29 y una moda de 146 repeticiones en las tuberías de 200mm. La muestra se considera heterogénea debido que el coeficiente variación resulto mayor a 1. En la normativa española se representa mediante el código BAD.

Tabla 4.20: Falta de mortero (BAD) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”

Tipo de falla: Falta de mortero (BAD)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200mm	14	146	31,29	146	115	13159,37	1012,26	37,91	121%
225mm		16			-15	233,65	17,97		
250mm		37			6	32,65	2,51		
300mm		35			4	13,80	1,06		
350mm		4			-27	744,51	57,27		
400mm		79			48	2276,65	175,13		
450mm		18			-13	176,51	13,58		
500mm		16			-15	233,65	17,97		
600mm		12			-19	371,94	28,61		
650mm		14			-17	298,80	22,98		
800mm		19			-12	150,94	11,61		
900mm		14			-17	298,80	22,98		
1000mm		7			-24	589,80	45,37		
1200mm		21			-10	105,80	8,14		
Total general		438				18686,86	1437,45		

Los daños en la superficie que corresponde al código BAF se producen debido a fallas en el interior del tubo que se propagan pudiendo afectar el suelo y el agua circundante. Se observan la presencia de los áridos en la superficie, socavaciones y entre otros. Como se observa en la siguiente tabla, se encontraron con mayor presencia en las tuberías cercanas a la superficie, obteniendo una media muestral 5,71.

Tabla 4.21: Daños en la superficie (BAF) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”

Tipo de falla: Daños en la superficie (BAF)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200mm	7	12	5,71	12	6,29	39,51	6,59	3,30	58%
250mm		6			0,29	0,08	0,01		
400mm		4			-1,71	2,94	0,49		
500mm		3			-2,71	7,37	1,23		
650mm		4			-1,71	2,94	0,49		
800mm		8			2,29	5,22	0,87		
1200mm		3			-2,71	7,37	1,23		
Total general					40				

Otro tipo de fallas que ocurren con frecuencia es la caída del material de sellado del tubo, ocasionando que se produzcan infiltraciones en las juntas. Fue uno de los

problemas más concurrentes en la cuenca La Chala alterando el caudal original para el cual fue diseñado el sistema de alcantarillado sanitario. Del total de 400 fallas de este tipo, hubo 85 que correspondían a las tuberías de 200mm siendo las más afectadas, y una media muestral de 36,36.

Tabla 4.22: Material de sellado penetrante (BAI) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”

Tipo de falla: Material de sellado penetrante (BAI)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200mm	11	85	36,36	85	79,29	6286,22	628,62	41,20	113%
250mm		78			72,29	5225,22	522,52		
300mm		15			9,29	86,22	8,62		
400mm		38			32,29	1042,37	104,24		
450mm		11			5,29	27,94	2,79		
500mm		18			12,29	150,94	15,09		
650mm		32			26,29	690,94	69,09		
800mm		56			50,29	2528,65	252,87		
900mm		14			8,29	68,65	6,87		
1000mm		28			22,29	496,65	49,67		
1200mm		25			19,29	371,94	37,19		
Total general		400				16975,76	1697,58		

Las juntas desplazadas se observaron con frecuencia en todos los diámetros de tuberías, y se producen debido a que el tubo ha estado sometido a exceso de cargas o por el paso de los años en servicio. Se refiere al desplazamiento superior a 10mm en las conexiones de dos tuberías, el cual podría desencadenar en pérdida de estabilidad estructural o infiltraciones. Pueden ocurrir de tipo longitudinal, radial o angular. Para los desplazamientos radiales y angulares es importante considerar la ubicación de la falla utilizando las manecillas del reloj, debido que eso determinara la severidad del mismo.

En total, se encontraron 1314 desplazamientos en juntas siendo uno de los factores principales para la renovación del sistema. Se obtuvo una media muestral de 101,08 y una moda de 336 en tuberías de 200mm.

Tabla 4.23: Juntas desplazadas (BAJ) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”

Tipo de falla: Junta desplazada (BAJ)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200mm	13	336	101,08	336	235	55188,85	4599,07	124,95	124%
225mm		13			-88	7757,54	646,46		
250mm		285			184	33827,70	2818,97		
300mm		32			-69	4771,62	397,64		
350mm		7			-94	8850,47	737,54		
400mm		197			96	9201,24	766,77		
450mm		17			-84	7068,93	589,08		
500mm		285			184	33827,70	2818,97		
650mm		12			-89	7934,70	661,22		
800mm		29			-72	5195,08	432,92		
900mm		26			-75	5636,54	469,71		
1000mm		36			-65	4235,01	352,92		
1200mm		39			-62	3853,54	321,13		
Total general		1314				187348,92	15612,41		

El ácido sulfúrico ocasionado por los gases tóxicos de las aguas residuales puede provocar la presencia de porosidad en las paredes de las tuberías de hormigón simple o armado, dejando expuesto a los áridos y aceros de refuerzos. Así mismo, es importante registrar la ubicación de la falla en el interior del tubo, debido que es un factor para determinar su severidad. Se observaron alrededor de 257 fallas donde se obtuvo una media muestral de 19,77 y una desviación estándar de 16,45.

Tabla 4.24: Tuberías porosas (BAN) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”.

Tipo de falla: Tubería Porosa (BAN)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200mm	13	32	19,77	67	12,23	149,59	12,47	16,45	83%
225mm		3			-16,77	281,21	23,43		
300mm		26			6,23	38,82	3,24		
350mm		4			-15,77	248,67	20,72		
400mm		67			47,23	2230,75	185,90		
450mm		12			-7,77	60,36	5,03		
500mm		17			-2,77	7,67	0,64		
600mm		9			-10,77	115,98	9,66		
650mm		12			-7,77	60,36	5,03		
800mm		13			-6,77	45,82	3,82		
900mm		21			1,23	1,51	0,13		
1000mm		19			-0,77	0,59	0,05		
1200mm		22			2,23	4,98	0,41		
Total general		257				3246,31	270,53		

En la cuenca La Chala se observaron pocos tramos que habían sido reparados anteriormente, debido a reclamos de los moradores del sector, sin embargo en algunos casos se volvieron defectuosos debido al paso de los años. Entre los detalles que se registraron se encontraron: caídas de juntas, falta de pared, grietas, entre otras. Este tipo de falla es representada con el código BAL, y se calculó una media muestral de 3,00 y una desviación estándar de 2,16.

Tabla 4.25: Reparación defectuosa (BAL) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”.

Tipo de falla: Reparación defectuosa (BAL)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	(xi - \bar{x}) ²	S ²	S	CV
200mm	4	6	3,00	6	3,00	9,00	3,00	2,16	72%
250mm		3			0,00	0,00	0,00		
350mm		1			-2,00	4,00	1,33		
1000mm		2			-1,00	1,00	0,33		
Total general		12					14,00		

Cuando existen desplazamientos de juntas, fisuras o roturas en el interior de la tubería puede surgir en otro tipo de problema, que se refiere a la visibilidad del terreno externo a partir de una falla. Se obtuvo una media muestral de 17,73 y una desviación estándar de 20,85. La muestra se considera heterogénea.

Tabla 4.26: Terreno visible (BAO) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”.

Tipo de falla: Terreno Visible (BAO)													
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación				
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	(xi - \bar{x}) ²	S ²	S	CV				
200mm	11	78	17,73	78	60,27	3632,80	363,28	20,85	118%				
225mm		4			-13,73	188,44	18,84						
250mm		23			5,27	27,80	2,78						
350mm		2			-15,73	247,35	24,73						
400mm		15			-2,73	7,44	0,74						
450mm		8			-9,73	94,62	9,46						
500mm		12			-5,73	32,80	3,28						
650mm		16			-1,73	2,98	0,30						
800mm		16			-1,73	2,98	0,30						
1000mm		12			-5,73	32,80	3,28						
1200mm		9			-8,73	76,17	7,62						
Total general		195								4346,18	434,62		

Se procede analizar las fallas que alteran el funcionamiento correcto de los sistemas de alcantarillado sanitario, y son clasificadas mediante el código BB. Un ejemplo de este tipo de fallas son las raíces, que suelen presentarse en el interior de las tuberías a través de juntas defectuosas o grietas. En grandes cantidades podría disminuir el área provocando que se obstaculice el paso de los fluidos. En el presente proyecto se observó la presencia de raíces en 88 tramos inspeccionados obteniendo una media muestral de 11, siendo los colectores superficiales los más afectados.

Tabla 4.27: Raíces (BBA) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”.

Tipo de falla: Raíces (BBA)													
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación				
	n	Xi	\bar{x}	Mo	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV				
200mm	8	43	11	43	32,0	1024,0	146,3	13,65	124%				
225mm		4			-7,0	49,0	7,0						
250mm		15			4,0	16,0	2,3						
300mm		8			-3,0	9,0	1,3						
350mm		2			-9,0	81,0	11,6						
400mm		7			-4,0	16,0	2,3						
500mm		8			-3,0	9,0	1,3						
650mm		1			-10,0	100,0	14,3						
Total general		88								1304,0	186,3		

Los depósitos adheridos son fallas que disminuyen el área del tubo que pueden ser provocados por la presencia de grasas, u otros factores biológicos. Se encontró un total de 728 fallas, y se calculó una media muestral de 52.

Tabla 4.28: Depósito adheridos (BBB) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”.

Tipo de falla: Depositos Adheridos (BBB)													
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación				
	n	Xi	\bar{x}	Mo	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV				
200mm	14	153	52	153	101	10201	784,69	44,97	86%				
225mm		12			-40	1600	123,08						
250mm		126			74	5476	421,23						
300mm		57			5	25	1,92						
350mm		9			-43	1849	142,23						
400mm		86			34	1156	88,92						
450mm		12			-40	1600	123,08						
500mm		96			44	1936	148,92						
600mm		64			12	144	11,08						
650mm		4			-48	2304	177,23						
800mm		67			15	225	17,31						
900mm		6			-46	2116	162,77						
1000mm		12			-40	1600	123,08						
1200mm		24			-28	784	60,31						
Total general		728								31016	2022,38		

Cuando diversos materiales como áridos gruesos o finos se van depositando en un punto en el interior de la tubería, pueden obstaculizar el área por donde circula el fluido. Se encontraron 476 fallas por depósitos sedimentados, donde 136 corresponden a los colectores de 200mm. Se presentan con mayor frecuencia en colectores iniciales con diámetro pequeño debido que transportan caudales y velocidades bajas, y al no tener una pendiente considerable no permite obtener condiciones apropiadas para la autolimpieza.

Tabla 4.29: Depósito sedimentados (BBC) en redes de alcantarillado cuenca “La Chala”.

Tipo de falla: Depositos Sedimentados (BBC)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2) / (n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200mm	14	136	34	136	102	10404	800,31	41,16	121%
225mm		2			-32	1024	78,77		
250mm		92			58	3364	258,77		
300mm		26			-8	64	4,92		
350mm		6			-28	784	60,31		
400mm		56			22	484	37,23		
450mm		8			-26	676	52,00		
500mm		72			38	1444	111,08		
600mm		42			8	64	4,92		
650mm		1			-33	1089	83,77		
800mm		14			-20	400	30,77		
900mm		4			-30	900	69,23		
1000mm		5			-29	841	64,69		
1200mm		12			-22	484	37,23		
Total general		476				22022	1694,00		

Por problemas de juntas defectuosas o grietas podría provocar la entrada de tierra a la tubería, convirtiéndose en un obstáculo. Se obtuvo una media muestral de 9,2 y una desviación estándar de 11,17.

Tabla 4.30: Análisis estadístico del tipo de falla: Entrada de tierra (BBD)

Tipo de falla: Entrada de tierra (BBD)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2) / (n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200mm	11	37	9,2	37	27,8	773,85	77,39	11,17	122%
225mm		1			-8,2	66,94	6,69		
250mm		23			13,8	190,94	19,09		
300mm		4			-5,2	26,85	2,69		
400mm		7			-2,2	4,76	0,48		
500mm		12			2,8	7,94	0,79		
600mm		5			-4,2	17,49	1,75		
650mm		4			-5,2	26,85	2,69		
900mm		1			-8,2	66,94	6,69		
1000mm		3			-6,2	38,21	3,82		
1200mm		4			-5,2	26,85	2,69		
Total general		101				1247,64	124,76		

Uno de los problemas más graves ocurridos en la cuenca La Chala fueron fallas por infiltraciones, debido que está asentada en un área donde el nivel freático se encuentra a 1m de la superficie. Adicional, al presentarse fallas en las juntas o grietas permite que el agua circundante ingrese indebidamente al sistema de alcantarillado sanitario. Para determinar la severidad de la falla, es importante observar la cantidad de agua que entra a la tubería, es decir si presenta goteos, pequeños hilos de agua o chorros de agua que entran a presión.

Se encontraron un total de 824 infiltraciones y se obtuvo una media muestral de 59. Como se observa en la tabla 4.31 se presentan en todos los diámetros que componen la cuenca La Chala. La moda resulto de 124 siendo los colectores de 200mm los más afectados. Por último, la muestra resulto heterogénea debido que el coeficiente de variación es de 73%.

Tabla 4.31: Análisis estadístico del tipo de falla: Infiltración (BBF)

Tipo de falla: Infiltración (BBF)									
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV
200mm	14	124	59	124	65,14	4243,59	326,43	42,82	73%
225mm		9			-49,86	2485,73	191,21		
250mm		113			54,14	2931,45	225,50		
300mm		82			23,14	535,59	41,20		
350mm		16			-42,86	1836,73	141,29		
400mm		92			33,14	1098,45	84,50		
450mm		17			-41,86	1752,02	134,77		
500mm		109			50,14	2514,31	193,41		
600mm		66			7,14	51,02	3,92		
650mm		11			-47,86	2290,31	176,18		
800mm		87			28,14	792,02	60,92		
900mm		8			-50,86	2586,45	198,96		
1000mm		32			-26,86	721,31	55,49		
1200mm		58			-0,86	0,73	0,06		
Total general		824				23839,71	1833,82		

Las fugas que están representadas mediante el código BBG, son igual de graves que las infiltraciones debido que el agua que es transportada por las tuberías se puede

propagar al exterior, pudiendo contaminar el suelo y agua circundante. Sucede debido a otras fallas como grietas o roturas. Se encontraron alrededor de 446 fugas, y se obtuvo una media muestral de 32. La desviación estándar que se calculó fue de 33,14 en relación a la muestra.

Tabla 4.32: Análisis estadístico del tipo de falla: Fugas (BBG)

Tipo de falla: Fuga (BBG)													
Diámetro (mm)	Media muestral			Moda	Varianza ---- $S^2 = ((xi - \bar{x})^2)/(n-1)$			Desviación estándar	Coefficiente de variación				
	n	Xi	\bar{x}	Mo	xi - \bar{x}	$(xi - \bar{x})^2$	S^2	S	CV				
200mm	14	97	32	97	65,14	4243,59	326,43	33,14	104%				
225mm		2			-29,86	891,45	68,57						
250mm		82			50,14	2514,31	193,41						
300mm		64			32,14	1033,16	79,47						
350mm		4			-27,86	776,02	59,69						
400mm		54			22,14	490,31	37,72						
450mm		7			-24,86	617,88	47,53						
500mm		56			24,14	582,88	44,84						
600mm		12			-19,86	394,31	30,33						
650mm		3			-28,86	832,73	64,06						
800mm		42			10,14	102,88	7,91						
900mm		3			-28,86	832,73	64,06						
1000mm		12			-19,86	394,31	30,33						
1200mm		8			-23,86	569,16	43,78						
Total general		446								14275,71	1098,13		

Como resultado de las inspecciones realizadas se pudo encontrar 5952 fallas de tipo estructural y 2696 fallas que alteran el funcionamiento del sistema. Se justifica la rehabilitación de toda la cuenca La Chala, debido que se estima que los colectores existentes cuentan con alrededor de 30 a 50 años en servicio.

4.1.2.4. Análisis de fallas según material de colectores

Así mismo, es importante conocer con qué tipo de material está fabricado el tramo inspeccionado, debido que es un criterio a considerar para diagnosticar una tubería. En el presente proyecto se encontró redes de PVC, Hormigón Simple y Hormigón Armado, como se muestra en la tabla 2.1 donde se indica las longitudes de tuberías por diámetro.

Tabla 4.33: Resumen de longitudes de colectores respecto al material.

Material	Longitud (m)	%
Hormigón Armado	14103,18162	34,06%
Hormigón Simple	24764,01179	59,80%
PVC	2544,876134	6,15%
TOTAL	41412,06955	100,00%

En la figura 4.7, se observa que el material que predomina es el hormigón simple en colectores con menor diámetro representando el 59,80% del total de redes del sistema, y el hormigón armado que constituye el 34,06% en los tramos donde la tubería se encuentra ubicada a mayor profundidad estando sometidas a esfuerzos considerables debido al nivel freático, suelo circundante y cargas vivas en la superficie. Con respecto a las tuberías de PVC que conforma el 6.15% de los colectores, se encuentra en menor proporción debido a que se estima a que los años en servicio del sistema superan los 30 a 50 años.

En los tramos donde se observó PVC, fue producto que en años anteriores pudo existir una falla que afecto el funcionamiento hidráulico y estructural, y se tuvo que reemplazar el tramo antiguo en ese mismo momento.

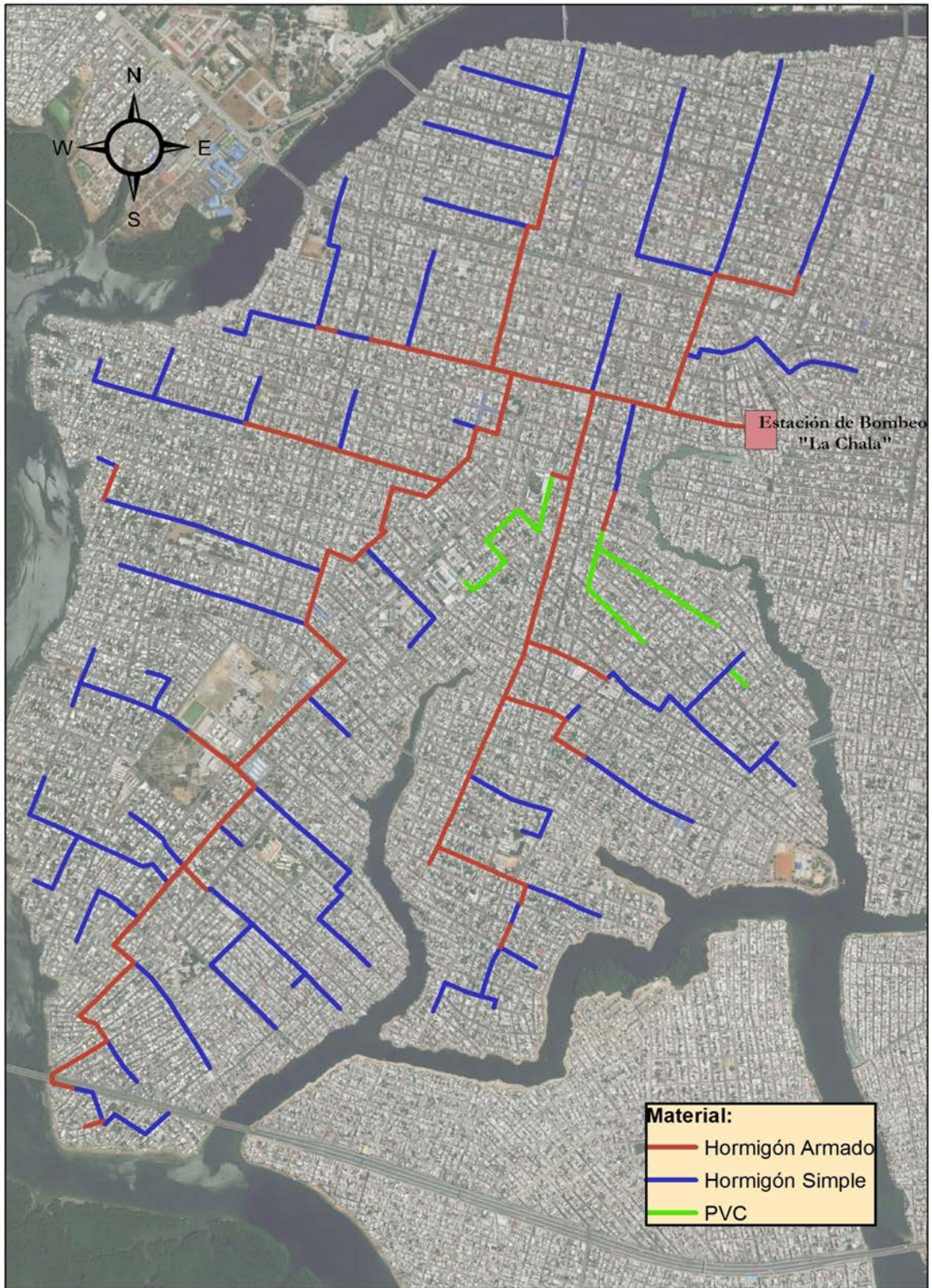


Figura 4.7: Implantación de colectores de la cuenca La Chala clasificados según el material.

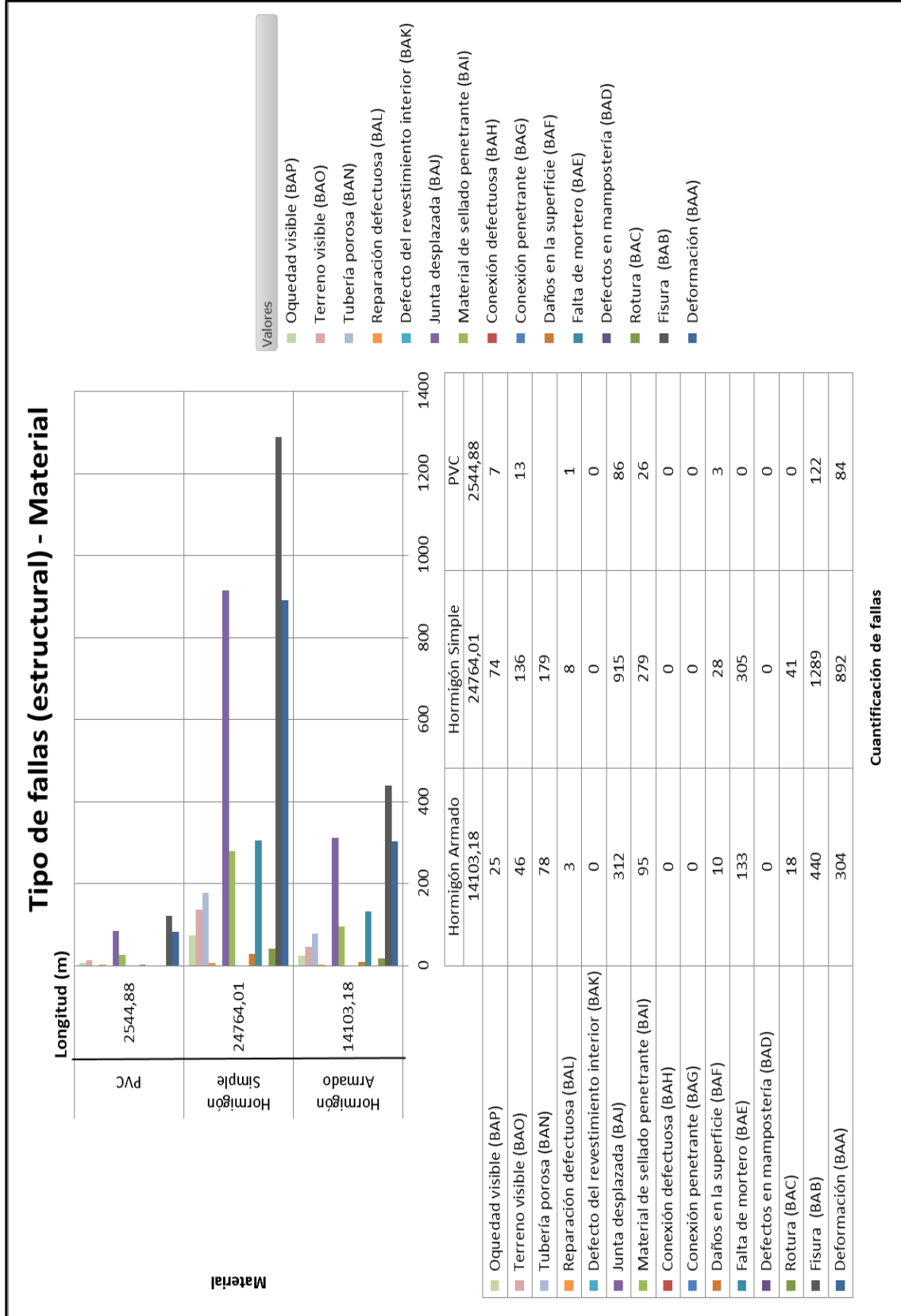
Fuente: (EMAPAG-EP, 2016).

El tipo de material usado tiene relación con el diámetro a emplearse, es decir las tuberías de hormigón armado se van a conformar en su mayoría por diámetros superiores a 400mm que son los que conforman el colector principal del sistema. Uno de los problemas más comunes en este tipo de material es la exposición del acero de refuerzo debido a la corrosión en las paredes del tubo, ocasionando que pierda sus características estructurales para la que fue diseñada. En cambio, las tuberías de material de hormigón simple y PVC son usadas frecuentemente para redes de menor diámetro, debido que son más superficiales y no transportan grandes caudales, en comparación con las redes cercanas a la estación de bombeo. En la siguiente tabla de resumen, se procede a clasificar las longitudes de redes, en relación al diámetro y el tipo de material de la tubería.

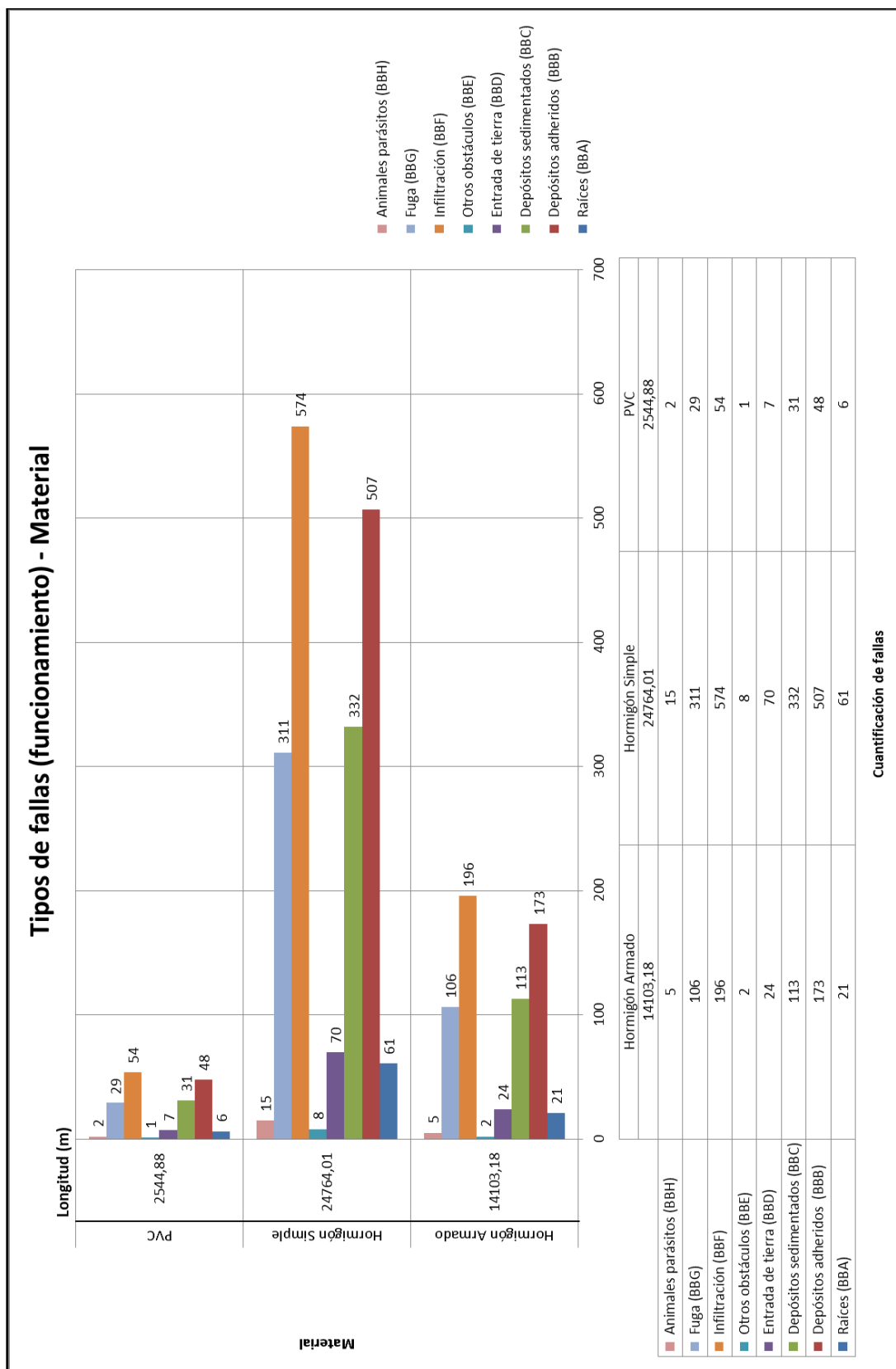
Tabla 4.34: Resumen general de colectores de la cuenca La Chala.

Diámetros	Material			Total general
	Hormigón Armado	Hormigón Simple	PVC	
	(m)	(m)	(m)	
Red de 200mm		9088,05	904,92	9992,97
Red de 225mm			456,98	456,98
Red de 250mm		6710,83	435,15	7145,99
Red de 300mm		3217,44	747,82	3965,26
Red de 350mm		199,98		199,98
Red de 400mm	383,26	5107,94		5491,20
Red de 450mm	287,57	439,77		727,34
Red de 500mm	5741,26			5741,26
Red de 600mm	2460,02			2460,02
Red de 650mm	395,23			395,23
Red de 800mm	2022,59			2022,59
Red de 900mm	341,66			341,66
Red de 1000mm	932,66			932,66
Red de 1200mm	1538,93			1538,93
Total general	14103,18	24764,01	2544,88	41412,07

Cuadro 4.8: Tipos de fallas estructurales clasificadas según el material de los colectores.



Cuadro 4.9: Tipos de fallas operativas clasificadas según el material de los colectores.



Al analizar los datos obtenidos de las inspecciones, se observa que las fallas que predominan son las juntas desplazadas y las fisuras, lo cual es un factor considerable debido que esto genera que se produzcan infiltraciones, como se muestra en la figura 4.8. Cabe agregar que una tubería debe funcionar a un máximo del 85% de su capacidad de llenado para evitar reboses o colapsos del sistema, según la norma respecto al diseño para alcantarillados sanitarios que fue propuesta por la empresa pública de Medellín. Es preocupante observar la cantidad de fallas anteriormente mencionadas en las tuberías con diámetros superiores a 500mm, debido que son las más profundas y están muy por debajo del nivel freático.

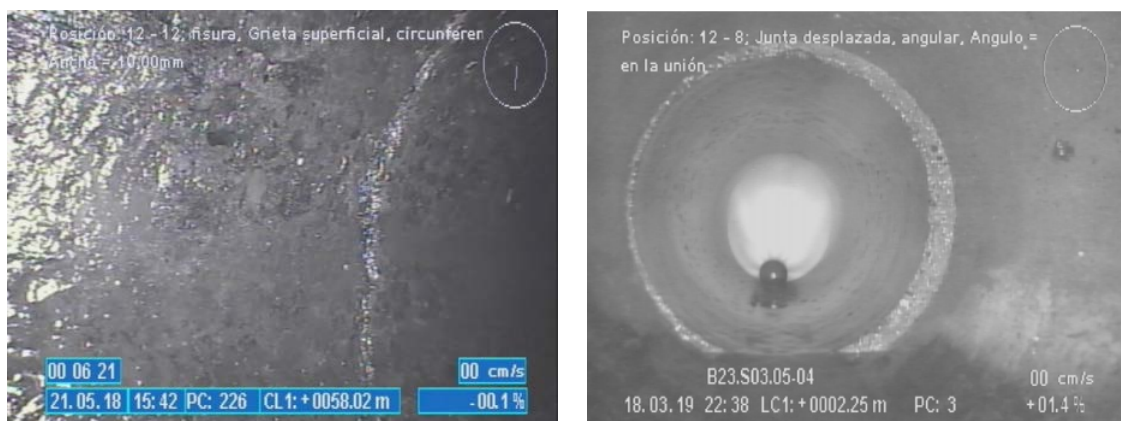


Figura 4.8: Juntas desplazadas y grietas en un colector 400mm

Fuente: (EMAPAG-EP, 2016).

Otro de los problemas que se producen es la caída del mortero y la porosidad de las paredes del tubo debido a la corrosión producida por los gases tóxicos de las aguas residuales. Adicional, al gran caudal que transportan las tuberías de mayor diámetro aceleran la erosión del mortero, dejando desprotegido al acero de refuerzo en las tuberías de hormigón armado. A continuación se muestran imágenes de una tubería

de hormigón simple con diámetro de 300mm, donde los agregados de las paredes del tubo quedaron expuestos debido a los motivos anteriormente mencionados.

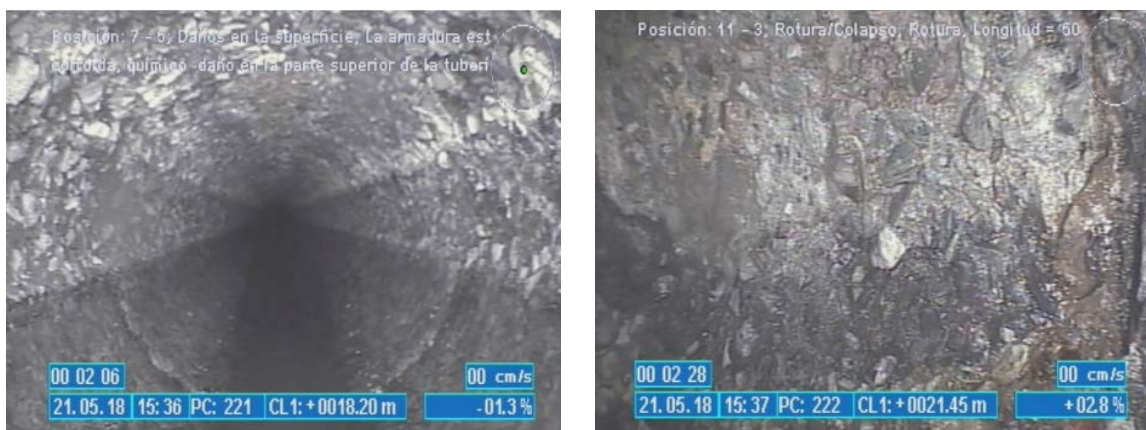


Figura 4.9: Porosidad y falta de mortero en las paredes del tubo.

Fuente: (EMAPAG-EP, 2016).

Otro grupo de fallas que menciona la normativa EN-13508-2, son las que alteran el funcionamiento del sistema, identificados bajo los códigos de letras “BB”. Se dividen en subgrupos, como: las obstrucciones ya sea por raíces, depósitos adheridos y sedimentados, entrada de tierra, infiltraciones, fugas, entre otras.

Como se muestra en la figura 4.10, se procede a explicar las fallas de funcionamiento que se presentan en las tuberías y como se clasifican según la normativa empleada. Citando criterios de la normativa para diseño de alcantarillados propuesta por la EPM, se debe respetar una velocidad mínima de 0,45m/s para evitar que el agua se estanque. Uno de los problemas más graves que predominan en las tuberías de menor diámetro son las obstrucciones, ya sea por raíces, depósitos adheridos o sedimentados, debido que son las que transportan menor caudal, y puede generar pérdida de capacidad al no contar con la velocidad mínima requerida para el diseño de alcantarillado sanitario.

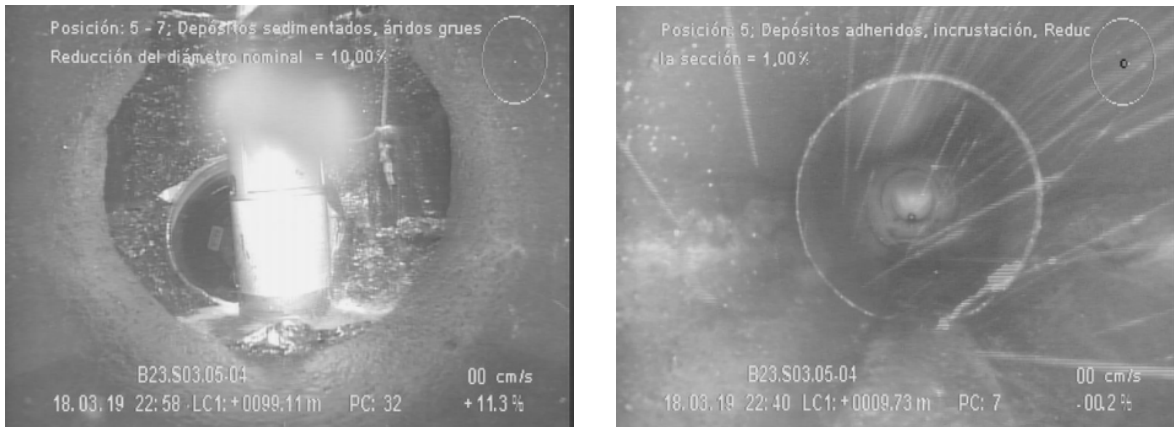


Figura 4.10: Depósitos adheridos o sedimentados en las paredes del colector de 250mm.

Fuente: (EMAPAG-EP, 2016).

Cabe recordar que Guayaquil tiene sistemas de alcantarillado separados, por lo cual las fugas podría afectar contaminando a otras redes, ya sea potable o pluvial. Por otro lado, las infiltraciones adicionan caudales indebidos a las tuberías ocasionando que la estación de bombeo trabaje en condiciones excesivas, como paso en este caso donde se analizó que la E.B. “La Chala” estaba recibiendo un aumento de casi un 25% de caudal por motivo a infiltraciones.

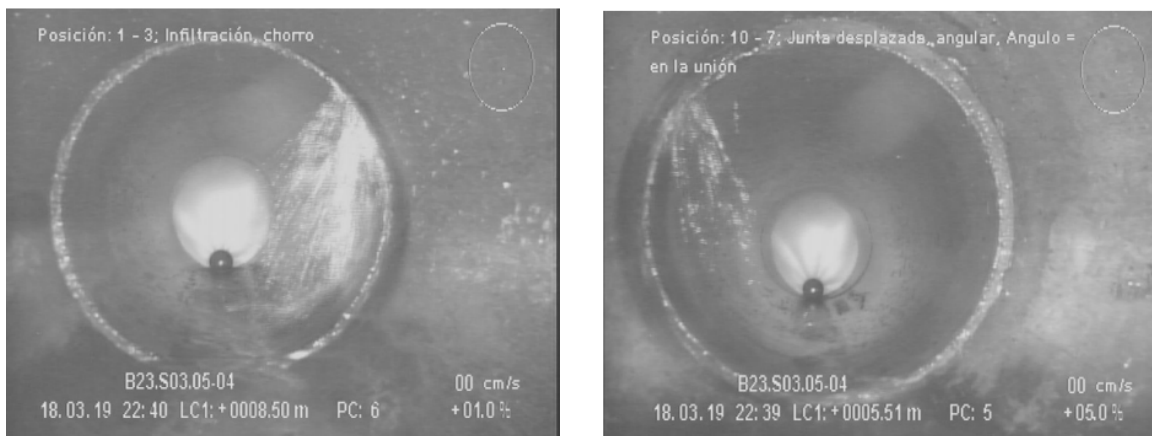


Figura 4.11: Infiltraciones del agua circundante al interior de la tubería.

Fuente: (EMAPAG-EP, 2016).

4.2. Análisis de precios unitarios del proyecto “La Chala”

Para el análisis económico se procedió a realizar el trabajo de campo, que consistió en estar presente durante todas las etapas que componen el plan de rehabilitación de un tramo de tubería del sistema de alcantarillado. El propósito fue documentar todos los procesos correspondientes, ya sea trabajos correctivos y preventivos; y así mismo explicar la función de cada equipo y personal que se utiliza para realizar dicha inspección, y como incide económicamente cada etapa.

Por último, otro punto a enfocarse durante el trabajo de campo fue analizar la importancia requerida respecto al uso del equipo de Circuito Cerrado de Televisión en rehabilitaciones sin zanja, y la metodología empleada para el diagnóstico del estado de la tubería. Cabe destacar que se seleccionó como objeto de estudio un solo tramo de tubería, sin embargo el proceso de inspección televisiva es estándar para otros casos, es decir la implementación del equipo CCTV se empleara por igual sin importar el método correctivo que se use. A continuación se procede explicar detalladamente cada etapa de la inspección.

4.2.1. Descripción de la inspección

La inspección fue realizada al sur de la ciudad de Guayaquil, específicamente en la calle 36B S-O, que se encuentra entre la calle Ismael Pérez Castro y la Avenida 33 S-O como se muestra la figura 8. Este tramo de tubería es correspondiente al plan de rehabilitación del sistema de alcantarillado sanitario de la cuenca la Chala.

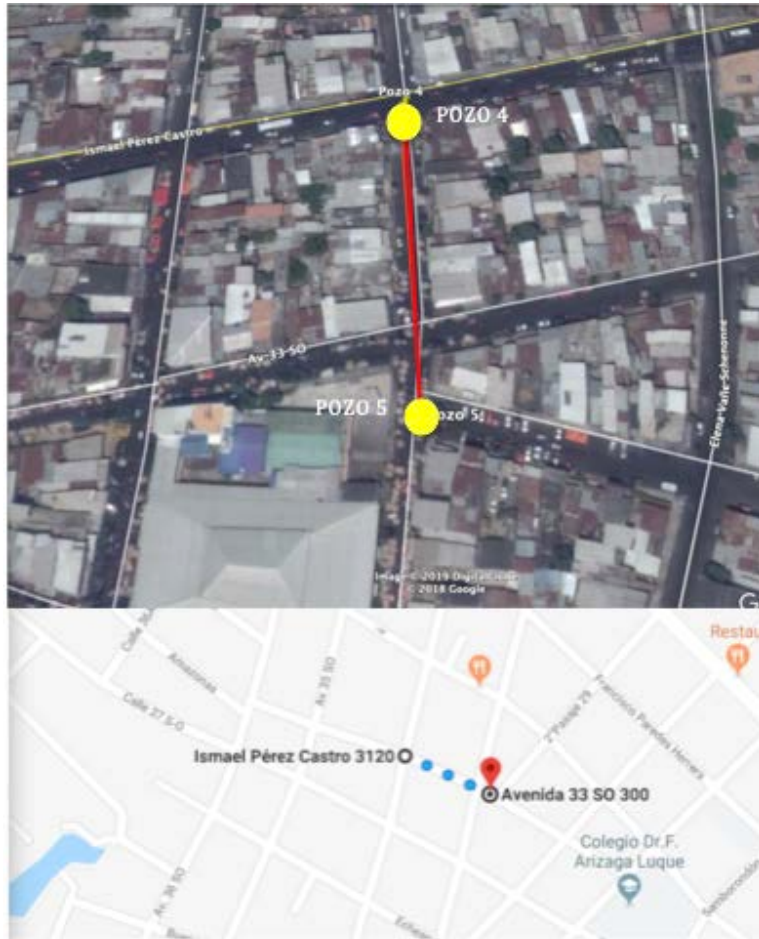
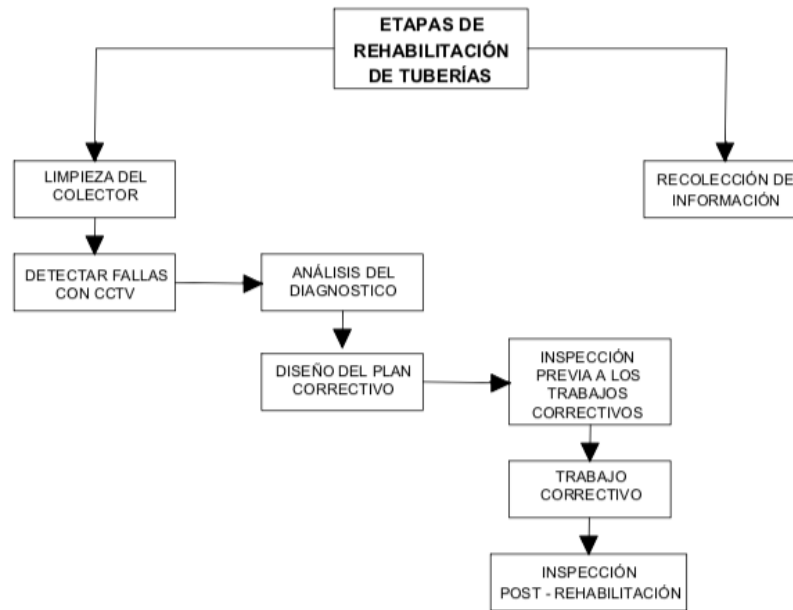


Figura 4.12: Ubicación geográfica de la inspección correspondiente al trabajo de campo.
Fuente: (Google)

4.2.2. Etapas de la rehabilitación del sistema de alcantarillado

Como se mencionó anteriormente, el método utilizado para diagnosticar las tuberías es estándar durante el proyecto de rehabilitación del sistema de alcantarillado de la cuenca La Chala. Cabe destacar, que el trabajo correctivo si es variable dependiendo el estado de la tubería, y el método más óptimo para rehabilitarla. A continuación, se muestra todos los procesos que intervienen en cada etapa correspondiente a la rehabilitación de redes.

Cuadro 4.10: Etapas de rehabilitación de redes de la cuenca La Chala



4.2.2.1. Primera Etapa: Trabajos preliminares

Primeramente, es importante conocer las características técnicas del tramo inspeccionado debido que resultan de gran importancia para determinar que método correctivo es el más óptimo para usar, el cual corresponden a la etapa de trabajos preliminares. Dentro de las especificaciones de la tubería, se pudo conocer que tiene una longitud de 103,50m y tiene forma circular con un diámetro de 500mm. Además, es de material de hormigón armado y no cuenta con revestimiento interno de ningún tipo. Al ser una tubería perteneciente a un sistema de alcantarillado sanitario transporta el agua a gravedad, quedando las paredes internas del tubo expuestas al paso de fluidos residuales domésticos. Antes de ser rehabilitada, la tubería contaba con 35 años de servicio aproximadamente, y se decidió realizar la inspección por prevención al aumento de caudal debido a aportes de agua por infiltración.

Esta etapa corresponde a todo aquello que servirá para poder realizar la inspección correctamente, ya sea la elaboración de planos as built, levantamientos topográficos y manejos de aguas para impedir el ingreso de fluidos mientras se realiza la inspección. A continuación, se procede a mostrar los precios unitarios de algunos rubros correspondientes a esta etapa, que fueron obtenidos mediante ayuda de la entidad reguladora del manejo del agua de la ciudad de Guayaquil.

Tabla 4.35: Costos de trabajos preliminares previo a rehabilitación de redes de la cuenca La Chala.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Trabajos Preliminares	
Item	Descripción	Unidad	P. Unitario
1	ELABORACION DE PLANOS AS BUILT	U.	241,45
2	PLANOS DE ESQUINEROS PARA AA.SS. O AALL.(INCLUYE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y DIBUJO)	U.	13,96
3	TOPOGRAFÍA DE PRECISIÓN	m	1,7
4	INSTALACIÓN DE BM DE PRIMER ORDEN	U.	1502,02
5	MANEJO DE AGUAS PARA TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO HASTA DN 400 MM.	m	7.67
6	MANEJO DE AGUAS PARA TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO DN> 400 MM HASTA DN 600 MM.	m	35.92
7	MANEJO DE AGUAS PARA TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO DN> 600 MM HASTA DN 800 MM.	m	42.94
8	MANEJO DE AGUAS PARA TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO DN> 800 MM HASTA DN 1200 MM.		49.34
9	MANEJO DE AGUAS PARA TUBERÍAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO DN>1200 MM.	m	64.09

Con respecto al entorno de la tubería, corresponde a un suelo fangoso debido a un alto nivel freático encontrado a 1m aproximadamente de la superficie, causado por su cercanía al estero Salado. En la parte superior, se encuentra la calle 36B S-O que es de

material asfáltico, y no contiene exceso de carga por tráfico debido que es una calle secundaria con dos carriles, siendo uno para cada sentido.

Otro tipo de características son las profundidades que se encuentran los pozos, tanto el punto de partida como el de llegada, debido que eso dependerá en la dirección en la que se realizara la inspección. Normalmente, se considera tomar como punto de partida a la cota más alta, debido que se requiere maniobrar el equipo en el mismo sentido del flujo de agua.

Aunque existan breves casos donde por obstrucciones u otras fallas, se realiza las inspecciones en el sentido contrario a la dirección del flujo, siempre es importante que el lente de la cámara nunca quede por debajo del remanente de agua que queda después de taponear todos los accesos que aportan caudal a la tubería a inspeccionar. En la inspección realizada se define a cada pozo por numeración, el cual el pozo localizado en la Avenida 33 S-O A, es denominado el 5, siendo el punto más alto del tramo inspeccionado. El otro pozo está ubicado en la calle Ismael Pérez Castro, el cual es el punto de llegada. A continuación se procede a detallar los datos referentes a las cotas invert de los pozos 4 y 5.

Tabla 4.36: Levantamiento topográfico de cotas invert de pozos de inspección.

Punto	V. Atras	V. Intermedio	V. Adelante	H+I	Cota
BM	1.554			4.644	3.090
4		6.444			-1.8
5		6.318			-1.674

Por último, antes de realizar la inspección es importante conocer el caudal y las velocidades del agua que se transporta por dicho tramo. Para conocer esos datos fue necesario el uso de un caudalímetro, el cual en esta ocasión la toma de muestra se la

realizo en marea alta. A partir de los resultados del caudalímetro, se conoció que la tubería transporta un caudal de agua de 51.25 L/min y tiene una velocidad máxima de 0.621 ft/seg y una velocidad media de 0.459 ft/seg. A continuación, se procede a detallar todas las características de la tubería a inspeccionar, en una tabla de resumen.

Tabla 4.37: Recolección de información del tramo inspeccionado correspondiente a la cuenca La Chala.

Localización "nombre de la calle" (AAM):	Ciudad o Población (AAN):	Distrito(AAO):	Tipo de Localización (AAL)	
Calle 36B - SO	Guayaquil	La Chala	Carril/Tráfico fluido	
Uso de alcantarillado (ACK):	Tipo de alcantarillado (ACJ):	Dirección de caudal (AAK):	Altura (ACB):	Anchura (ACC):
Agua residual doméstico	Gravedad	Aguas abajo	500mm	500mm
Objeto de la inspección (ABP):	Limpieza (ACM):	Material de revestimiento interior (ACF):	Material (ACD):	Forma (ACA):
Rehabilitación de tubería	Se limpio antes de la inspección	No tiene	Hormigón Simple	Circular
Medidas para controlar el caudal (ADC):	Medidas para controlar el caudal (ADA):	Temperatura (ADB):	Longitud del tramo de tubería (ACG):	Año de entrada en servicio (ACN)
El caudal ha sido bloqueado parcialmente aguas arriba	No existe precipitación	Arriba de la congelación - 23º	103,50m	Hace 35 años aprox.

4.2.2.2. Segunda Etapa: Limpieza de colectores

La segunda etapa consiste en realizar la limpieza en el interior de la tubería, que se lleva a cabo en un rango de 72 a 90 horas antes de realizar los trabajos correctivos. La importancia de esta etapa consiste en que es necesario que el equipo de inspección como el CCTV, pueda moverse con facilidad por el interior de la tubería, grabando y tomando imágenes de alta calidad, por lo tanto, el colector tiene que estar libre de obstrucciones, tanto de raíces, sedimentos y rocas.

El equipo usado para realizar la limpieza a tuberías es el hidrocleaner, que consiste en un camión combinado con un sistema de agua a presión, el cual introduce una manguera al interior del colector a través de un pozo, y va expulsando agua con el fin de expulsar todo tipo de obstrucción, como se muestra en la figura 4.13.

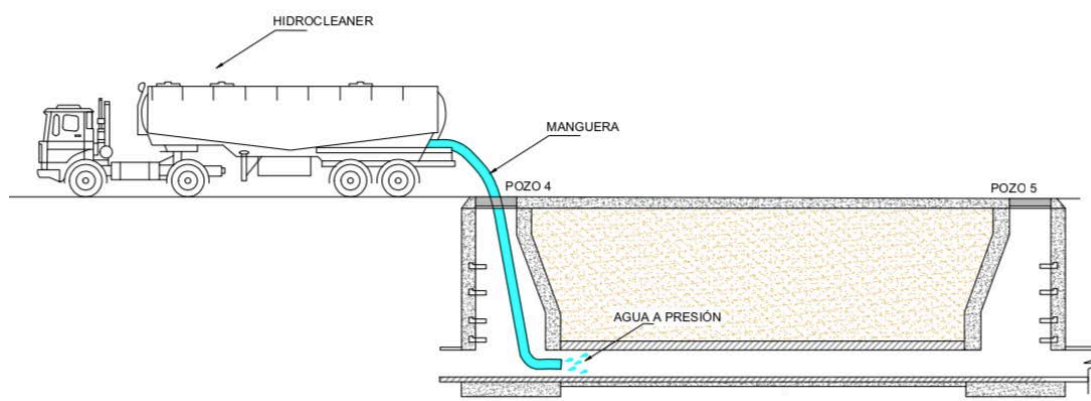


Figura 4.13: Limpieza de redes de alcantarillado sanitario con el uso de hidrojet.

Los trabajos de la limpieza comenzaron el día 15 de Marzo, el cual previamente fue necesario taponear los tirantes y las tuberías adyacentes con el fin de que no ingrese agua a la tubería, sin embargo en esta ocasión debido al gran caudal que transporta el colector, también se utilizó bypass. Dentro de las obstrucciones se encontraron: material sedimentado, piedras y lodo. Cabe destacar que los precios que corresponden a tuberías van a variar dependiendo el diámetro del colector que se vaya a realizar los trabajos, como se muestra en la siguiente tabla.

Para colectores con diámetros superiores a 750mm, se implementó también la necesidad de buzos profesionales para realizar la limpieza en caso donde no aplique el uso del hidrocleaner, por lo cual el costo sería mayor.

Tabla 4.38: Costos de limpieza de redes de alcantarillado de la cuenca La Chala.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Trabajos de Limpieza	
Item	Descripción	Unidad	P. Unitario
1	LIMPIEZA HIDROJET RAMALES Y TIRANTES	m	3,46
2	LIMPIEZA HIDROJET COLECTORES DN 160 MM HASTA 315 MM	m	8,04
3	LIMPIEZA HIDROJET COLECTORES DN > 315 MM HASTA 750 MM	m	13,09
4	LIMPIEZA HIDROJET COLECTORES DN > 750 MM	m	14,74
5	LIMPIEZA DE COLECTORES DE ALCANTARILLADO DN>750 MM. CON BUZOS PROFESIONALES	m	35,51

Una vez usado el hidrocleaner asegurando limpiar la tubería de todas las obstrucciones, se procede a inspeccionar el interior con el equipo de CCTV para conocer el estado en el que se encuentra, correspondiendo a la siguiente etapa.

4.2.2.3. Tercera Etapa: Detectar fallas con equipo CCTV

Después de realizar la limpieza, es posible inspeccionar la tubería con el uso del equipo de Circuito Cerrado de Televisión. Para este proyecto, la empresa contratista Pfeiffer maneja la tecnología CCTV de la marca IBAK, específicamente el modelo ARGUS que cuenta con una cámara robótica capaz de rotar 360° para detectar fallas en cualquier lugar de la tubería.



Figura 4.14: Equipo CCTV marca IBAK usado para inspecciones en cuenca La Chala

Fuente: (IBAK, 2018)

Como se observa en la figura 4.15, el primer paso, es reconocer el pozo con la cota más alta, debido que es conveniente realizar la inspección en el sentido del flujo de agua, siendo en esta ocasión el pozo 5 donde se introducirá el equipo. La inspección se realizó el mismo día que se hizo la limpieza, siendo necesario taponear los otros accesos que descargan agua al tramo a inspeccionar. Teniendo en cuenta todas las medidas previas, se procede a intervenir el colector con el equipo CCTV, el cual mediante el lente de la cámara se debe observar todas las paredes internas de la tubería, en especial en las juntas, que son las más expuestas al desprendimiento del material sellante ocasionando pérdida de hermeticidad en la tubería.

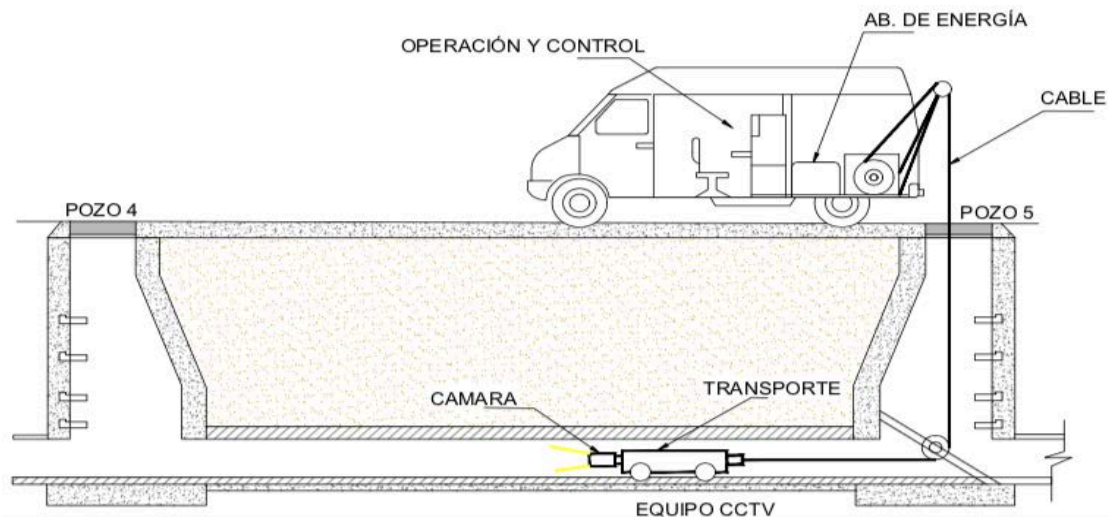


Figura 4.15: Inspección de redes de alcantarillado sanitario con equipo CCTV móvil.

El equipo es manejado por un operador a través del puesto de operación y control, por donde también son transmitidos las imágenes y los videos. En la inspección realizada para el trabajo de la presente tesis, se observó que el operador era especializado en Ingeniería en Telecomunicaciones, y cumplía la función de direccionar el equipo y la cámara, que trabajaba en conjunto a un Ingeniero Civil,

siendo el responsable de ir detectando las fallas y registrarlas en una plantilla, donde se detalla la abscisa donde se la encontró, y así mismo la posición dentro de la circunferencia del tubo, debido que las fallas localizadas en el invert de la tubería son más críticas, ya que es por donde circula el agua.

Los costos de las inspecciones con CCTV también van a ser diferentes dependiendo el tipo de diámetro de tubería que se vaya a realizar la inspección. Cabe mencionar, que a partir de diámetros superiores a 800mm se procede a inspeccionar mediante el ingreso de personal, el cual va registrando todo tipo de fallas a través de imágenes y videos.

Tabla 4.39: Costo de inspección de colectores con equipo CCTV.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Inspección con CCTV	
Item	Descripción	Unidad	P. Unitario
1	INSPECCION CCTV DE COLECTORES DESDE 200MM HASTA 400MM INCLUYE INSPECCION CCTV DE RAMALES DOMICILIARIOS, TIRANTES Y CRUCES INCLUYE DOCUMENTACION	m	2,74
2	INSPECCION CCTV DE COLECTORES DESDE 200MM HASTA 400MM INCLUYE DOCUMENTACION	m	4,05
3	INSPECCION CCTV DE COLECTORES DESDE 450 MM HASTA 750 MM INCLUYE DOCUMENTACION	m	5,97

Los datos que son recolectados en campo sirven para ser analizadas según la norma utilizada, y dar un diagnostico al estado de la tubería inspeccionada, siendo esa la siguiente etapa.

4.2.2.4. Cuarta Etapa: Diagnóstico de redes de alcantarillado

Una vez realizado la inspección, se pudo conocer las fallas que existían en el interior de la tubería clasificándolos según el tipo, ya sea operacional o estructural. Como se mencionó anteriormente, para diagnosticar el estado de la tubería es importante el uso de normas, que en este caso para el proyecto de rehabilitación de las redes de la cuenca La Chala se implementa la norma europea EN 13508.

Como se explicó previamente, es necesario considerar la posición de la falla respecto a la circunferencia del tubo, por lo tanto esta norma EN 13508 de origen español ubica la falla según el sentido horario. En la figura 4,16, se observa algunos ejemplos que explican cómo se debe registrar una falla dependiendo de la ubicación en el perímetro del tubo. Si la falla se registra en el invert del tubo se debería registrar que comienza a las 3 y termina a las 9, siendo viceversa si se registra en la parte de la corona.

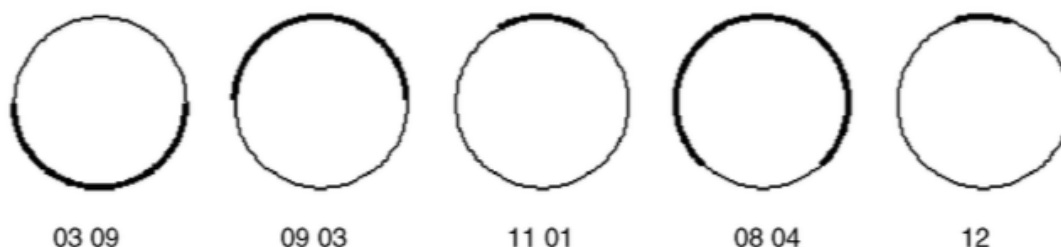


Figura 4.16: Registro de fallas dependiendo de su ubicación en la circunferencia del tubo.

Fuente: (UNE-EN13508-2, 2003)

En el trabajo de campo, entre las fallas encontradas en el tramo de tubería inspeccionado se pudo observar que aunque el cuerpo del tubo se hallaba aparentemente en buen estado, es decir las paredes internas no tenían corrosión considerable o fracturas, se notó la presencia de infiltraciones a causa del

desprendimiento de las juntas de neopreno ocasionando que entrara agua a la tubería, debido que el nivel freático alrededor estaba a 1m de la superficie, por encima del nivel del tubo.

Otras observaciones que se detalló en la inspección, es que existió una desviación considerable entre una tubería y otra, lo cual resulta importante para determinar que método correctivo es el más óptimo para rehabilitar la tubería. A continuación en la tabla 4.40, se procede a mostrar la plantilla donde se detalla las fallas encontradas y su localización a lo largo del tramo de tubería de longitud alrededor de 103,50m.

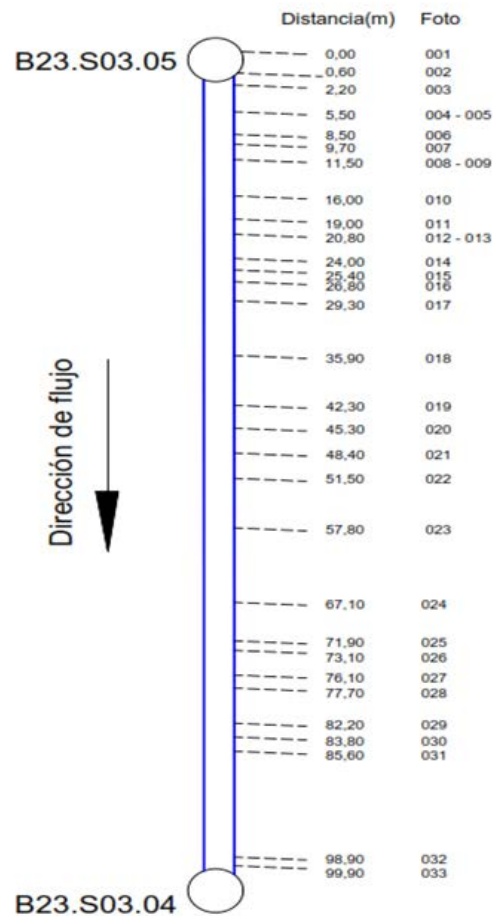


Figura 4.17: Registro gráfico de las fallas detectadas en el tramo inspeccionado.

Fuente: (Ludwing Pfeiffer, 2019)

Tabla 4.40: Plantilla de registro de fallas según normativa europea EN 13508.

Fuente: (UNE-EN13508-2, 2003)

Foto	Video	Dist/m	Condición	V	Descripción
001	00:00:05	0,00	BCD.XP		Tipo de nudo de comienzo. Corriendo de tubería, DIAMETRO 1.50 TIRANTES 2
002	00:00:13	0,60	BAJ.C	A	Posición: 3 - 9; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
003	00:00:27	2,20	BAJ.C	A	Posición: 12 - 8; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
004	00:48:00	5,50	BAJ.C	A	Posición: 10 - 7; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
005	00:00:52	5,50	BBF.C		Posición: 11; Infiltración, flujo
006	00:01:11	8,50	BBF.D		Posición: 1 - 3; Infiltración, chorro
007	00:01:36	9,70	BBB.A		Posición: 5; Depósitos adheridos, incrustación, reducción de la sección = 1%
008	00:02:09	11,50	BAI.A.B	A	Posición: 10 - 1 ; Material de sellado penetrante, anillo de estanquidad, se introduce pero no está roto - el punto más bajo por encima del eje horizontal, en la unión.
009	00:02:13	11,50	BBF.B		Posición: 10; infiltración, goteo
010	00:02:32	16,00	BAJ.C	A	Posición: 12 - 7; Junta desplazada, angular, Angulo= 15° en la unión
011	00:03:00	19,00	BAJ.C	A	Posición: 4 - 11; Junta desplazada, angular, Angulo= 20° en la unión
012	00:03:15	20,80	BAI.A.D	A	Posición: 3 - 6; Material de sellado penetrante, anillo de estanquidad, se introduce y esta roto, en la unión
013	00:03:20	20,80	BAJ.C	A	Posición: 11 - 7; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
014	00:03:40	24,00	BAI.A.D	A	Posición: 3 - 9; Material de sellado penetrante, anillo de estanquidad, se introduce y esta roto, en la unión
015	00:03:49	25,40	BAJ.C	A	Posición: 2 - 9; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
016	00:04:01	26,80	BAJ.C	A	Posición: 9 - 5; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
017	00:04:25	29,30	BBB.A		Posición: 4; Depósitos adheridos, incrustación, Reducción de la sección=1%
018	00:05:39	35,90	BAJ.C	A	Posición: 4 - 9; Junta desplazada, angular, Angulo = 10°, en la unión
019	00:06:21	42,30	BAJ.C	A	Posición: 1 - 9; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
020	00:06:44	45,30	BAJ.C	A	Posición: 2 - 8; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
021	00:07:03	48,40	BAJ.C	A	Posición: 2 - 8; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
022	00:07:19	51,50	BAJ.C	A	Posición: 12 - 7; Junta desplazada, angular, Angulo = 10°, en la unión
023	00:08:30	57,80	BAJ.C	A	Posición: 3 - 8; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
024	00:09:24	67,10	BAJ.C	A	Posición: 1 - 9; Junta desplazada, angular, Angulo = 10°, en la unión
025	00:09:58	71,90	BAJ.C	A	Posición: 2 - 7; Junta desplazada, angular, Angulo = 10°, en la unión
026	00:10:12	73,10	BBF.D		Posición: 9 - 2; Infiltración, chorro
027	00:10:47	76,10	BAJ.C	A	Posición: 2 - 8; Junta desplazada, angular, Angulo = 10°, en la unión
028	01:10:56	77,70	BAI.A.D	A	Posición: 2 - 11; Material de sellado penetrante, anillo de estanquidad, se introduce y esta roto, en la unión
029	00:11:17	82,20	BAJ.C	A	Posición: 2 - 8; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
030	00:11:28	83,80	BAJ.C	A	Posición: 4 - 10; Junta desplazada, angular, Angulo = 15°, en la unión
031	00:11:39	85,60	BAI.A.D	A	Posición: 3 - 8; Material de sellado penetrante, anillo de estanquidad, se introduce y esta roto, en la unión
032	00:13:08	98,90	BBC.B		Posición: 5 - 7; Depósitos sedimentados, áridos gruesos, Reducción del diámetro nominal= 10%
033	00:13:24	99,90	BCE.XP		Nudo de final, fin de tubería, DIAMETRO 1.20 TIRANTES 2

Para el plan de rehabilitación de las redes de la cuenca La Chala, se pudo conocer que el personal encargado de diagnosticar el estado de cada tramo de tubería, era Ingeniero Civil con experiencia de más de 20 años en trabajos de mantenimiento de redes de alcantarillado en Colombia.

Después de realizar el análisis a las fallas encontradas se procede a concluir que aunque el tubo existente de hormigón armado contiene las paredes internas en condiciones aceptables, se observa una desalineación considerable entre las juntas del tubo como se muestra en la figura 20, lo cual se prevé que a futuro podría desencadenar en un colapso del colector pudiendo ocasionar problemas graves como contaminación del suelo o hundimiento de la calle.

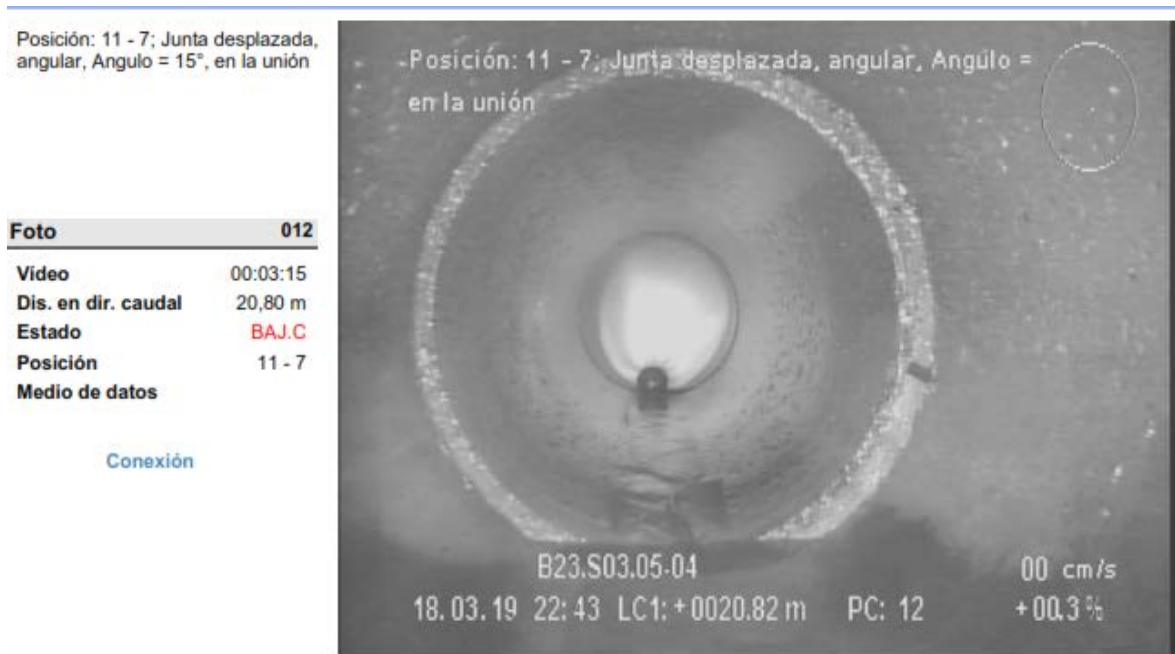


Figura 4.18: Registro fotográfico de una junta desplazada en el tramo inspeccionado.

Fuente: (Ludwing Pfeiffer, 2019)



Figura 4.19: Registro fotográfico de material de sellado penetrante en el tramo inspeccionado.

Fuente: (Ludwing Pfeiffer, 2019)

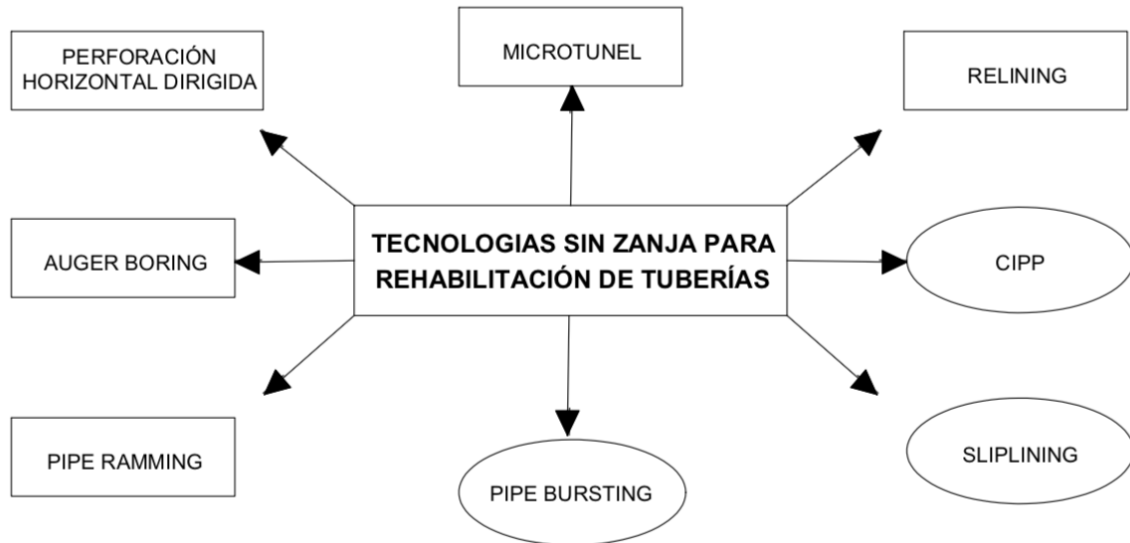
Por lo tanto, una vez identificado que el tramo existente no brinda soporte estructural y no puede ser reutilizado se contempla usar alguna tecnología correctiva para renovar el ramal inspeccionado, siendo esa la siguiente etapa del plan de rehabilitación de redes.

4.2.2.5. Quinta Etapa: Diseño del método correctivo

Después de conocer los tipos de fallas y clasificarlas según la normativa española EN-13508-2, es importante determinar que método correctivo se va emplear. Para el proyecto de la Cuenca La Chala se consideró aplicar tecnología de rehabilitación sin zanja, siendo uno de los pioneros en Ecuador. El diseño del plan correctivo surge una vez conocido las condiciones de las tuberías existentes, siendo necesario evaluar que método es el más óptimo, ya sea para rehabilitarlo o renovarlo, a partir de resultados ofrecidos del diagnóstico. Actualmente a nivel mundial, existen varias tecnologías que

se caracterizan por realizar la rehabilitación sin zanja optimizando tiempo y recursos, como se muestra en cuadro 4.6.

Cuadro 4.11: Tecnologías para instalación de tuberías sin necesidad de zanja.



Dentro de las tecnologías existentes, es importante especificar que se las puede clasificar según su aplicación, que son:

- Cuando necesitan del soporte estructural y el espacio interior del tubo antiguo para poder instalar una tubería nueva, como el CIPP, el Relining y el Sliplining.
- Cuando para su aplicación, necesitan el espacio que deja la tubería antigua sin importar que estructuralmente presente fallas considerables, como colapsos. Un ejemplo es el Pipe bursting.
- Cuando se las puede aplicar sin importar que no exista tubería que sirva como soporte o espacio para introducir el equipo, debido que trabajan considerando las presiones ejercidas por el agua y el suelo circundante.

Entre las conocidas están: el Auger Boring, el Microtunel, el Pipe Ramming y la Perforación Horizontal Dirigida (PHD).

Para el proyecto de la cuenca La Chala, se está disponiendo de 3 métodos de mantenimiento correctivo, como: el CIPP, el Pipe Bursting y el Sliplining. Pues bien, dentro de su aplicación consiste en conocer cuando es más recomendable usar cada tecnología, como se explica a continuación.

4.2.2.5.1. Sliplining

Existen equipos como el CIPP y el Sliplining que para su instalación, es necesario que la tubería a rehabilitar no presente colapsos y grandes deformaciones en el diámetro interior, debido que estas tecnologías construyen una nueva tubería a lo largo del interior de la canalización vieja, utilizándola como un caparazón que brinde soporte estructural para poder introducir el equipo. Para el proyecto de rehabilitación de redes de la cuenca La Chala se tiene como criterio que para su aplicación la tubería debe mantener el diámetro interno hasta un 90%. Si existe una disminución al diámetro en una proporción mayor al 10% tomando como referencia el diámetro de la tubería existente, se descarta la utilización de estos métodos, y se procede a utilizar el Pipe Bursting.

Aunque en concepto, los criterios para aplicar el CIPP y el Sliplining son los mismos, tienen ciertas diferencias. El método de Sliplining necesita de un cabezal en la parte frontal que trabaja a tracción y va impulsado la tubería nueva desde el punto inicial que debe ser en la cota más alta, hasta el punto con la cota más baja. Por tal motivo, es importante que la canalización vieja sirva como soporte para que pueda instalarse el

tramo nuevo, sin embargo este último será de menor diámetro. Esta reducción de diámetros no generaría problemas al funcionamiento hidráulico del sistema, debido que la diferencia es despreciable, y además el material usado en este método es el Polietileno de Alta Densidad (PEAD), teniendo menor factor de fricción en las superficies de las paredes interiores del tubo, en comparación de otros materiales como el hormigón.

En la tabla 23, se muestra los precios unitarios de la rehabilitación mediante SlipLining. Cabe especificar, que para el presente proyecto se utiliza el Sliplining específicamente para rehabilitación de tirantes, considerando las características de estas tuberías, en particular por su corta longitud y la rapidez de la instalación de este método.

Tabla 4.41: Costo de rehabilitación de tirantes con tecnología SlipLining.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Rehabilitación de tuberías con Slip Lining (Tirantes)		
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario
1	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 160 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA SLIPLINING	m.	7336,47	\$ 92,40
2	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 175 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA SLIPLINING	m.	46,65	\$ 97,71
3	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 200 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA SLIPLINING	m.	7555,57	\$ 103,07
4	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 250 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA SLIPLINING	m.	412,91	\$ 113,59
5	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 300 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA SLIPLINING	m.	85,39	\$ 124,44

4.2.2.5.2. Pipe Bursting

En cambio, existen otras tecnologías como el Pipe Bursting que van rompiendo o cortando la tubería antigua, y a la vez va instalando otra nueva de material comúnmente de polietileno. Se utilizan cuando se presentan colapsos o disminuciones considerables del diámetro interior del tubo viejo, debido que ya no es posible usar otro tipo de tecnologías como el CIPP y Sliplining. Si bien, aunque para su aplicación no necesitan del soporte estructural del tubo viejo, es importante mencionar que para que esta tecnología trabaje requiere del espacio que queda de la tubería antigua, como se observa en la figura 4.20.



Figura 4.20: Aplicación del método de Pipe Bursting.

Fuente: (EMAPAG, 2015)

El método de rehabilitación mediante Pipe Bursting, usa un cabezal que contiene una cuchilla que va cortando lo que se presente en el camino, en caso de existir un tramo colapsado. Además cuenta con un accesorio expansor que va realizando la rotura de la tubería antigua, y dando paso a la nueva. Este método es usado para rehabilitación de tuberías de diámetros de 80mm hasta 1000mm, y la introducción del equipo se la realiza por el pozo con la cota más alta. Debido que va rompiendo el tramo antiguo, con este método se puede instalar tuberías del mismo diámetro, y es capaz de romper materiales como el hormigón, acero y PVC.

De lo que se pudo constatar en el presente trabajo de campo, es que esta tecnología presenta problemas al momento de rehabilitar una tubería de hormigón armado, debido que las varillas de acero se enredan con el cabezal, produciendo dificultades y atrasos en el proceso. Por tal motivo, para tuberías que superan los 400mm que normalmente son de material de Hormigón Armado, resulta beneficioso usar el método tradicional de excavación a cielo abierto para reparar fallas puntuales. A continuación se procede a mostrar los costos de rehabilitación mediante la tecnología de Pipe Bursting para colectores, tirantes y ramales.

Tabla 4.42: Costo de rehabilitación de colectores con tecnología Pipe Bursting.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Rehabilitación de tuberías con Pipe Bursting (Colectores)			
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	TUBERÍA DE PEAD DE D= 160 MM.	m.	148,74	\$ 260,04	\$ 38.678,35
2	TUBERÍA DE PEAD DE D= 200 MM.	m.	369,63	\$ 283,62	\$ 104.834,46
3	TUBERÍA DE PEAD DE D= 250 MM.	m.	507,62	\$ 307,89	\$ 156.291,12
4	TUBERÍA DE PEAD DE D= 300 MM.	m.	104,13	\$ 352,83	\$ 36.740,19
5	TUBERÍA DE PEAD DE D= 350 MM.	m.	12,01	\$ 384,31	\$ 4.615,56
6	TUBERÍA DE PEAD DE D= 375 MM.	m.	8,59	\$ 424,42	\$ 3.645,77

Tabla 4.43: Costo de rehabilitación de tirantes con tecnología Pipe Bursting.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Rehabilitación de tuberías con Pipe Bursting (Tirantes)			
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	TUBERÍA DE PEAD DE D= 160 MM.	m.	1834,37	\$ 260,04	\$ 477.009,57
2	TUBERÍA DE PEAD DE D= 175 MM.	m.	11,91	\$ 265,96	\$ 3.167,58
3	TUBERÍA DE PEAD DE D= 200 MM.	m.	1889,14	\$ 283,62	\$ 535.797,89
4	TUBERÍA DE PEAD DE D= 250 MM.	m.	103,48	\$ 307,89	\$ 31.860,46
5	TUBERÍA DE PEAD DE D= 300 MM.	m.	21,6	\$ 352,83	\$ 7.621,13

Tabla 4.44: Costo de rehabilitación de ramales con tecnología Pipe Bursting.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Rehabilitación de tuberías con Pipe Bursting (Ramales)			
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	TUBERÍA DE PEAD DE D= 160 MM.	m.	2380,64	\$ 260,04	\$ 619.061,63
2	TUBERÍA DE PEAD DE D= 175 MM.	m.	15,88	\$ 265,96	\$ 4.223,44
3	TUBERÍA DE PEAD DE D= 200 MM.	m.	31,05	\$ 283,62	\$ 8.806,40

4.2.2.5.3. Rehabilitación a cielo abierto

En ocasiones para el presente proyecto de rehabilitación de redes de la cuenca la Chala, ha sido necesario utilizar el método tradicional que consiste en excavar una zanja para poder reparar la falla de manera puntual. A continuación se procede a explicar un ejemplo que ocurrió durante el proyecto de la cuenca La Chala, donde una tubería de hormigón armado con una longitud de 91,70m presento colapso en un tramo. Con el equipo de CCTV se determinó a que distancia del pozo 10 se encontraba, por lo cual se procedió a abrir una zanja de 4,46m aproximadamente para reparar la falla. Posteriormente después de habilitar el tramo colapsado, se procedió a aplicar alguno de los equipos que se tiene a disposición para este proyecto, ya sea CIPP o Sliplining.

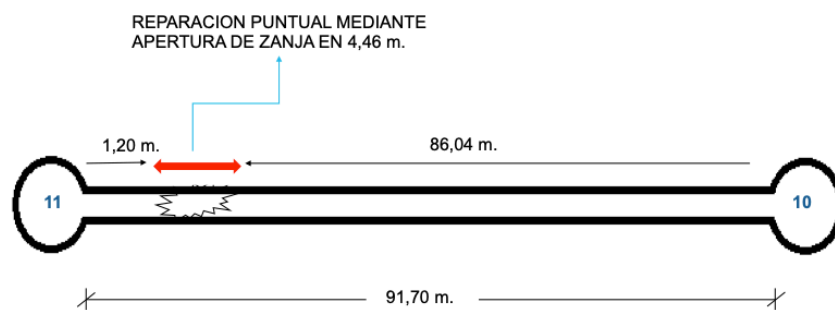


Figura 4.21: Reparación puntual de un colector mediante el método tradicional con zanja.

Fuente: (Nippon Koei Lac, 2017)

A continuación se procede a mostrar los costos referentes a la rehabilitación de redes mediante el método tradicional con zanja, el cual va variar dependiendo el diámetro y el tipo de material de la tubería nueva. Las tuberías de PVC son más económicas que las tuberías de hormigón armado, sin embargo su uso se implementó hasta diámetros de 900mm, como se muestra a continuación. Cabe agregar, que a los precios mencionados a continuación se deben adicionar rubros de excavación, relleno, replanteo, y otros.

Tabla 4.45: Costo de rehabilitación de tuberías PVC con apertura con zanja.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Rehabilitación de tuberías con zanja - PVC			
1	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 160MM.	m.	1668,73	\$ 107,46	\$ 179.321,73
2	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 175MM.	m.	10,92	\$ 108,01	\$ 1.179,47
3	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 200MM.	m.	863,37	\$ 11,84	\$ 10.222,30
4	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 250MM.	m.	505,13	\$ 112,58	\$ 56.867,54
5	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 300MM.	m.	248,86	\$ 118,25	\$ 29.427,70
6	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 350MM.	m.	12,01	\$ 232,11	\$ 2.787,64
7	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 375MM.	m.	8,59	\$ 232,11	\$ 1.993,82
8	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 400MM.	m.	298,95	\$ 232,11	\$ 69.389,28
9	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 450MM.	m.	38,05	\$ 250,46	\$ 9.530,00
10	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 500MM.	m.	122,94	\$ 250,46	\$ 30.791,55
11	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 550MM.	m.	5,96	\$ 276,00	\$ 1.644,96
12	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 600MM.	m.	50,01	\$ 276,00	\$ 13.802,76
13	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 675MM.	m.	2,51	\$ 399,48	\$ 1.002,69
14	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 750MM.	m.	20,93	\$ 399,48	\$ 8.361,12
15	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 800MM.	m.	22,82	\$ 423,08	\$ 9.654,69
16	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 825MM.	m.	5,15	\$ 423,08	\$ 2.178,86
17	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 850MM.	m.	3,79	\$ 423,08	\$ 1.603,47
18	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC DE D= 900MM.	m.	14,58	\$ 480,10	\$ 6.999,86

Se considera usar tuberías de hormigón armado para diámetros mayores a 400mm, debido que corresponden a los colectores principales que están a una mayor profundidad y transportan mayores caudales.

Tabla 4.46: Costo de rehabilitación de tuberías Hormigón Armado con apertura con zanja.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Rehabilitación de tuberías con zanja - H.A.			
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA H.A. DE D= 500MM.	m.	122,94	\$ 290,53	\$ 35.717,76
2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA H.A. DE D= 550MM.	m.	5,96	\$ 290,53	\$ 1.731,56
3	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA H.A. DE D= 600MM.	m.	50,01	\$ 290,53	\$ 14.529,41
4	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA H.A. DE D= 675MM.	m.	2,51	\$ 290,53	\$ 729,23
5	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA H.A. DE D= 750MM.	m.	20,93	\$ 290,53	\$ 6.080,79
6	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA H.A. DE D= 800MM.	m.	22,82	\$ 319,58	\$ 7.292,82
7	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA H.A. DE D= 825MM.	m.	5,15	\$ 319,58	\$ 1.645,84
8	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA H.A. DE D= 850MM.	m.	3,79	\$ 319,58	\$ 1.211,21
9	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA H.A. DE D= 900MM.	m.	14,58	\$ 334,11	\$ 4.871,32
10	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA H.A. DE D= 1000MM.	m.	9,88	\$ 450,32	\$ 4.449,16

4.2.2.5.4. CIPP (Cured in a place pipe)

Para el tramo inspeccionado se procede a utilizar el método de CIPP debido que aunque la tubería presenta fallas estructurales considerables, y se pronostica que en un futuro podría colapsar, aun es de utilidad para poder aplicar el equipo de CIPP. A diferencia de otros métodos, para la aplicación del CIPP se necesita simplemente que las dimensiones del diámetro interior de la tubería vieja se conserve en buen estado para el paso de la manga, sin importar que las paredes del tubo presente corrosión o infiltraciones. Para este proyecto se considera que la tubería antigua aun no presente

colapsos o grandes deformaciones mayores al 10% en su diámetro, para proceder aplicar el CIPP.

De tal manera, en la actualidad existen normas extranjeras que contienen criterios que permiten que tipo sea el apropiado según las circunstancias que se presenten. Entre esas normas están: la ASTM F1216 de Estados Unidos, la DWA-A 143-2 de Alemania y la ASTEE 3R2014 de Francia. Para el presente plan de rehabilitación del proyecto La Chala se utiliza específicamente el diseño de la norma de Estados Unidos, el cual sugiere los criterios que se muestran en la tabla 4.47, con el fin de conocer qué tipo de CIPP es el más óptimo aplicar en cada caso.

Tabla 4.47: Criterios para la aplicación de los diferentes tipos de CIPP.
Fuente: (ASTM INTERNATIONAL, 2014)

ASTM F1216 (USA)		
	PARCIALMENTE DETERIORADA	TOTALMENTE DETERIORADA
CONDICIÓN DEL TUBO.	Comprometido hidráulicamente, corrosión superficial.	El tubo anfitrión perdió su "circularidad" y rigidez (resistencia) a la flexión.
EVOLUCIÓN DEL TUBO EN EL FUTURO.	Estable	Es probable que colapse.
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	El revestimiento se diseña para que resista la presión del nivel freático.	El revestimiento se diseña para que resista la presión del nivel freático + presión del suelo circundante + cargas vivas.

En la tabla 4.47, se observa que la norma ASTM F1216 se basa en el estado que se encuentra el tubo existente, y se proyecta su evolución en el futuro. Dentro de la tecnología CIPP existen 3 tipos: hidráulico, estructural I y estructural II, que se caracterizan cada uno dependiendo las cargas a la cual estará sometido el nuevo colector, es decir la presión del agua del nivel freático, el suelo circundante y las

cargas por tráfico en la superficie. A continuación se explica cuándo se debe usar cada tipo:

4.2.2.5.4.1. CIPP Hidráulico

El tipo hidráulico se utiliza cuando la tubería existente está en buen estado estructural e hidráulico, y no existe nivel freático alrededor como se muestra en la siguiente figura. Por tal motivo, este tipo de CIPP al no contar con revestimiento para soportar cargas y presiones del entorno circundante, solo se usó para rehabilitación de ramales y tirantes que estén por encima del nivel freático, y no es aplicable para colectores.

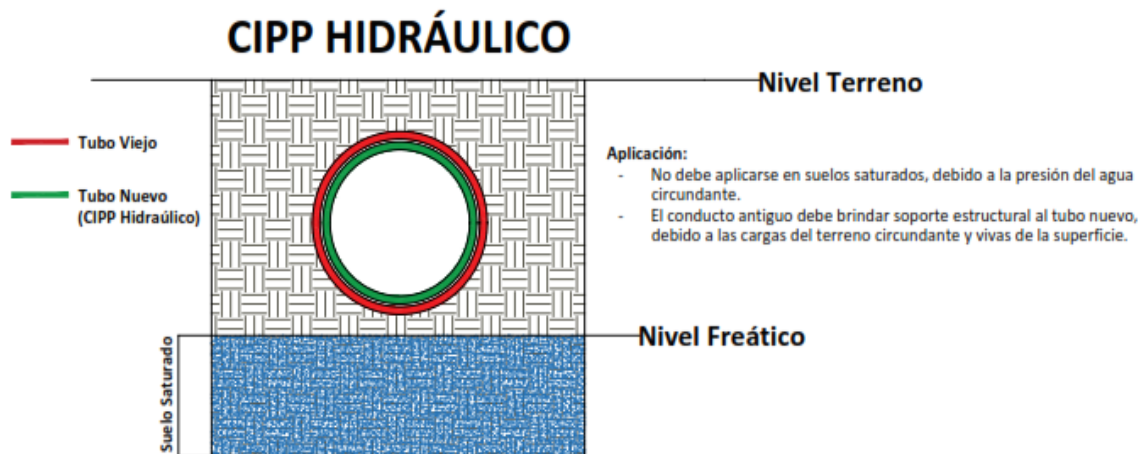


Figura 4.22: Aplicación del método correctivo mediante CIPP Hidráulico.

A continuación se procede a mostrar los costos de la implementación de esta tecnología para ramales con diámetros que varían de 160mm hasta 200mm. Cabe destacar que el CIPP hidráulico es la tecnología más económica de todas las opciones disponibles implementadas en este proyecto. En tirantes se lo aplica para diámetros que van desde los 160mm hasta 300mm.

Tabla 4.48: Costo de rehabilitación de ramales mediante CIPP Hidráulico.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Rehabilitación de tuberías con CIPP Hidráulico (Ramales)			
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 160 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP HIDRÁULICO.	m.	21425,76	\$ 93,41	\$ 2.001.380,24
2	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 175 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP HIDRÁULICO.	m.	142,94	\$ 98,72	\$ 14.111,04
3	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 200 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP HIDRÁULICO.	m.	279,43	\$ 104,07	\$ 29.080,28

Tabla 4.49: Costo de rehabilitación de tirantes mediante CIPP Hidráulico.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Rehabilitación de tuberías con CIPP Hidráulico (Tirantes)			
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 160 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP HIDRÁULICO.	m.	916,18	\$ 93,41	\$ 85.580,37
2	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 175 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP HIDRÁULICO.	m.	4,96	\$ 98,72	\$ 489,65
3	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 200 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP HIDRÁULICO.	m.	943,57	\$ 104,07	\$ 98.197,33
4	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 250 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP HIDRÁULICO.	m.	50,74	\$ 114,59	\$ 5.814,30
5	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 300 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP HIDRÁULICO.	m.	9,8	\$ 125,44	\$ 1.229,31

4.2.2.5.4.2. CIPP E-1

El tipo estructural I se usa cuando se considera parcialmente deteriorada a la tubería, es decir aunque presente fallas hidráulicas y corrosión en las paredes interiores, aún ofrece soporte estructural para soportar las cargas de tráfico y las del suelo circundante, por lo cual se diseñara para que el tubo nuevo pueda resistir la presión del nivel freático.

CIPP ESTRUCTURAL 1

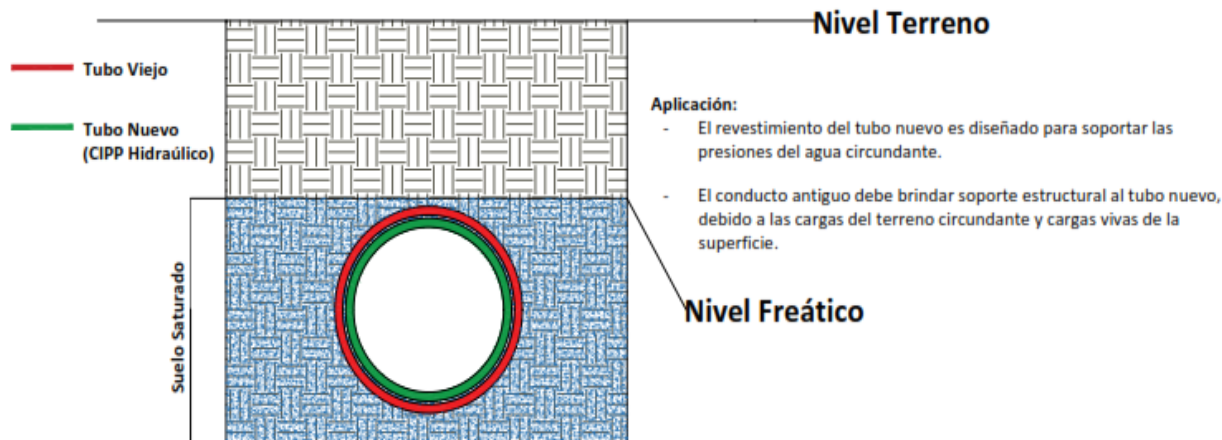


Figura 4.23: Aplicación del método correctivo mediante CIPP Estructural 1.

La aplicación en este proyecto se dio para rehabilitación de ramales, tirantes y colectores. Es importante mencionar, que en la oferta del contratista se propuso que para este proyecto se utilizaran los mismos costos para rehabilitación de tuberías mediante CIPP E1 y CIPP hidráulico.

Tabla 4.50: Costo de rehabilitación de ramales y tirantes mediante CIPP E-1.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Rehabilitación de tuberías con CIPP Estructural 1 (Ramales y Tirantes)			
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 160 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP ESTRUCTURAL 1.	m.	6419,29	\$ 93,41	\$ 599.625,88
2	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 175 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP ESTRUCTURAL 1.	m.	40,69	\$ 98,72	\$ 4.016,92
3	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 200 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP ESTRUCTURAL 1.	m.	6611	\$ 104,07	\$ 688.006,77
4	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 250 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP ESTRUCTURAL 1.	m.	361,17	\$ 114,59	\$ 41.386,47
5	TUBERÍA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D= 300 MM. MÉTODO TECNOLOGÍA CIPP ESTRUCTURAL 1.	m.	74,59	\$ 125,44	\$ 9.356,57

A continuación se procede a mostrar los precios unitarios de la instalación de colectores con diámetros que varían desde 160mm hasta 1300mm, sin embargo normalmente a partir de diámetros de 500mm se considera usar el CIPP Estructural 2.

Tabla 4.51: Costo de rehabilitación de colectores mediante CIPP E-1.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Rehabilitación de tuberías con CIPP Estructural1 (Colectores)			
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	TUBERÍA DE D= 160 MM.	m.	1534,3	\$ 166,12	\$ 254.877,92
2	TUBERÍA DE D= 200 MM.	m.	6283,64	\$ 176,78	\$ 1.110.821,88
3	TUBERÍA DE D= 250 MM.	m.	8629,51	\$ 187,50	\$ 1.618.033,13
4	TUBERÍA DE D= 300 MM.	m.	1770,18	\$ 210,63	\$ 372.853,01
5	TUBERÍA DE D= 350 MM.	m.	204,18	\$ 223,38	\$ 45.609,73
6	TUBERÍA DE D= 375 MM.	m.	145,95	\$ 229,75	\$ 33.532,01
7	TUBERÍA DE D= 400 MM.	m.	5148,8	\$ 236,13	\$ 1.215.786,14
8	TUBERÍA DE D= 450 MM.	m.	608,83	\$ 241,03	\$ 146.746,29
9	TUBERÍA DE D= 500 MM.	m.	3688,22	\$ 261,74	\$ 965.354,70
10	TUBERÍA DE D= 550 MM.	m.	166,82	\$ 277,29	\$ 46.257,52
11	TUBERÍA DE D= 600 MM.	m.	1300,38	\$ 292,86	\$ 380.829,29
12	TUBERÍA DE D= 675 MM.	m.	60,31	\$ 336,35	\$ 20.285,27
13	TUBERÍA DE D= 750 MM.	m.	460,44	\$ 358,53	\$ 165.081,55
14	TUBERÍA DE D= 800 MM.	m.	456,39	\$ 408,21	\$ 186.302,96
15	TUBERÍA DE D= 825 MM.	m.	92,7	\$ 419,55	\$ 38.892,29
16	TUBERÍA DE D= 850 MM.	m.	60,72	\$ 430,90	\$ 26.164,25
17	TUBERÍA DE D= 900 MM.	m.	204,07	\$ 494,19	\$ 100.849,35
18	TUBERÍA DE D= 1000 MM.	m.	59,25	\$ 542,17	\$ 32.123,57
19	TUBERÍA DE D= 1150 MM.	m.	177,55	\$ 648,68	\$ 115.173,13
20	TUBERÍA DE D= 1200 MM.	m.	55,19	\$ 675,90	\$ 37.302,92
21	TUBERÍA DE D= 1300 MM.	m.	100,58	\$ 803,76	\$ 80.842,18

4.2.2.5.4.3. CIPP E-2

El tipo estructural II se usa cuando se considera totalmente deteriorada la tubería, es decir que ha perdido su diámetro interno en gran porcentaje, y presenta fallas estructurales considerables como fracturas y desplazamientos. El revestimiento de la

tubería nueva es diseñado para poder resistir las presiones del agua y suelo que lo rodean. Es ideal su aplicación para colectores con diámetros superiores a 500mm.

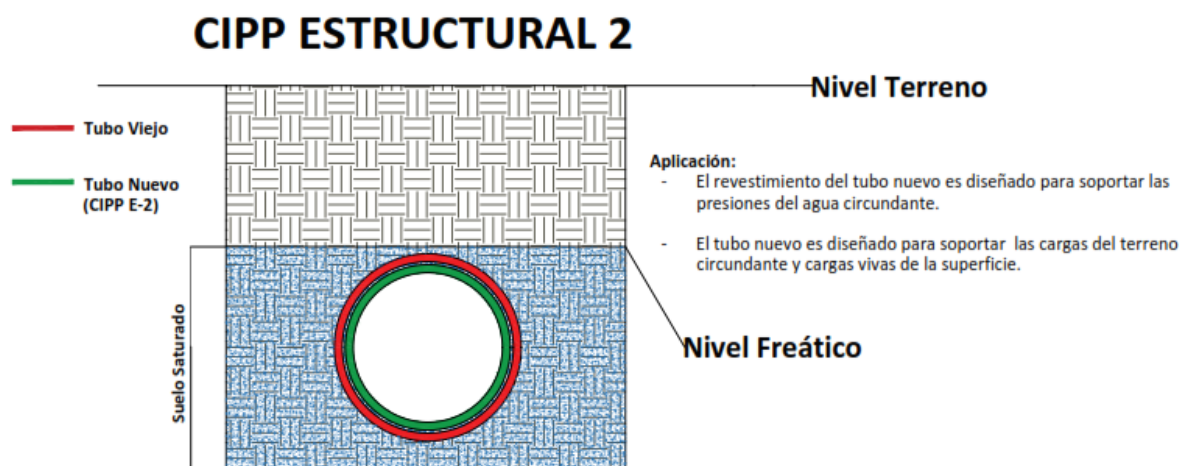


Figura 4.24: Aplicación del método correctivo mediante CIPP Estructural 2.

A continuación, se procede a mostrar los rubros que corresponden a la instalación de tuberías mediante la tecnología de CIPP-E2, siendo la más costosa de los tres tipos de CIPP.

Tabla 4.52: Costo de rehabilitación de colectores mediante CIPP E-2.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS:		Rehabilitación de tuberías con CIPP Estructural2 (Colectores)			
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	TUBERÍA DE D= 400 MM.	m.	605,74	\$ 247,15	\$ 149.708,64
2	TUBERÍA DE D= 450 MM.	m.	114,16	\$ 251,37	\$ 28.696,40
3	TUBERÍA DE D= 500 MM.	m.	983,52	\$ 284,62	\$ 279.929,46
4	TUBERÍA DE D= 550 MM.	m.	59,58	\$ 299,41	\$ 17.838,85
5	TUBERÍA DE D= 600 MM.	m.	600,18	\$ 314,18	\$ 188.564,55
6	TUBERÍA DE D= 675 MM.	m.	35,18	\$ 366,07	\$ 12.878,34
7	TUBERÍA DE D= 750 MM.	m.	334,86	\$ 391,36	\$ 131.050,81
8	TUBERÍA DE D= 800 MM.	m.	410,75	\$ 446,22	\$ 183.284,87
9	TUBERÍA DE D= 825 MM.	m.	103	\$ 458,22	\$ 47.196,66
10	TUBERÍA DE D= 850 MM.	m.	83,48	\$ 470,21	\$ 39.253,13
11	TUBERÍA DE D= 900 MM.	m.	349,84	\$ 528,10	\$ 184.750,50
12	TUBERÍA DE D= 1000 MM.	m.	128,38	\$ 577,37	\$ 74.122,76
13	TUBERÍA DE D= 1150 MM.	m.	497,14	\$ 736,77	\$ 366.277,84
14	TUBERÍA DE D= 1200 MM.	m.	206,96	\$ 750,38	\$ 155.298,64
15	TUBERÍA DE D= 1300 MM.	m.	536,44	\$ 898,78	\$ 482.141,54

Las características de la aplicación del CIPP en obra se la explicará en la 6ta etapa que corresponde a los trabajos correctivos, debido como se mencionó anteriormente esta fue la alternativa que se escogió para rehabilitar el tramo de tubería de la calle 36B S-0.

4.2.2.6. Sexta Etapa: Inspección previo a los trabajos correctivos

Después de definir qué tipo de trabajo correctivo se aplicara para rehabilitar la tubería, es importante volver a inspeccionar la tubería utilizando el equipo de CCTV. La razón de su uso es debido que es necesario verificar previamente que no exista ningún tipo de obstrucciones que dificulte el funcionamiento del equipo, por la tanto se vuelve a taponear los puntos de acceso que aportan caudal al tramo que se va rehabilitar, y así mismo se introduce el equipo CCTV por el pozo con la cota más alta para realizar la inspección en el sentido del flujo.

Sin embargo el proceso en esta etapa, se usa el equipo CCTV en conjunto con el hidrocleaner, es decir se realiza la limpieza mientras se va inspeccionando la tubería, por lo cual el hidrocleaner se lo ubica en el otro pozo con la cota más baja, y se usa un accesorio denominado cabezal Jet que sirve para ir expulsando los sedimentos y rocas que se pudieran encontrar en el interior de la tubería, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 4.25: Introducción del hidrojet en el colector mediante el pozo de inspección.

Para realizar la inspección es necesario primero introducir la manguera del hidrocleaner integrado con el accesorio Jet, y empujarlo hasta que recorra por todo el interior del tubo hasta que llegue hasta el otro pozo del tramo inspeccionado. La manguera del hidrocleaner tiene que ir agarrada de un gancho que servirá para traerla de regreso cuando se haga la inspección, siendo necesario el uso del equipo llamado winch, que a través de un motor eléctrico puede mover objetos.

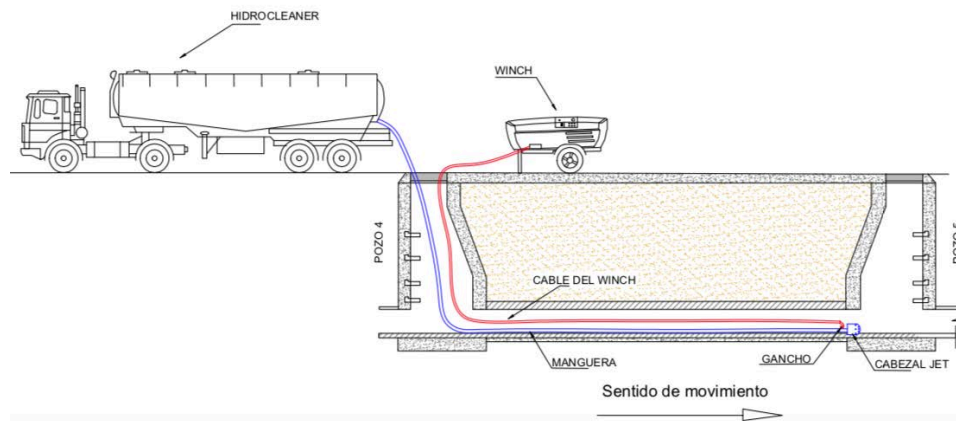


Figura 4.26: Introducción del hidrojet por el colector a rehabilitar.

Una vez introducido completamente la manguera en el interior de tubería, se procede a realizar la inspección con el equipo CCTV, el cual debe existir una distancia de

separación entre el cabezal Jet y el equipo de inspección, de al menos 1 metro. A continuación se procede a mostrar cómo trabaja el equipo CCTV en conjunto con el hidrocleaner para realizar la inspección previa a los trabajos correctivos.

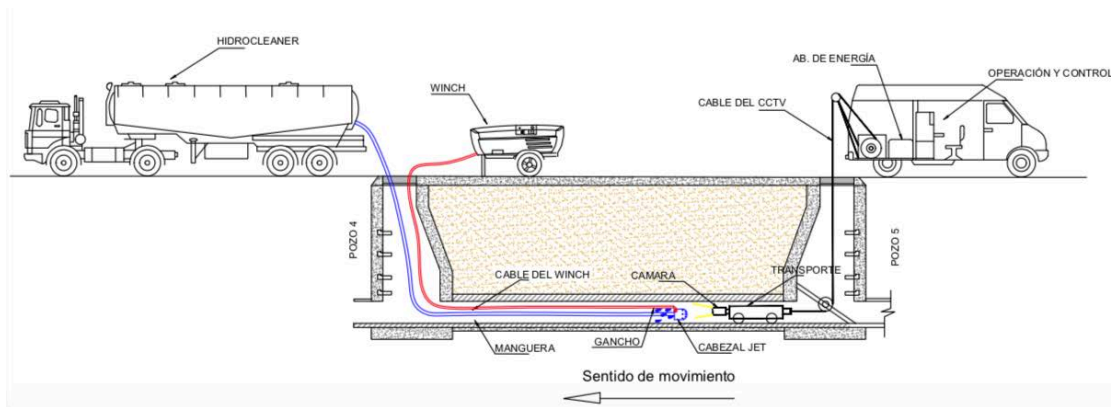


Figura 4.27: Inspección con CCTV previo a los trabajos correctivos.

4.2.2.7. Séptima etapa: Trabajos de rehabilitación de colectores

Luego de verificar que no existan obstrucciones en el interior de la tubería se procede a realizar los trabajos correctivos que se plantearon que era el más óptimo para rehabilitar la tubería. En esta ocasión se empezó el día 19 de marzo del 2019 a las 15:00, y se consideró que se usaría la tecnología de CIPP de tipo estructural II, debido que en el diagnostico se observó que la tubería tenía fallas estructurales considerables poniendo en riesgo un futuro colapso de la tubería. Con el CIPP estructural II, se espera que el revestimiento que se diseña sea capaz de resistir las condiciones existentes para este tramo:

- La presión del nivel freático, debido que está por encima del nivel del tubo.
- La presión del suelo circundante, siendo de tipo fangoso debido al estar saturado por el contacto con el agua.

- Cargas vivas, que son las que se encuentra en la superficie del terreno, considerando que la calle 36 B S-0 es de tipo secundario, sin tanta demanda de tráfico.

El proceso de rehabilitación con CIPP consiste en introducir la manga al interior de la tubería, que se produce igualmente a través del pozo con la cota más alta asegurando que el interior haya quedado lo más seco posible. Existen 3 tipos de mangas según el material de la resina: Poliester (UP), Epóxica (EP) o Vinilester (VE). Para el presente proyecto se utiliza la manga fabricada con resina de Poliester y fibra de vidrio, capaz de resistir grandes presiones y cargas vivas. En esta etapa también es necesario el uso del winch, debido que se necesita que la manga recorra completamente a lo largo del tubo hasta el pozo 4.

Si bien existen dos tipos de CIPP según el tipo de curado, es decir hay mangas que necesitan de agua caliente para endurecerse y otras que funcionan con curado de luz ultravioleta, siendo la ultima la que se usa en este proyecto. La diferencia es que con el curado de luz ultravioleta el proceso es más rápido, y necesita de un sistema de aire presurizado para darle la forma circular a la tubería debido que la manga inicialmente es plana como se muestra en la figura 4.28, mientras que con el otro curado se va formando el molde con la misma presión que ejerce el agua caliente a las paredes internas mientras va recorriendo a lo largo de la manga. En ambos procesos de curado, se debe llegar a una temperatura 82 °C para transformar la manga a estado sólido.



Figura 4.28: Introducción de la manga mediante el pozo de inspección.

Después de introducir la manga y trasladado a lo largo de la tubería con la ayuda de un winch, se procede a utilizar el robot con luces ultravioletas que es aquel que recorrerá por el interior de la tubería con el fin de endurecer y darle un aspecto sólido. Después es necesario taponear ambos lados de la manga, siendo por un lado donde se conectara la manguera donde se impulsara el aire presurizado que le dará la forma circular, para después mediante un equipo de control ir movilizándolo con las luces UV.

Una vez endurecida la manga y terminada el proceso de curado, se procede a sacar los tapones metálicos ubicados en cada extremo de la tubería. En la figura 4,29 se observan todos los equipos necesarios para realizar la inspección, y cuál es el resultado final post rehabilitación.

Tapones metálicos



Robot con luces UV



Sistema de aire presurizado



Estado Post- rehabilitación



Figura 4.29: Procesos correspondiente al método correctivo de CIPP con curado UV.

Cabe destacar que el diámetro de la tubería nueva de material de resina de vidrio será inferior a la tubería antigua, sin embargo la diferencia es despreciable y no altera el funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado sanitario. Este proceso desde que se comienza a introducir la manga hasta que termina de endurecerse se demora alrededor de 3 a 4 horas.

El revestimiento de la tubería nueva debe ser diseñado para que supere las propiedades estructurales necesarias y que fueron acordadas en los términos del contrato. Por lo cual, una vez finalizada la instalación resulta importante realizar los diferentes ensayos mediante una cortadora, obteniendo una muestra con el fin de

verificar si el tramo nuevo cumple con las condiciones pactadas. A continuación se muestra las propiedades estructurales que deben alcanzar los colectores nuevos.

Tabla 4.53: Propiedades estructurales de colectores rehabilitados con CIPP.

Fuente: (Emapag EP, 2017)

Propiedades Estructurales CIPP			
Propiedad	Parámetro Analizado	Resultado del ensayo	
		Corto Plazo	Largo Plazo
Módulo E Perisférico	Módulo Perisférico (Mpa)	3420	1278
Esfuerzo de flexión	Resistencia a la flexión (Mpa)	55	21
Resistencia a la presión	Resistencia a la presión (Mpa)	121	46

4.2.2.8. Octava Etapa: Verificación con CCTV del tramo rehabilitado

Ya finalizado los trabajos correctivos, es importante asegurarse que el estado de la nueva tubería sea el correcto, por lo cual es importante realizar la tercera y última inspección usando el equipo de CCTV. Una vez verificado que no exista fallas como obstrucciones o pandeos, se procede a restablecer el tramo rehabilitado al funcionamiento habitual, culminando todas las etapas que conforman el plan de rehabilitación de un tramo del sistema de alcantarillado sanitario de la cuenca la chala.

De esa manera, se ofrece una nueva tubería con alta resistencia a las cargas externas y que tendrá una vida útil alrededor de 50 años, evitando colapsos que perjudiquen a la población. En la figura 4.30, se muestra en qué condiciones deplorables se encontraba el tramo de tubería, y como quedo el interior del tubo después de rehabilitarlo mediante la tecnología del CIPP.

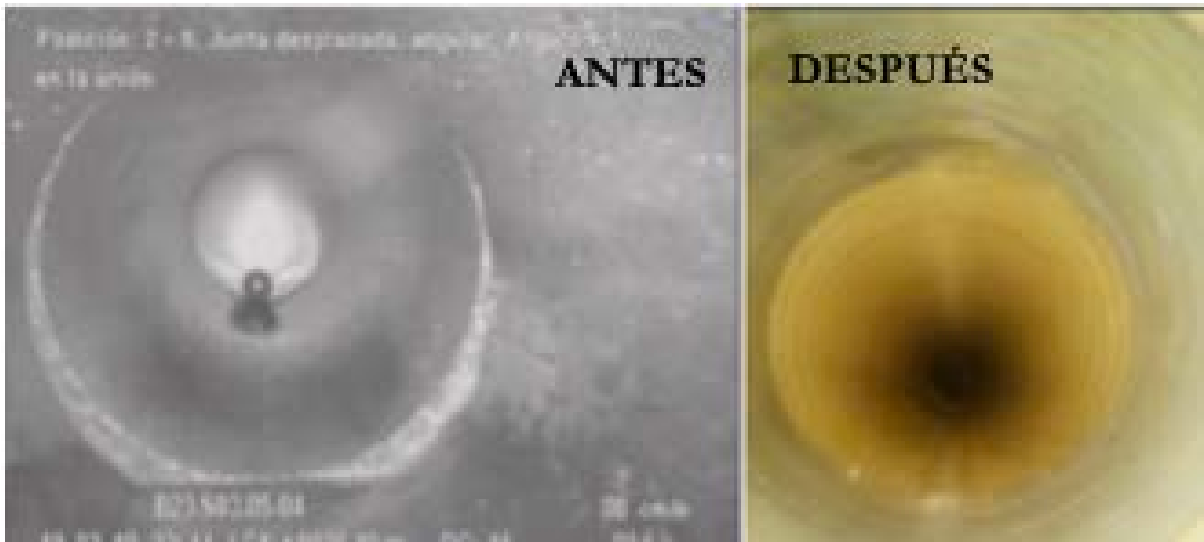


Figura 4.30: Registro fotográfico del colector previo y después de la rehabilitación.

Es importante que los tramos instalados con la tecnología de rehabilitación sin zanja deban cumplir con ciertos requisitos que fueron analizados previamente con la finalidad que no se produzcan fallas a temprana edad, y tengan una vida útil de alrededor de 50 años. A continuación se procede a mostrar en que tramos de la cuenca La Chala se aplicó cada tipo de tecnología que fueron explicadas anteriormente.

A continuación se procede a mostrar en que tramos de la cuenca La Chala se aplicó cada tipo de tecnología que fueron explicadas anteriormente.

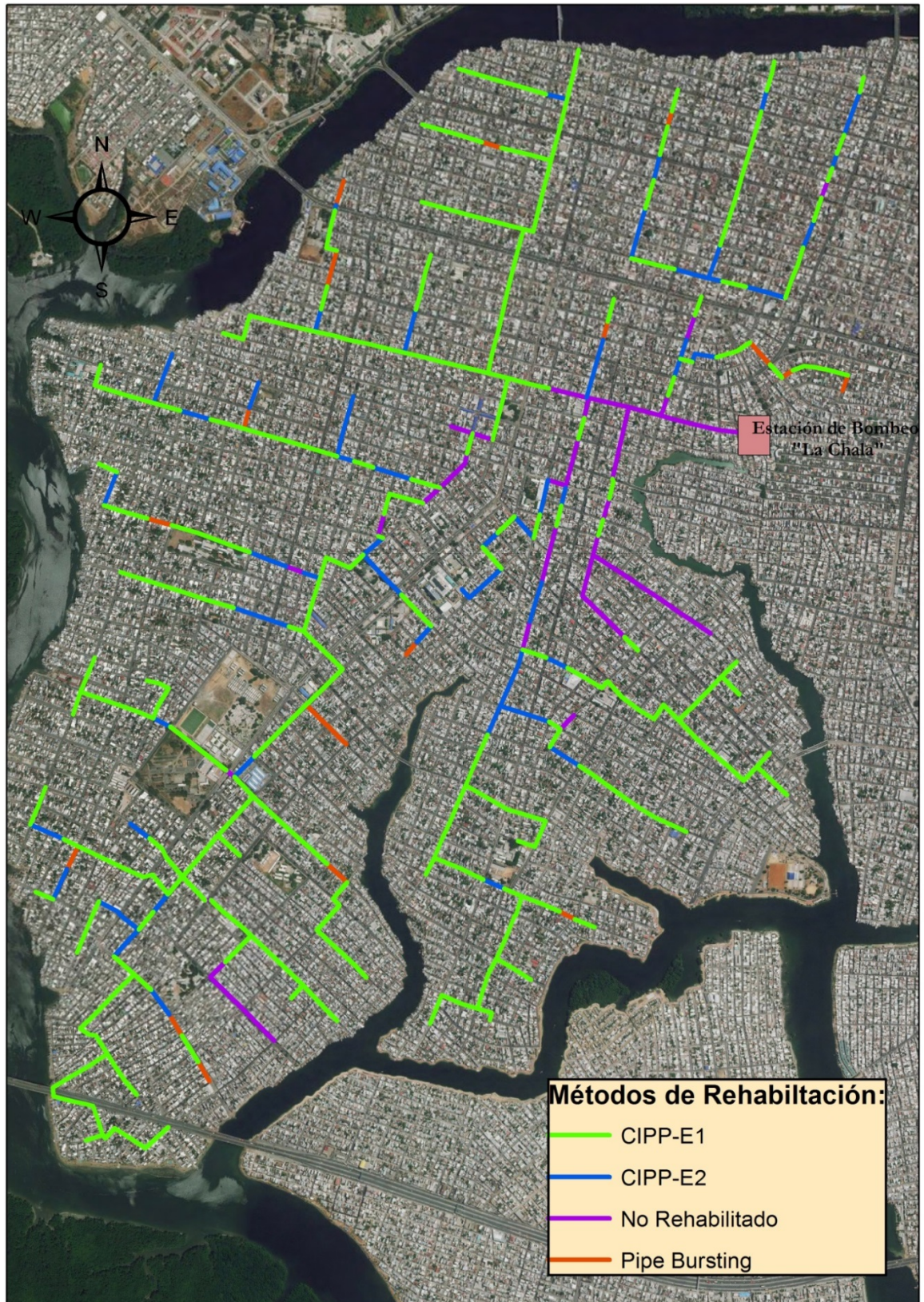
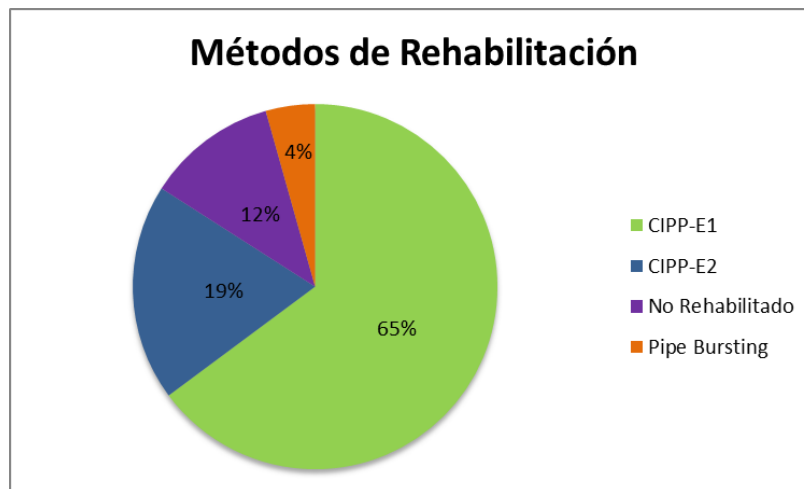


Figura 4.31: Esquema de redes de la cuenca La Chala rehabilitadas mediante tecnologías sin zanja.

Se observó que la tecnología de CIPP E-1 es el que se ha usado con mayor frecuencia debido que aunque se presentaron diversas fallas se analizó que las tuberías aun brindaban soporte estructural, y las deformaciones del diámetro no superaron el 10% permisible para este proyecto. Como se mencionó anteriormente, los tramos donde se utilizó el CIPP-E2 y el Pipe Bursting no se consideró que la tubería existente brindaba garantías para soportar las cargas del suelo y el agua circundante, representando el 19% y 4% respectivamente. El Pipe Bursting también se lo aplico en tramos donde se presentaron colapsos y no se pudo usar otro tipo de tecnologías. Hasta a mediados del mes de abril del 2019, se pudo conocer que falta alrededor de un 12% del proyecto de la cuenca La Chala. Cabe agregar, que la tecnología de CIPP de tipo hidráulico se utilizó solamente para rehabilitación de redes domiciliarias donde no exista presencia de nivel freático.

Cuadro 4.12: Métodos de rehabilitación implementados en el proyecto La Chala.



Con este proyecto se hace una regeneración del sistema de aguas residuales, y se espera que el caudal de agua que llega a la estación de bombeo La Chala se normalice como fueron diseñados inicialmente.

4.3. Análisis de la normativa extranjera de la EPM

4.3.1. Descripción de la norma

La normativa propuesta por la Empresa Pública de Medellín (EPM) fue aprobada en el 2010, y es usada para el diagnóstico de tuberías de alcantarillado. Esta norma contiene criterios de normas como la PACP y la europea EN-13508, teniendo como objetivo establecer estándares para la clasificación y calificación de fallas usando el equipo de CCTV, por lo cual se considera como una norma cuantitativa-cualitativa.

La Empresa Pública de Medellín considera clasificar las fallas según su incidencia en el funcionamiento del tubo, ya sea estructuralmente u operacional. Dentro de las fallas estructurales que considera esta normativa se encuentran las fisuras, fracturas, roturas, huecos, deformaciones, colapsos, fallas en juntas y superficie deterioradas. Por otro lado, las fallas operacionales que hace mención esta norma son las siguientes: raíces, infiltraciones, exfiltraciones, depósitos, alineamientos, acometidas, reparaciones puntuales. Todos los defectos encontrados en las tuberías son analizados y calificados bajo ciertos criterios que se indican en esta normativa, y así poder conocer su severidad en el estado del tubo.

Es importante mencionar que esta normativa codifica cada tipo de fallas al igual que la norma europea, sin embargo la EPM considero que los códigos serán basados dependiendo del nombre de la falla y de su definición. Es decir, una fisura longitudinal obtendrá el código de FIL que se diferenciara de una fisura circular correspondiente al código FIC.

4.4. Propuesta de norma para diagnóstico de redes de alcantarillado

La presente propuesta de normativa pretende adaptar criterios de metodologías extranjeras, y así brindar una guía y clasificación de fallas que permita al profesional poder diagnosticar las redes de alcantarillado sanitario de manera cualitativa y/o cuantitativa, según las necesidades del caso. Previo a la formulación del presente texto, se analizó los estándares en los procesos de rehabilitación que se usan en otros países, de los cuales pueden ser implementados en los trabajos locales.

4.4.1. Clasificación de fallas

Considerando la incorporación de nuevas tecnologías para proyectos de rehabilitación sin zanja realizados en la ciudad de Guayaquil, se considera necesario clasificar los daños detalladamente mediante códigos como sugiere la normativa europea EN-13508, y adicionalmente considerar criterios de la normativa propuesta por la Empresa Pública de Medellín, donde propone puntuaciones basadas en la ubicación circunferencial en el interior del tubo, por lo cual se define lo siguiente:

4.4.1.1. Fallas Estructurales

Se refiere a daños que dependiendo de su severidad podrían atenuar el soporte estructural del tubo, pudiendo ocasionar el colapso del mismo. Para la identificación de fallas estructurales se propone asignar el código BA y se los clasificó en 8 grupos, cada uno con su respectivo letra representando al código de daño, como lo sugiere la normativa europea EN-13508.

Tabla 4.54: Clasificación de los daños estructurales de la red.

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2003)

Clasificación de daños estructurales		CÓDIGO: BA
Código de daño	Información adicional	Detalle del daño
Deformación		
BA-A	Descripción	Cambio en la forma del tubo respecto a sus dimensiones originales.
	Caracterización 1:	Pueden observarse de tipo:
		Vertical (A): Se refiere al cambio en su altura Horizontal (B): Se refiere al cambio de su ancho
Fisura		
BA-B	Descripción	Presencia de líneas en forma de grietas en las paredes del tubo
	Caracterización 1:	La orientación de la fallas puede ser:
		Longitudinal (A): Se refiere a que la falla se encuentra paralelamente con respecto al eje del tubo
		Circunferencial (B): Se refiere a que la falla se encuentra de manera circunferencial en el interior del tubo
		Múltiple (C): Se refiere a que la falla se encuentra en gran proporción en las paredes del tubo.
En Espiral (D):		
Caracterización 2:	Pueden observarse de tipo:	
	Grieta Superficial (A): Se refiere a una grieta en la superficie del tubo	
	Conjunto de Grietas (B): Se refiere al conjunto de grietas, sin presencia de huecos en las paredes del tubo.	
Fractura		
BA-C	Descripción	Presencia de líneas en forma de grietas profundas donde se observa abierto la pared del tubo
	Caracterización 1:	La orientación de la fallas puede ser:
		Longitudinal (A): Se refiere a que la falla se encuentra paralelamente con respecto al eje del tubo
		Circunferencial (B): Se refiere a que la falla se encuentra de manera circunferencial en el interior del tubo
		Múltiple (C): Se refiere a que la falla se encuentra en gran proporción en las paredes del tubo.
En Espiral (D):		
Rotura		
BA-D	Descripción	Presencia de fragmentos desplazados en las paredes del tubo.
	Caracterización 1:	Rotura (A): Fragmentos de las paredes se encuentran desplazados, pero no están perdidos. Pérdidas (B): Fragmentos de las paredes se encuentran desplazados, y están perdidos.

Clasificación de daños estructurales		CÓDIGO: BA
Código de daño	Información adicional	Detalle del daño
Hueco		
BA-E	Descripción	Se observa material del terreno circundante debido a la pérdida de secciones en la pared del tubo. Da paso a infiltraciones y exfiltraciones.
Colapso		
BA-F	Descripción	Pérdida de manera total de las características estructurales del tubo.
Daños en Juntas		
BA-G	Descripción	Desplazamiento en la unión de tuberías conjuntas, una en relación a la otra.
	Caracterización 1:	Pueden observarse de tipo:
		Desplazada Horizontal (A)
		Junta Desplazada Vertical (B)
		Junta Despicada (C)
		Junta Abierta Horizontal (D)
Junta Abierta Vertical (E)		
Superficie Deteriorada		
BA-H	Descripción	Daños en la superficie debido a ataques químicos producto de las aguas residuales.
	Caracterización 1:	Pueden observarse de tipo:
		Aumento de la rugosidad (A)
		Desprendimiento del material en la superficie (B)
		Se observan agregados (C)
		Falta de agregados (D)
		Se ve visible la armadura del hormigón (E)
		Sobresale la armadura del hormigón (F)
		Corrosión en la armadura (G)
		Sobresale la armadura del hormigón (H)
		Perdida de pared (I)
Presencia de productos corrosivos (J)		
Ausencia de invert (K)		

4.4.1.2. Fallas Operativas

Se refiere a daños que pueden alterar el funcionamiento hidráulico del tubo. Se procedió a clasificar con el código BB como identificación a las fallas estructurales. Para la identificación de las fallas operativas se propone asignar el código BB y se los clasificó en 10 grupos, cada uno con su respectivo letra representando al código de daño, como lo sugiere la normativa europea EN-13508.

Tabla 4.55: Clasificación de los daños operativos de la red.

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2003)

Clasificación de Daños Operativas		CÓDIGO: BB
Código de daño	Información adicional	Detalle del daño
Raíces		
BB-A	Descripción	Se refiere a raíces que crecen alrededor del tubo y se introducen en su interior a través de grietas, conexiones o uniones entre tubos.
	Caracterización 1:	Pueden observarse de tipo:
		Raíces finas (A): Raíces delgadas que se introducen por las paredes del tubo.
		Raíces gruesas (B): Raíces gruesas que se introducen por las paredes del tubo.
Depósitos		
BB-B	Descripción	Material que se encuentra adherido en la pared del tubo
	Caracterización 1:	Pueden observarse debido a:
		Incrustaciones (A): Material desconocido adherido en la pared del tubo.
		Grasas (B): Acumulación de grasas en la pared del tubo.
		Residuos sólidos (C): Acumulación de desechos biológicos.
		Concreto (D): Acumulación de concreto o mortero que se han descargado en la red.
		Arenas (E): Acumulación de arenas que se han descargado en la red.
Triturado (D): Acumulación de piedras que se han descargado en la red.		

Clasificación de Daños Operativas		CÓDIGO: BB
Código de daño	Información adicional	Detalle del daño
Infiltraciones		
BB-C	Descripción	El paso indeseado del agua circundante al interior del tubo debido a fallas en las juntas o grietas.
	Caracterización 1:	Pueden observarse de tipo:
		Exudación (A): No existe goteo. Hay poca entrada de agua.
		Goteo (B): Se observan goteos de manera intermitente.
		Flujo (C): Entrada continua de agua.
Chorro (D): Entrada del agua de forma continua y a presión.		
Exfiltraciones		
BB-D	Descripción	El paso indeseado del agua residual hacia el exterior del tubo debido a fallas en las juntas o grietas.
Obstáculos		
BB-E	Descripción	Impedimento de la circulación del agua debido a obstáculos por material que se ha depositado.
	Caracterización 1:	Pueden observarse de tipo:
		Obstáculo transversal (A): Elemento introducido que se encuentra depositado de forma transversal en el tubo. Obstáculo cables (B): Cables o varillas introducidos en el interior del tubo.
Sellos defectuosos de juntas		
BB-F	Descripción	Los sellos que brinda hermeticidad entre juntas se encuentran en mal estado o expuestos.
	Caracterización 1:	Pueden observarse:
		Desplazado pero permanece en la junta (A):
		Descolgado pero no se encuentra roto (B): Por encima del nivel del eje horizontal del tubo.
		Descolgado pero no se encuentra roto (C): Por debajo del nivel del eje vertical del tubo.
El anillo se encuentra roto (D):		
Caracterización 2:	Se debe especificar el tipo de material:	
	Anillo de estanqueidad (A): Otro tipo de empaque (Z): El detalle del empaque debe ser identificado durante la inspección.	

Clasificación de Daños Operativas		CÓDIGO: BB	
Código de daño	Información adicional	Detalle del daño	
Perdida de alineamiento			
BB-G	Descripción	Desplazamientos de tipo vertical u horizontal con respecto al eje de la red	
	Caracterización 1:	Pueden observarse: Perdida de alineamiento vertical superior (A): El desplazamiento se ha producido hacia la parte superior del tubo.	
		Perdida de alineamiento vertical inferior (B): El desplazamiento se ha producido hacia la parte inferior del tubo.	
		Perdida de alineamiento horizontal derecho (C): El desplazamiento se ha producido hacia la parte derecha del tubo.	
		Perdida de alineamiento horizontal izquierdo (D): El desplazamiento se ha producido hacia la parte izquierda del tubo.	
Acometidas			
BB-H	Descripción	Distinto problemas que pueden ocasionarse en las acometidas del tubo	
	Caracterización 1:	Pueden observarse: Con hueco (A): Se observa un agujero en la pared del tubo.	
		Penetrante (B): La acometida se introduce directamente a la red.	
		Obstruida (C): Se presentan obstrucciones en la acometida	
		Conexión errada (D): Descarga incorrecta de sistemas pluviales.	
		Fuera de servicio (E): Se encuentra sin uso o se requiere taponar para impedir el ingreso del flujo.	
Reparación Puntual			
BB-I	Descripción	Cuando el tramo inspeccionado ha sido sometido a alguna reparación anterior	
	Caracterización 1 :	Pueden observarse: Defectuosa (A): Se observa defectos en la reparación.	
		En Buen Estado (B): El tramo reparado no presenta problemas al funcionamiento de la red.	
		Caracterización 2 :	Si se encuentra defectuosa, se debe especificar: Falta fragmentos de la pared (A):
			Mala instalación del sellado (B):
Otros (Z): Se debe detallar el problema durante la inspección.			
Defectos en Cámara			
BB-J	Descripción	Lá cámara de inspección presenta ciertos tipos de defectos.	
	Caracterización 1 :	Pueden observarse: Fracturada (A): Se observaron fracturas en las paredes permitiendo la infiltración o exfiltración de agua.	
		Obstruida (B): Se encuentra azolvado.	
		Con Huecos (B): Se observaron huecos en las paredes permitiendo la infiltración o exfiltración de agua.	

4.4.2. Cuantificación de Fallas

Para la cuantificación de falla se considera criterios de la norma propuesta de la Empresa Pública de Medellín, donde se propone dar puntuaciones a cada daño según su ubicación circunferencial y la relevancia de la falla.

4.4.2.1. Ubicación en la Circunferencia del tubo

En lo posible, la inspección debe realizarse en la misma dirección del flujo del agua para registrar las fallas en sentido horario. Si se encuentran obstrucciones o colapsos que no permiten el paso del equipo, se debe indicar en el informe final. Los tipos de fallas mencionados anteriormente pueden tener un mayor grado de severidad dependiendo de la ubicación dentro de la circunferencia del tubo, por lo cual es importante documentarla durante la inspección basándose en las horas según las manecillas del reloj, así como lo propone la norma de Medellín.

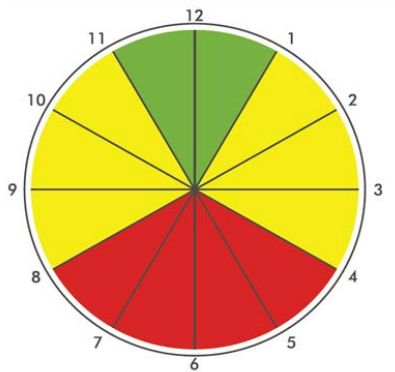


Figura 4.32: Puntuación de fallas según su ubicación en la circunferencia del tubo.

Fuente: (EPM, 2010)

Considerando criterios de la normativa de la Empresa Pública de Medellín se sugiere que las fallas más críticas están ubicadas de 4:00 a 8:00 según el sentido horario, y los lados representados de color amarillo que corresponden a severidad media están ubicadas de 1:00 a 4:00 y 8:00 a 11:00.

4.4.2.2. Relevancia de la falla

La relevancia de falla se refiere a las futuras consecuencias que puede generar una falla a largo y corto plazo. Por lo tanto, citando criterios de la normativa EPM donde propone identificar las fallas dependiendo la relevancia de cada una. Se considera grado 1 a las que obtienen una relevancia mínima, y por otro lado se asigna grado 3 a las fallas que podrían generar problema a corto plazo, estimando que tienen relevancia máxima.

A continuación se procede a mostrar la tabla donde se muestra las puntuaciones otorgadas a cada falla según su ubicación circunferencial y su relevancia.

Tabla 4.56: Calificación de fallas estructurales según ubicación circunferencial y relevancia

Fuente: (EPM, 2010)

CLASIFICACIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES							
Daño	Definición	Caracterización	Puntaje				Relevancia
			Sin Ubicación	Ubicación Circunferencial			
				11-1	(1-4) y (8-11)	4-8	
DEFORMACIÓN	VERTICAL	A		50		60	2
BA-A	HORIZONTAL	B			50		2
	LONGITUDINAL	A		25	28	30	1
FISURA	CIRCULAR	B		28	31	34	2
BA-B	MÚLTIPLE	C		28	31	34	2
	ESPIRAL	D		31	34	37	2
	LONGITUDINAL	A		36	40	43	2
FRACTURA	CIRCULAR	B		42	46	50	2
BA-C	MÚLTIPLE	C		63	69	76	3
	ESPIRAL	D		125	138	150	3
ROTURA	ROTURA	A		125	138	150	3
BA-D	PÉRDIDAS	B		125	138	150	3
HUECO							
BA-E	HUECO	A		125	138	150	3
COLAPSO							
BA-F	COLAPSO	A	250				3
	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL	A		50		60	2
JUNTAS	DESPLAZAMIENTO VERTICAL	B			55		2
BA-G	DESPICABA	C					1
	ABIERTA HORIZONTAL	D		50		60	2
	ABIERTA VERTICAL	E			55		2

CLASIFICACIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES							
Daño	Definición	Caracterización	Puntaje				Relevancia
			Sin Ubicación	Ubicación Circunferencial			
				11-1	(1-4) y (8-11)	4-8	
	AUMENTO DE LA RUGOSIDAD	A		25	28	30	1
	DESPRENDIMIENTO DEL MATERIAL EN LA SUPERFICIE	B		42	46	50	2
	SE OBSERVAN AGREGADOS	C		42	46	50	2
	FALTA DE AGREGADOS	D		50	55	60	2
SUPERFICIE DETERIORADA	SE VE VISIBLE LA ARMADURA DEL HORMIGÓN	E		50	55	60	2
BA-H	SOBRESALE LA ARMADURA DEL HORMIGÓN	F		63	69	76	2
	CORROSIÓN EN LA ARMADURA	G		63	69	76	2
	PERDIDA DE PARED	H		125	138	250	3
	PRESENCIA DE PRODUCTOS CORROSIVOS	I				250	3
	AUSENCIA DE INVERT	J				250	3

Tabla 4.57: Calificación de fallas operativas según su ubicación circunferencial y relevancia

Fuente: (EPM, 2010)

CLASIFICACIÓN DE DAÑOS OPERATIVO							
Daño	Definición	Caracterización	Puntaje				Relevancia
			Sin Ubicación	Ubicación Circunferencial			
				11-1	(1-4) y (8-11)	4-8	
RAÍCES	RAÍCES FINAS	A		2	4	6	1
BB-A	RAÍCES GRUESAS	B		3	6	9	2
	CONJUNTO DE RAÍCES	C		3	6	9	2
DEPÓSITOS	INCRUSTACIONES	A		3	6	9	2
	GRASAS	B		3	6	9	1
	RESIDUOS SÓLIDOS	C		3	6	9	1
BB-B	CONCRETO	D		5	10	15	2
	ARENA	E		5	10	15	2
	TRITURADO	F		5	10	15	2
INFILTRACIONES	EXUDACIÓN	A		3	3	4	2
	GOTEO	B		3	3	4	2
	FLUJO	C		8	9	11	2
BB-C	CHORRO	D		23	25	30	3
EXFILTRACIÓN	EXFILTRACIÓN	A		23	25	30	3
BB-D							
OBSTÁCULOS	TRANSVERSAL AL TUBO	A		8	9	11	2
BB-E	CABLES	B		8	9	11	2
SELLOS DEFECTUOSOS EN JUNTAS	DESPLAZADO PERO PERMANECE EN LA JUNTA	A		5	10	15	2
	DESCOLGADO PERO NO SE ENCUENTRA ROTO (HORIZONTAL)	B			16		2
	DESCOLGADO PERO NO SE ENCUENTRA ROTO (VERTICAL)	C		8		20	2
	ROTO	D		8	16	20	2
PERDIDA DE ALINEAMIENTO	PERDIDA DE ALINEAMIENTO VERTICAL SUPERIOR	A		3			1
	PERDIDA DE ALINEAMIENTO VERTICAL INFERIOR	B				9	1
BB-G	PERDIDA DE ALINEAMIENTO HORIZONTAL DERECHO	C			6		1
	PERDIDA DE ALINEAMIENTO HORIZONTAL IZQUIERDO	D			6		1

CLASIFICACIÓN DE DAÑOS OPERATIVO							
Daño	Definición	Caracterización	Puntaje				Relevancia
			Sin Ubicación	Ubicación Circunferencial			
				11-1	(1-4) y (8-11)	4-8	
ACOMETIDAS	CON HUECO	A	23				
	PENETRANTE	B	23				
BB-H	OBSTRUIDA	C	3				
	CONEXIÓN ERRADA	D	23				
	FUERA DE SERVICIO	E	5				
REPARACIÓN PUNTUAL	DEFECTUOSA	A		8	9	11	2
BB-I	EN BUEN ESTADO	B					0
CÁMARA CAÍDA	FRACTURADA	A	8				2
	OBSTRUIDA	B	23				3
BB-J	CON HUECO	C	23				3

4.4.3. Registro de Fallas

Tabla 4.58: Formato de plantilla para registro de daños

Fuente: (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2003)

Localización Longitudinal	Código Principal	Caracterización de la falla		Localización Circunferencial		Cuantificación	Relevancia de falla	Junta	Ref. fotográfica	Ref. video	Observaciones
		1	2	1	2						
12.5	BAB	A	B	11	3	28	1	**	**	0:12:31	

Para el registro de fallas, se basó en el formato propuesto por la normativa europea EN-13508 donde muestra la clasificación de fallas, y adicionalmente se pretende incluir las puntuaciones de cada daño, según la ubicación circunferencial y la relevancia de cada daño.

- **Localización Longitudinal:** La ubicación de falla en relación al punto de partida.
- **Código Principal:** Requisito para clasificar entre fallas estructurales y operativas.
- **Caracterización de la falla:**
 - **1:** Caracterización principal de falla.
 - **2:** Caracterización secundaria para mayor detalle del daño.
- **Localización Circunferencial:**
 - **1:** Inicio de falla en circunferencia del tubo.
 - **2:** Fin de falla en circunferencia del tubo.

- **Cuantificación:** Puntuación de falla según la ubicación circunferencial. (Se selecciona el más crítico).
- **Junta:** Se detalla si la falla se produce en la junta.
- **Ref. fotográfica y video:** Memoria de video y fotográfica de la inspección.
- **Observaciones:** Datos adicionales del tramo inspeccionado.

4.4.4. Verificación del Estado Estructural - Operativo de la red

Como sugiere la Empresa Pública de Medellín en su propuesta de normativa considera integrar todos los tipos de fallas, y así dar un diagnostico cuantitativo al estado del tubo. Como se muestra a continuación, la fórmula consiste en clasificar todos los tipos de fallas según su relevancia, y sumar las puntuaciones que se obtiene dependiendo de la ubicación en la circunferencia, para proceder a dividirla para la longitud del tubo. La K hace referencia al número de fallas que hay por categorías de relevancia.

$$\text{Estado del tubo} = \frac{K \sum \text{maximos} + K \sum \text{medios} + K \sum \text{minimos}}{\text{Long. del tubo}}$$

Fórmula# 5: Ecuación para calcular el estado de la red.

4.4.5. Intervalos de grados según estado de la red

Después de aplicar la fórmula para integrar todas las fallas encontradas y dar un diagnostico cuantitativo de la tubería en relación a su estado, se procede a clasificar el tramo según como lo indica la norma de la EPM, en el cual considera 5 grados que determinan si el tramo necesita ser repuesto o rehabilitado. A continuación se observa la tabla mencionada anteriormente, donde indica los grados en relación al estado de la tubería.

Tabla 4.59: Intervalos de grados propuesto por la EPM en relación al estado de la red.

Fuente: (EPM, 2010)

INTERVALOS	TOTAL		ESTRUCTURAL		OPERACIONAL	
	>=	<=	>=	<=	>=	<=
1		< 1,1		< 1,8		< 0,4
2	>= 1,1	<= 3,9	>= 1,8	<= 4,1	>= 0,4	<= 1,3
3	>= 3,9	<= 12	>= 4,1	<= 9,2	>= 1,3	<= 3,3
4	>= 12	<= 41	>= 9,2	<= 21,6	>= 3,3	<= 8,6
5	>= 41		>= 21,6		>= 8,6	

Como se indica en la siguiente tabla, cada grado va representar el estado en el que se encuentra la red, considerando que el grado 1 es el más leve indicando que los defectos o fallas encontradas no representan un peligro para el funcionamiento correcto del tubo. Por otro lado, el grado 5 considera que las fallas son graves y comprometen al soporte estructural y funcionamiento hidráulico del tubo, por lo cual indica que es necesario que se intervenga de manera inmediata. La norma EPM recomienda ciertas medidas o recomendaciones a tomar según el grado que se obtenga del diagnóstico.

Tabla 4.60: Criterios de la EPM para el diagnóstico y las medidas a tomar según el estado de la red.

Fuente: (EPM, 2010)

DIAGNÓSTICO	RECOMENDACIÓN
GRADO 1: Dentro de la inspección no se hallaron daños importantes que podrían comprometer el estado hidráulico y/o estructural de la red.	GRADO 1: Se considera recomendable verificar el estado de la red nuevamente en un plazo entre 7 a 10 años, donde se inspeccione el estado hidráulico y estructural.
GRADO 2: Las daños encontrados se consideran de mayor importancia, sin embargo a corto plazo no significan problemas a la capacidad hidráulica y estructural de la red.	GRADO 2: Se considera recomendable el mantenimiento correctivo en las fallas encontradas, y volver a realizar la inspección del tramo dentro de 5 a 7 años para verificar su estado.
GRADO 3: Dentro de la inspección se hallaron daños puntuales que comprometen el estado hidráulico y/o estructural de la red, por lo cual se debe realizar medidas correctivas para evitar que el daño se extienda.	GRADO 3: Se considera recomendable tomar medidas correctivas para solucionar los daños puntuales priorizando según la calificación o la gravedad de la falla, por lo cual se debe verificar el estado de la red nuevamente en un plazo entre 3 a 5 años, para constatar el estado estructural e hidráulico de la red.

<p>GRADO 4: Los daños que se encontraron comprometen de manera considerable el estado hidráulico y/o estructural de la red.</p>	<p>GRADO 4: Se recomienda que se priorice los daños encontrados según la gravedad, y se proceda a tomar medidas correctivas para solucionar y evitar que se extienda el daño, por lo cual se debe verificar el estado de la red nuevamente en un plazo entre 1 a 3 años, para constatar el estado estructural e hidráulico de la red.</p>
<p>GRADO 5: Se encontraron fallas considerables en toda la longitud del tubo, por lo cual comprometen gravemente su estado hidráulico y/o estructural.</p>	<p>GRADO 5: Es necesario tomar medidas correctivas de manera urgente para solucionar los daños estructurales y/o hidráulicos, y así dejar la red funcionando correctamente. Se debe considerar renovar completamente el tramo.</p>

**** Nota:** El grado 1 y 2 se propone que debe ser considerado únicamente para tuberías que no hayan excedido los 30 años en servicio.

CAPÍTULO V.

5 CONCLUSIÓN

La norma europea 13508 de tipo cualitativo en comparación con la metodología local de Guayaquil, detalla precisamente cada tipo de falla mediante serie de códigos, brindado al profesional un mejor análisis del estado del tubo. Cabe indicar que la normativa europea no coloca puntuaciones que demuestran la severidad de cada falla, como si sucede con otras normas como la PACP creada por la NASSCO y la norma de la Empresa Pública de Medellín (EPM), donde califican las fallas clasificándolas de igual manera según el tipo, y al final mediante una fórmula integran todas las observaciones encontradas y dan un resultado de tipo cuantitativo, ofreciendo puntajes del 1 al 5, de forma ascendente según la gravedad del daño, el cual dependiendo de la calificación final se recomienda que opción es la más recomendable, ya sea rehabilitarla o renovarla por completo. Lo explicado anteriormente, demuestra que el uso de la norma europea 13508 depende de la experiencia del profesional encargado de evaluar el estado de la tubería, debido que su decisión será subjetiva al ser un resultado cualitativo.

Por otro lado, al decidir implementar una normativa como la EPM que ofrece diagnósticos cuantitativos respecto a la severidad de fallas es importante que el profesional encargado de evaluar el estado de la tubería considere otros factores que no se analizan en dicha normativa. Entre esos factores están: el tipo de suelo que rodea el tubo, la importancia que tiene la vía que está encima del tubo a rehabilitar, el tiempo en servicio del tramo, y otros. Si bien, en este tipo de normas también implica

analizar subjetivamente en los casos mencionados anteriormente, se considera que ofrece un sustento preliminar de la decisión que tome el profesional.

Al comparar las muestras obtenidas tanto del sector de Los Vergeles y la Cuenca La Chala se puede observar que en 10 años transcurridos se han ido actualizando los equipos tecnológicos para realizar los trabajos correctivos, sin embargo el uso del equipo de Circuito Cerrado de Televisión convencional se han conservado, y el motivo se debe a que el costo de inspección es económico, por lo cual no justifica el uso de otros equipos como el sonar o laser. En ambos casos, la etapa del diagnóstico resulta necesario e importante debido que en el 2008 se usó para determinar que tramo necesitaba ser intervenido, mientras aunque en el proyecto de la Chala se acordó previamente en el contrato que se iba a rehabilitar el 100% del sistema de alcantarillado, fue necesario el uso CCTV para determinar qué tipo de tecnología se iba a utilizar para cada tramo. Cabe destacar que el costo de cada tecnología implementada en la rehabilitación de la cuenca La Chala varia una de la otra, considerando que el método de CIPP y Sliplining son los más económicos y el método tradicional y el Pipe Bursting los más costosos, por lo cual con el uso de CCTV se pudo optimizar los recursos y usar cada tecnología correctamente cuando sea necesario.

Con respecto a las tecnologías de rehabilitación implementadas en la cuenca La Chala, se determinó que resultan beneficiosas debido que evitan problemas de infiltraciones y desalineaciones de juntas, al no ser necesario realizar la instalación por tramos como se lo hace con el método tradicional, donde terminan desprendiéndose los empaques de neopreno producto de una mala instalación o por el transcurso de los

años. Otro aspecto a considerar al utilizar las tecnologías de CIPP o Sliplining, es la disminución del diámetro debido que en su instalación es necesario introducir el tubo nuevo por el interior del tramo existente. Sin embargo, la manga de felpa del CIPP o la tubería PEAD tienen un manning de 0.009 que resulta menor al 0,013 del hormigón simple, por lo cual se mantiene el caudal con el que fue diseñado.

Un aspecto a tener en cuenta en el caso correspondiente a la cuenca La Chala, es la evaluación de las deformaciones y desalineaciones de las juntas debido que no puede sobrepasar el 10% del diámetro para poder utilizar el método de CIPP o Slip lining. Es importante contar con el software apropiado para poder determinar el porcentaje de deformación, ya que eso incide en la elección del método de rehabilitación. Caso contrario, la decisión si sobrepasa o no el rango permitido del 10% será igualmente subjetivo según la apreciación de cada profesional.

Para concluir, es importante la introducción de nuevas tecnologías para el diagnóstico y rehabilitación de sistemas de alcantarillado debido que ofrecen mayor relación beneficio–costo. Cabe indicar que mientras más tecnologías se van introduciendo en el país es necesario que los profesionales se capaciten para procurar su buen uso, y así mismo las normativas vigentes se actualicen como lo han hecho en países como Colombia, Brasil, Argentina y entre otros.

RECOMENDACIONES:

- Ante la incorporación de nuevas tecnologías como método correctivo, debe existir una normativa local estandarizada y actualizada que pueda clasificar los tipos de fallas detalladamente como la norma europea EN-13508, y así permita evaluar de manera precisa el estado de la red.
- Si bien en todas las normas dependen del criterio de un profesional, es importante considerar la certificación del personal encargado de diagnosticar redes, como existe en otros países donde entidades como la PACP o la Entidad Española brindan este tipo de certificados.
- El equipo del CCTV convencional sigue siendo usado en Ecuador, es importante contar con softwares que permitan determinar el porcentaje de deformaciones o desplazamientos de juntas, debido que eso incide en la correcta instalación del tubo nuevo.
- Para el buen uso de recursos, es importante que el profesional pueda tener un criterio objetivo considerando factores externos a las condiciones del tubo, en especial el grado de vulnerabilidad de la vía.

Trabajos citados

- Organizacion Panamericana de Salud. (2005). *OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN EL MEDIO RURAL* . Organizacion Panamericana de Salud, Area de desarrollo sostenible y salud ambiental. Lima: Organizacion mundial de la salud.
- Abad, I. R. (2016). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA*. Guayaquil: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2003). *UNE-EN 13508-2*. Madrid.
- ASTM INTERNATIONAL. (2014). ASTM F1216 - 16. *Práctica estándar para la rehabilitación de tuberías y conductos existentes mediante la inversión y el curado de un tubo impregnado con resina*. Estados Unidos.
- Bajaña, L. (2016). *Ventajas y desventajas entre el metodo tradicional (con zanja) y el metodo moderno (sin zanja) en la rehabilitacion del alcantarillado en la ciudad de Guayaquil*. Trabajo de titulacion, Universidad de Guayaquil, Escuela de Ingenieria Civil, Guayaquil.
- Barbosa, G. (2013). *Estudio de la aplicación de tecnologías Trenchless en Bogota*. Bogota: Universidad Católica de Colombia.
- Bastidas, C. (2019). *Analisis del deterioro en tuberias de drenaje pluvial y sanitario, estudio comparativo entre tuberias de hormigon armado y PVC*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- CLH. (2010). *Viaje al interior del oleducto*. CLH.
- Correa, W. (2017). *FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS CCTV EN LA ERA DIGITAL*. UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA. Santa Marta: UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA.
- Danubio, C. (2018). *Generalidades para el mantenimiento de redes de abastecimiento de agua y saneamiento*. Colombia: 7.
- Dossier. (10 de 2010). *Nuevas tecnologias aplicadas al CCTV*. *INSTALCEC*, 17, 70.
- EMAPAG. (2015). *Rehabilitación del sistema de alcantarillado sanitario*. Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil. Guayaquil: 4.
- Emapag EP. (2017). *Tabla de cantidad de rehabilitación del sistema de alcantarillado sanitario cuenca La Chala - Suburbio Oeste de Guayaquil*. Guayaquil: Emapag EP.

- EMAPAG-EP. (2016). *DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO UNIVERSALIZACIÓN DEL ALCANTARILLADO SANITARIO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SISTEMA SUR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL - PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "LAS ESCLUSAS" Y SUS COMPONENTES COMPLEMENTARIOS*. Guayaquil: EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE GUAYAQUIL, EP "EMAPAG-EP" .
- EPM. (2010). *Metodología para el diagnóstico y evaluación de redes de Alcantarillado con CCTV*. Medellín: Empresa Pública de Medellín.
- Florsheim, I. (2011). Los primeros 10 años . *INTERAGUA C. LTDA.*, 54.
- González, P. A. (2010). *Metodología para el diagnóstico del saneamiento en comunidades de desplazados en situación de emergencia* . Colombia: Studiositas.
- Google, M. Ubicación geográfica de la ciudad de Guayaquil. *Ubicación geográfica de la ciudad de Guayaquil*. Google, Guayaquil.
- GrHidro. (2015). *GrHidro*. Recuperado el 2019, de GrHidro Soluciones Integrales: <http://grhidro.com/productos/camaras-de-empuje-manual-ibak>
- Hernandez, L. (2011). *MODELO DECISIONAL PARA LA REPOSICIÓN Y REHABILITACIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO DEL VALLE DE ABURRÁ*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Hernandez, L. A. (2011). *Modelo decisional para la reposicion y rehabilitacion de redes de alcantarillado del valle de Aburra*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández, S. (2009). *NUEVOS PROCEDIMIENTOS EN LA RECUPERACIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO*. Bogota D.C.: UNIVERSIDAD DE LA SALLE.
- IBAK. (2018). *IBAK SHOW*. Recuperado el 19 de 06 de 2019, de https://www.ibak.de/en/produkte/ibak_show/frontenddetail/product/profesional-system/
- Inkatonsa. (2017). *Características técnicas de las tuberías de hormigón*. Guayaquil: Inkatonsa.
- Interagua. (2008). *Rehabilitación de redes del sector Los Vergeles*. Guayaquil: Interagua.
- INTERAGUA. (2015). *Ajuste y Revisión del plan maestro de agua potable; alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial*. Guayaquil: Interagua .
- Interagua. (2018). *AJUSTE Y REVISIÓN DEL PLAN MAESTRO AGUA POTABLE; ALCANTARILLADO SANITARIO Y ALCANTARILLADO PLUVIAL*. Guayaquil: Tomo II.

- Interagua. (2018). *AJUSTE Y REVISION DEL PLAN MAESTRO AGUA POTABLE; ALCANTARILLADO SANITARIO y ALCANTARILLADO PLUVIAL*. Guayaquil: Tomo II.
- Lamprea, Y. (2014). *Manual de escogencias de metodologías para la inspección de sistema de alcantarillado sanitario*. Colombia: Universidad de los Andes.
- Lopez, J. (2009). *NUEVOS PROCEDIMIENTOS EN LA RECUPERACIÓN DE REDES DE ALCANTARILLADO* . Bogota: Universidad de la salle.
- Lopez, R. (1997). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* (Vol. 2). Bogota, Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieria.
- Ludwing Pfeiffer. (2019). *Informe de inspección en tramo B23.S03.04*. Guayaquil.
- Mendoza, R. (2013). *Excavaciones a cielo abierto*. Peru: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO. EXCAVACIONES A CIELO ABIERTO.
- Nippon Koei Lac. (2017). *Alternativas de tecnologías para rehabilitación sin zanjas*. Guayaquil, Ecuador.
- PACP . (2015). *Diagnósticos de tuberías*. NASSCO, Estados Unidos.
- Perrone, G. N. (2012). *MALECON 2000 EL INICIO DE LA REGENERACION URBANA EN GUAYAQUIL: UN ENFOQUE PROYECTUAL*. FLACSO, Maestria en desarrollo de la ciudad. Guayaquil: FLACSO.
- Plastigama. (2014). *Tubosistemas de alcantarillado*. Guayaquil: Plastigama.
- Robalino, L. (2015). *Estado del Arte en la Determinación de la Condición de Redes de Alcantarillado y su Necesidad o no de ser Sometidas a Renovación o Rehabilitación*. Universidad de los Andes, Departamento de Ingenieria Civil y Ambiental. Bogota: CIAGUA.
- Salán, L. A. (2012). *ESTUDIO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA EVACUACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL CASERÍO EL PLACER DE LA PARROQUIA RIO VERDE DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA*. Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- Salud, O. P. (2005). *OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN EL MEDIO RURAL* . Lima.
- Trapote, A. (2014). *INFRAESTRUCTURAS HIDRAULICO SANITARIAS I. Abastecimiento y Distribución de Agua*. España: Universidad de Licante.
- UNE-EN13508-2. (2003). *Condición de los sistemas de desagüe y de alcantarillado en el exterior de edificios*. España.

ANEXOS

Normativa de la entidad operativa		Sub-Gerencia de Acueductado Departamento de Inspección y Rehabilitación
		TABLA DE DAÑOS
		SUB-GRUPO
1.- Permeabilidad	1.1- En juntas de tubos	
	1.2- Paredes de tubos o estructuras	
	1.3- En Grietas	
	1.4- En conexión de colector con cámara o tirante	
2.- Obstrucción en el flujo	2.1- Endurecimiento de sedimentos	
	2.2- Incrustaciones: raíces u otros materiales	
	2.3- Bloqueos con materiales	
	2.4- Desprendimiento de anillos de neopreno	
	2.5- Bloqueo en conexión a colector	
3.- Desviaciones de Alineación	3.1- Desplazamientos de alineación (puntual)	
	3.2- Separación de juntas	
	3.3- Desviación axial Horizontal (Pandeo)	
	3.3- Desviación axial Vertical (Pandeo)	
4.- Abrasión Mecánica	4.1- Fricción Hidráulica	
	4.2- Por equipo de limpieza	
5.- Corrosión	5.1- Corrosión Interior	
	5.2- Corrosión Exterior	
6.- Deformaciones	6.1- Ovalidad (elíptica, sección corazón, rectangular, puntual)	
	6.2- Deformación puntual en junta	
	6.3- Deformación puntual en pared de tubo	
7.- Agrietamiento	7.1- Transversal (Circular)	
	7.2- Longitudinal	
	7.3- Parte de un punto	
	7.4- Formación de fragmentos	
	7.5- En zonas de juntas	
8.- Rotura	8.1- Desprendimiento de tubería consecuencia de grietas	
	8.2- En zona de juntas	
	8.3- Oquedad con material visible	
9.- Colapso		

Anexo 1: Tabla de clasificación de fallas propuesta por la normativa de la entidad operativa del saneamiento del agua de Guayaquil.

Fuente: (Interagua, 2008)

Normativa de la entidad operativa

SUBGERENCIA DE ALCANTARILLADO DEPARTAMENTO DE INSPECCIÓN Y REHABILITACIÓN RESUMEN DE DAÑOS PARA EVALUACIÓN FÍSICA DE COLECTORES

PROYECTO:		CUENCA:	
TRAMO:		SUB-CUENCA:	
LONGITUD DE TRAMO:	2,0 m	DIRECCIÓN:	
LONGITUD DE TUBO:	1,0 m	DIÁMETRO DE TUBERÍA:	
NUMERO DE TUBOS:	2	SECCIÓN DE TUBERÍA:	
FECHA DE INSPECCIÓN:		MATERIAL DEL TUBO:	
TIPO DE SISTEMA:	AGUAS SERVIDAS	NUMERO DE JUNTAS:	1

PORCENTAJE EN FUNCIÓN DE NUMERO DE JUNTAS Y TUBOS									
DESCRIPCIÓN DE DAÑOS	1		2		3		TOTAL		
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
PERMEABILIDAD									
En Juntas de Tubos							0		
Paredes de Tubos o Estructuras							0		
En Grietas							0		
DESVIACIONES DE ALINEACIÓN									
Desplazamiento de Alineación (Puntual)							0		
Separación de Juntas							0		
OBSTRUCCIÓN EN EL FLUJO									
Endurecimiento de Sedimentos							0		
Incrustaciones							0		
Bloqueos							0		
Desprendimiento de Anillos de Neopreno							0		
DEFORMACIONES									
Deformación (Sobre limites admisibles en PVC)							0		
AGRIETAMIENTO									
Transversal							0		
Parte de un punto							0		
Formación de Fragmentos							0		
En zona de Conexión (Junta)							0		
ROTURA									
Desprendimiento de Tubería consecuencia de grieta							0		
En zona de Conexión (Junta)							0		
COLAPSO									
							0		

PORCENTAJE EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD TOTAL DE TUBOS									
DESCRIPCIÓN DE DAÑOS	1		2		3		TOTAL		
	L(m)	%	L(m)	%	L(m)	%	L(m)	%	
ABRASIÓN MECÁNICA									
CORROSIÓN									
Corrosión Interna							0		
DESVIACIONES DE ALINEACIÓN									
Desviación Axial Horizontal (Pandeo)							0		
Desviación Axial Vertical (Pandeo)							0		
AGRIETAMIENTO									
Longitudinal							0		

Niveles de Severidad: 1 = Baja; 2 = Media; 3 = Fuerte.

OBSERVACIONES:

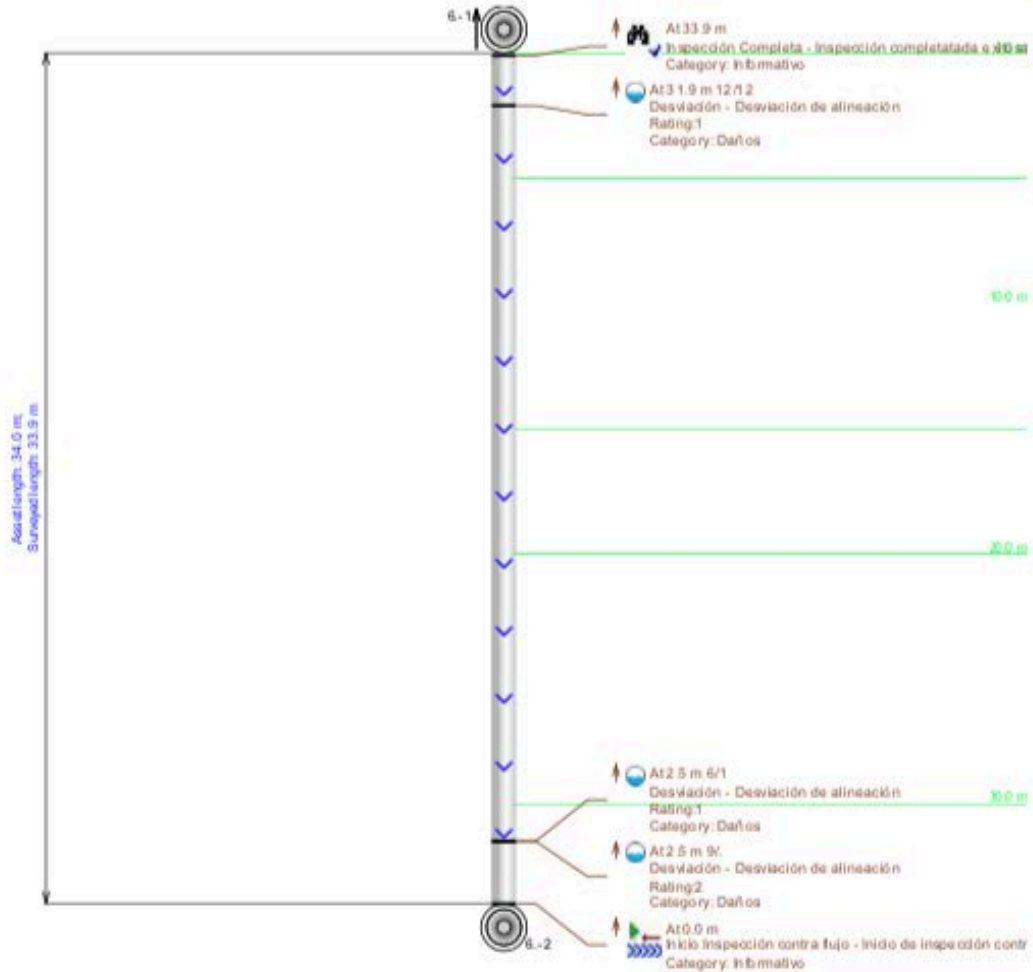
EVALUADO POR:

Anexo 2: Tabla de registro de daños propuesta por la normativa de la entidad operativa del saneamiento del agua de Guayaquil

Fuente: (Interagua, 2008)

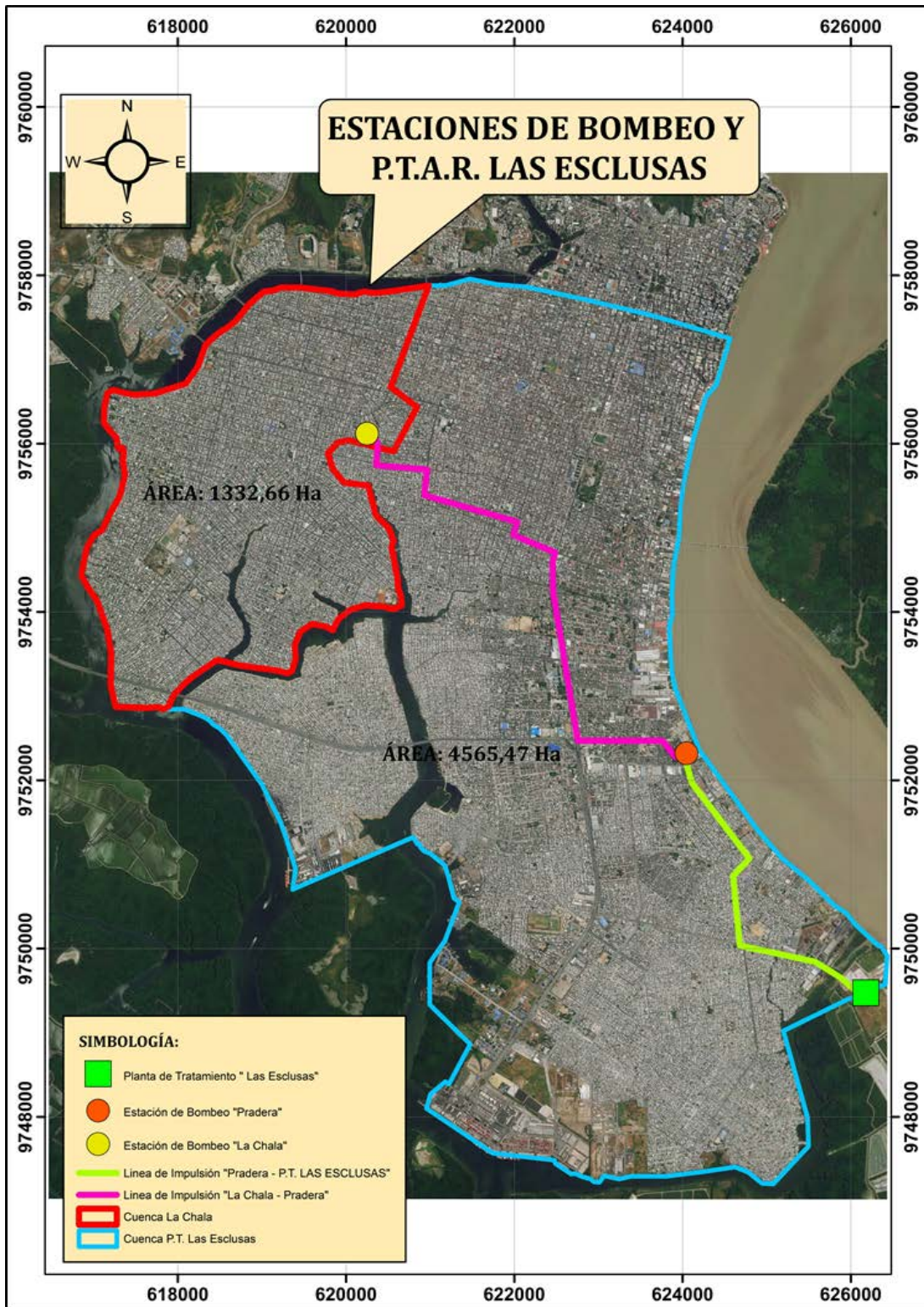
Inspección Televisiva con gráfico de Tubería

Nombre Proyecto: Vergeles Pto 6	ID Tramo: 6.-1	Ciudad: Guayaquil	Dirección: Punto 6 ECAPAG tramo 1
Fecha Inicio/Tiempo: 18/07/2008	Ancho de Tubo: 250	Largo de Tubo: 250	Clase Material: PVC
Servicio Inspección: Upstream	Longitud Inspeccionada: 33,9	Condición Clima: Soleado	Medialabel: AA. SS.
			Materia Circundante: Tierra
			Sección de Tubería: Circular



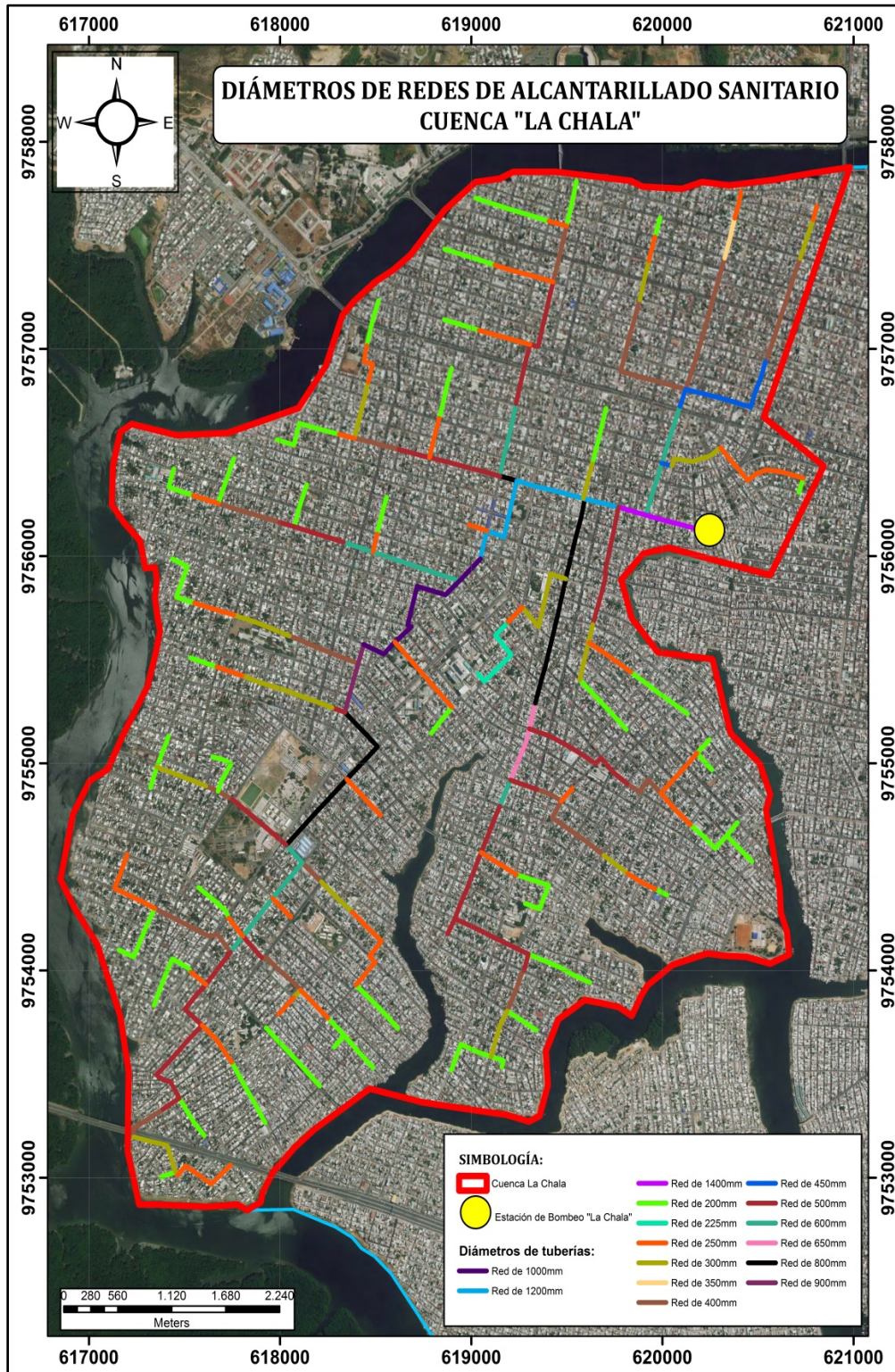
Anexo 3: Tabla de registro de daños propuesta por la normativa de la entidad operativa del saneamiento del agua de Guayaquil

Fuente: (Interagua, 2008)



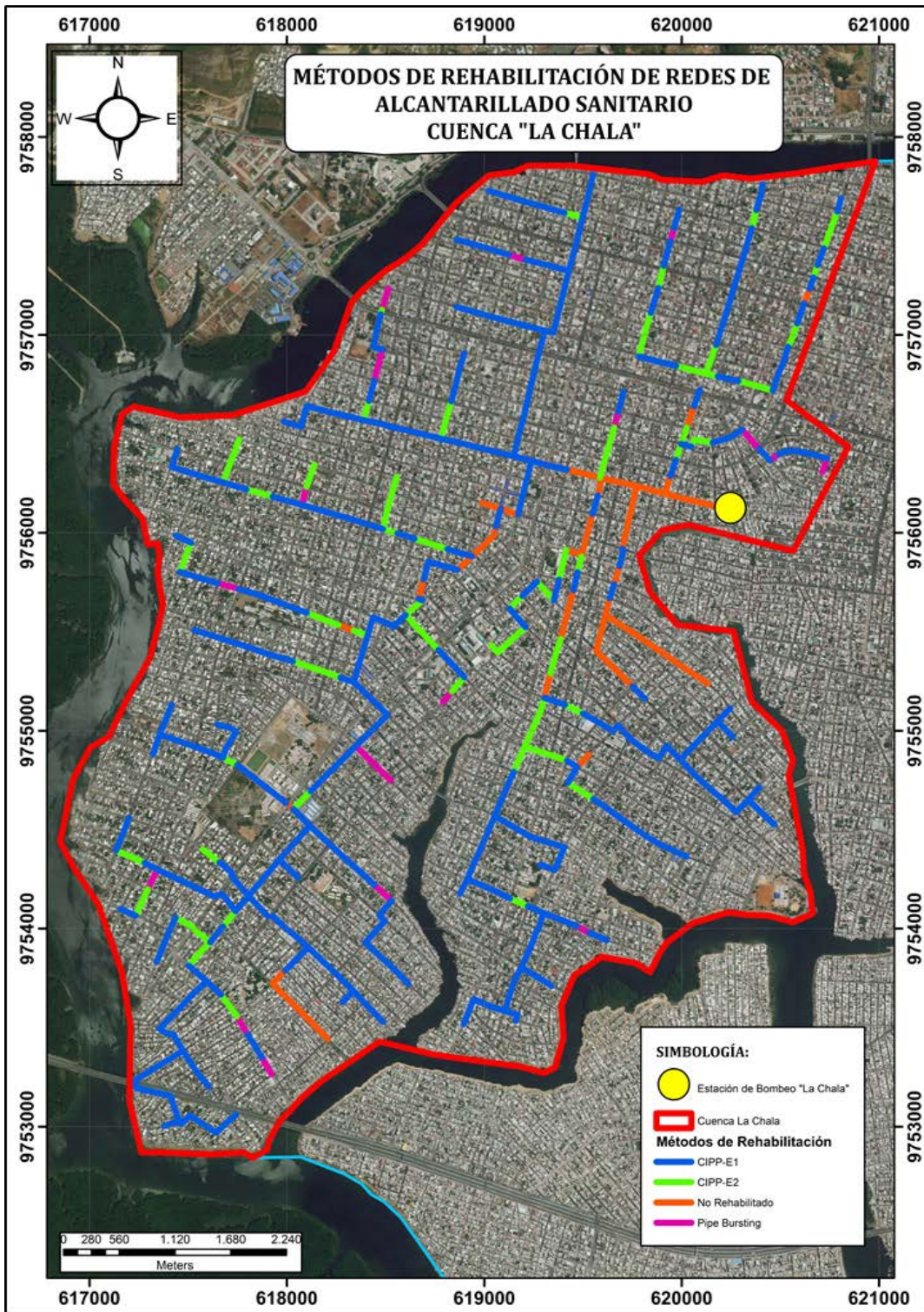
Anexo 4: Ubicación geográfica de estaciones de bombeo de la cuenca Las Esclusas

Fuente: (Emapag EP, 2017)



Anexo 5 : Trazado de colectores del sistema de alcantarillado sanitario de la cuenca La Chala

Fuente: (Emapag EP, 2017)



Anexo 6 : Tecnologías de rehabilitación sin zanja aplicadas a cada tramo de colectores.

Fuente: (Emapag EP, 2017)