

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO EN COLECTORES PRIMARIOS EN LIMA**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

LUIS ALBERTO BARREDA MURO

ASESOR

Ing. SABINO POMPEYO BASUALDO MONTES

LIMA – PERÚ

2023

© 2023, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Barreda Muro, Luis Alberto

lbarredamuro@gmail.com

953 797 851

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT.....	5
PRÓLOGO	6
LISTA DE CUADROS	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	11
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	12
1.1. GENERALIDADES	12
1.2. PROBLEMÁTICA	13
1.2.1. Problemática actual de los colectores primarios de Lima.....	13
1.2.2. Identificación de la problemática actual en la gestión de colectores primarios de Lima	14
1.2.3. Conclusiones	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	15
1.4. HIPÓTESIS	15
CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO	16
2.1. ANTECEDENTES	16
2.1.1. Respecto a planes de mantenimiento preventivo.....	16
2.1.2. Respecto a la evaluación de condición de tuberías	18
2.1.3. Desarrollos en Chile y Perú	18
2.1.4. Conclusiones	19
2.2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.2.1. Sistema de alcantarillado.....	20
2.2.2. Tipos de sistema de alcantarillado	20

2.2.3. Patrones de sistemas de alcantarillado	24
2.2.4. Componentes del sistema de alcantarillado	27
2.2.5. Materiales de las tuberías de alcantarillado	28
2.2.6. Métodos de mantenimiento	32
2.2.7. Métodos de inspección	33
2.2.8. Métodos de evaluación de condición.....	44
2.2.9. Métodos de limpieza de tuberías.....	50
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	56
2.3.1. Según la norma OS.070 redes de aguas residuales	56
2.3.2. Según la norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales	57
2.3.3. Según el procedimiento de mantenimiento del sistema de colectores primarios elaborado por Sedapal.....	58
CAPÍTULO III DIAGNÓSTICO.....	60
3.1. SISTEMA DE REDES DE RECOLECCIÓN PRIMARIA.....	60
3.1.1. Jurisdicción	60
3.1.2. Características del sistema de alcantarillado primario de Lima.....	61
3.1.3. Principales colectores de la red de alcantarillado primario de Lima.....	64
3.1.4. Mantenimiento preventivo del sistema de recolección primaria	74
3.2. PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LOS COLECTORES PRIMARIOS EN LIMA	80
3.2.1. Problemas de descarga - denuncias ambientales.....	80
3.2.2. Problemas de aniegos por falta de capacidad.....	81
3.2.3. Problemas de colapsos por antigüedad	83
CAPÍTULO IV PROPUESTA	84
4.1. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE COLECTORES PRIMARIOS.....	84
4.1.1. Metodología de Inspección Televisiva Estandarizada (CCTV).....	84

4.1.2. Metodología de priorización.....	87
CAPÍTULO V APLICACIÓN	95
5.1. SELECCIÓN DEL LUGAR DE APLICACIÓN.....	95
5.2. DIAGNÓSTICO DEL LUGAR DE APLICACIÓN	95
5.2.1. Jurisdicción	95
5.2.2. Características del Sistema de Alcantarillado Primario de SJL.....	96
5.2.3. Colectores de la red de recolección primaria de SJL	98
5.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN TELEVISIVA (CCTV).....	101
5.3.1. Elección de la Metodología base:.....	101
5.3.2. Adaptación de la metodología base:	101
5.3.3. Validación de defectos no aplicables a nuestra realidad:.....	102
5.3.4. Metodología final adaptada	102
5.3.5. Resultados de la operación piloto.....	103
5.4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN.....	106
5.4.1. Identificación y selección de variables.....	106
5.4.2. Recopilación de información de las variables seleccionadas.....	106
5.4.3. Estimación de pesos de las variables.....	108
5.4.4. Cálculo de los subindicadores, del Índice de reposición y resultados...	109
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXOS	115

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es desarrollar una propuesta de mantenimiento preventivo en colectores primarios. Basándose en la literatura, se propone un desarrollo en cuatro etapas: el diagnóstico de la red, la propuesta de una metodología de evaluación televisiva, la propuesta de una metodología de priorización y una aplicación práctica. Esta tesis busca presentar una guía de aplicación que pueda servir a pequeñas EPS que busquen implementar un mantenimiento preventivo. Esta tesis cubre una laguna en la literatura nacional, pues la metodología propuesta cubre tanto el algoritmo de priorización como el proceso de diagnóstico de la red. La tesis concluye con las principales lecciones aprendidas de la implementación de la metodología en Sedapal y propone pistas de mejora y recomendaciones de implementación.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to develop a proposal for preventive maintenance in primary collectors. Based on the literature, a development in four stages is proposed: the diagnosis of the network, the proposal of a CCTV methodology, the proposal of a prioritization methodology and a practical application. This thesis seeks to present an application guide that can serve small EPS that seek to implement preventive maintenance. This thesis fills a gap in the national literature, since the proposed methodology covers both the prioritization algorithm and the network diagnosis process. The thesis concludes with the main lessons learned from the implementation of the methodology in Sedapal and proposes improvement paths and implementation recommendations.

PRÓLOGO

La presente tesis consiste en proponer una propuesta de mantenimiento preventivo de colectores primarios en Lima y fue desarrollada utilizando data real proporcionada por el equipo de Recolección Primaria (ERPrim) de Sedapal en Lima. Esta tesis ha sido retroalimentada y ha tenido múltiples modificaciones gracias a los comentarios del personal operativo del equipo de recolección primaria (operarios, técnicos e ingenieros especialistas) y fue redactada con el objetivo de presentar una propuesta que sea operacional y que más allá del rigor académico, fuera fácilmente replicable en otras EPS. Es por lo que un énfasis importante se le ha dado a la presentación del caso práctico de aplicación y la metodología de evaluación y priorización. La propuesta presentada en esta tesis fue aplicada en el distrito de San Juan de Lurigancho. Asimismo, se observó que los resultados de la presente tesis confirmaron con éxito el lamentable suceso del aniego del colector Canto Grande en San Juan de Lurigancho en 2019.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 Ventajas y desventajas de los sistemas combinados	21
Cuadro 2.2 Ventajas y desventajas de los sistemas separados	22
Cuadro 2.3 Ventajas y desventajas de los sistemas parcialmente separados ...	23
Cuadro 2.4 Ventajas y desventajas de las tuberías de asbesto cemento.....	29
Cuadro 2.5 Ventajas y desventajas de las tuberías de cemento.	30
Cuadro 2.6 Limitaciones de los métodos de inspección	39
Cuadro 2.7 Limitaciones de los métodos de Limpieza	55
Cuadro 2.8 Efectividad según el problema	56
Cuadro 3.1 Áreas de drenaje de los colectores primarios de Lima.....	64
Cuadro 4.1 Propuesta de cuadro para la adaptación de la metodología	86
Cuadro 4.2 Propuesta de cuadro para la metodología final a usar.....	86
Cuadro 4.3 Propuesta modelo de guía de anotación.....	86
Cuadro 4.4 Propuesta de tabla de resultados.....	87
Cuadro 4.5 Matriz de riesgo	88
Cuadro 4.6 Identificación y selección de variables	89
Cuadro 4.7 Subindicador P1	90
Cuadro 4.8 Subindicador P2	91
Cuadro 4.9 Subindicador C1	92
Cuadro 4.10 Subindicador C2	92
Cuadro 4.11 Subindicador C3	93
Cuadro 4.12 Subindicador C4	93
Cuadro 4.13 Análisis de riesgo según el índice de reposición.....	94
Cuadro 5.1 Colectores con estado “malo”	98
Cuadro 5.2 Colectores con estado “muy malo”	98
Cuadro 5.3 Colectores de SJL ordenados según su longitud	99
Cuadro 5.4 Cuadro de identificación y selección de variables.....	106
Cuadro 5.5 Atributos de las variables seleccionadas.....	106
Cuadro 5.6 Pesos de probabilidad	108
Cuadro 5.7 Pesos de consecuencia.....	109
Cuadro 5.8 Tabla de resultados de la priorización.....	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ejemplo de ficha de catastro.....	16
Figura 2.2 Criterios de selección del método de limpieza.....	17
Figura 2.3 Red Perpendicular	25
Figura 2.4 Red interceptora.....	25
Figura 2.5 Red radial.....	26
Figura 2.6 Red abanico.....	27
Figura 2.7 Red zonal.....	27
Figura 2.8 Equipo de mando del carro móvil.....	34
Figura 2.9 Detalle del carro móvil.....	35
Figura 2.10 Detalle de la cámara panorámica	35
Figura 2.11 Captura del sistema CCTV de una fractura en tubería	37
Figura 2.12 Gráfico de severidad según ubicación del defecto en la tubería	37
Figura 2.13 Prueba de humo.....	40
Figura 2.14 Prueba de colorante.....	40
Figura 2.15 Martillo de impulso y acelerómetro	41
Figura 2.16 Inspecciones ultrasónicas para fracturas.....	42
Figura 2.17 “ <i>Infrared Thermography Inspection</i> ”.....	42
Figura 2.18 Ubicación de tuberías usando radar de penetración	43
Figura 2.19 Una imagen 360° SSET	44
Figura 2.20 Grieta Múltiple	46
Figura 2.21 Hueco (H).....	47
Figura 2.22 Colapso de Tubería (XP)	48
Figura 2.23 Acero de refuerzo corroído (SRC)	49
Figura 2.24 Limpieza de los tramos iniciales de las tuberías.....	50
Figura 2.25 Limpieza manual de las alcantarillas	51
Figura 2.26 Ventilación de los gases venenoso.....	51
Figura 2.27 Camión Hidrojet	53
Figura 2.28 Máquina de balde.....	54
Figura 2.29 Acción de los agentes químicos.....	55
Figura 3.1 Mapa de las redes de recolección primarias en Lima.....	60
Figura 3.2 Distribución de conexiones de alcantarillado por categoría.....	61
Figura 3.3 Incidencia en el metrado por tipo de material	62
Figura 3.4 Incidencia en el metrado por según el diámetro	62

Figura 3.5 Antigüedad de los colectores primarios en Lima	63
Figura 3.6 Estado de los colectores primarios en Lima	63
Figura 3.7 Colector Argentina y sus respectivas subáreas de drenaje	65
Figura 3.8 Colector Centenario y sus respectivas subáreas de drenaje.....	65
Figura 3.9 Colector Chosica y sus respectivas subáreas de drenaje	66
Figura 3.10 Colector Circunvalación y sus respectivas subáreas de drenaje.....	66
Figura 3.11 Colector N°6 y sus respectivas subáreas de drenaje.....	67
Figura 3.12 Colector Comas Chillón y sus respectivas subáreas de drenaje	67
Figura 3.13 Colector Huaycán y sus respectivas subáreas de drenaje	68
Figura 3.14 Interceptor Norte y sus respectivas subáreas de drenaje	69
Figura 3.15 Colector Jerusalén y sus respectivas subáreas de drenaje.....	69
Figura 3.16 Colector Manchay y sus respectivas subáreas de drenaje.....	70
Figura 3.17 Morales Duárez y sus respectivas subáreas de drenaje	70
Figura 3.18 Colector Piedras Gordas y sus respectivas subáreas de drenaje ...	71
Figura 3.19 Colector Puente Piedra y sus respectivas subáreas de drenaje.....	71
Figura 3.20 Colector San Juan y sus respectivas subáreas de drenaje	72
Figura 3.21 Colector Surco y sus respectivas subáreas de drenaje	72
Figura 3.22 Colector Ventanilla y sus respectivas subáreas de drenaje.....	73
Figura 3.23 Colector Villa el Salvador y sus respectivas subáreas de drenaje...	73
Figura 3.24 Colector Villa María y sus respectivas subáreas de drenaje	74
Figura 3.25 Operario realizando inspección visual	75
Figura 3.26 Operarios instalando el carro móvil.....	77
Figura 3.27 Máquina de balde en operación.....	79
Figura 3.28 Máquinas Hidrojet durante un aniego	80
Figura 3.29 Problemas de descarga del colector Centenario	80
Figura 3.30 Problemas de descarga del emisor Venecia.....	81
Figura 3.31 Máquina Hidro-Jet bombeando aguas residuales en Chorrillos	81
Figura 3.32 Máquina Hidro-Jet bombeando aguas residuales en el Rímac	82
Figura 3.33 Máquina Hidro-Jet bombeando aguas residuales en el Rímac	82
Figura 3.34 Aniego en la av. Los Chancas	82
Figura 5.1 Ubicación de SJL en Lima Metropolitana.....	96
Figura 5.2 Incidencia en el metrado según tipo de material.....	96
Figura 5.3 Incidencia en el metrado por según el diámetro	97
Figura 5.4 Antigüedad de los colectores primarios en Lima	97
Figura 5.5 Colectores de SJL según su longitud expresados en porcentaje	99

Figura 5.6 Portada del manual de inspección de tuberías	101
Figura 5.7 Ejemplo del manual de evaluación	103
Figura 5.8 Técnico comenzando la evaluación del colector en campo.....	103
Figura 5.9 Ejemplo de aplicativo desarrollado en Excel.....	104
Figura 5.10 Vista de la metodología adaptada en Excel.....	104
Figura 5.11 Vista del panel de evaluación en Excel.....	105
Figura 5.12 Lista de resultados de la evaluación de los colectores	105

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AC: Asbesto Cemento

ACER: Acero

ALB: Albañal, hace referencia a las antiguas alcantarillas de ladrillo ubicadas principalmente en el centro histórico de Lima.

BMP: Buenas Prácticas de Gestión

BN: Red Bayesiana

CCTV: Circuito Cerrado de Televisión o Inspecciones Televisivas

Colectores primarios: Tuberías de alcantarillado de más de 350mm

CR: Concreto Reforzado

CSN: Concreto Simple Normalizado

EBAR: Estación de Bombeo de Aguas Residuales

EPS: Empresa Prestadora de Servicio

ERPrim: Equipo de Recolección Primaria

ESVAL: Empresa Sanitaria de Valparaíso Aconcagua y Litoral

GGAR: Gerencia de Gestión de Aguas Residuales

HD: Hierro Dúctil

HF: Hierro Fundido

IR: Índice de Reposición de un tramo

Km: Kilómetros

mm: Milímetros

NASSCO: *National Association of Sewer Service Companies*

PACP: *Pipeline Assessment Certification Program*

PEAD o HDPE: Polietileno de Alta Densidad

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

PV: Refuerzo de fibra de vidrio

PVC: Policloruro de Vinilo

SCADA: *Supervisory Control and Data Acquisition*

SCAP: Alianza del Sur de California de Obras de Saneamiento del Sector Público

Sedapal: Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima

SIG: Sistema de Información Geográfica

SRM: *Sewerage Rehabilitation Manual*

WRc: *Water Research Center*

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

En los últimos años se han venido incorporado nuevas áreas urbanas en el país, especialmente en la ciudad de Lima Metropolitana debido al aumento de la densificación de la ciudad en distritos consolidados como Miraflores, San Borja, La Molina, etc., lo que implica para el sector saneamiento una mayor demanda por servicios, más consumo de agua potable y un aumento de las descargas de aguas residuales en los colectores primarios, por lo que mucho de ellos deberán ser renovados por falta de capacidad hidráulica a pesar de que aún no cumplen con su periodo de vida útil (Sedapal, 2014).

Actualmente en la ciudad de Lima Metropolitana, más de 40 colectores primarios presentan problemas estructurales por lo que se requieren múltiples proyectos de rehabilitación. Para gestionar un sistema de alcantarillado se debe realizar un mantenimiento preventivo y correctivo de los colectores basado en un diagnóstico del sistema. De los 825 km que componen la red de colectores primarios en Lima, Sedapal inspecciona anualmente 300 km (37%) de forma visual y 5 km (0.6%) mediante inspecciones televisivas; y sobre la base de sus resultados programa las actividades preventivas y correctivas respectivas.

Sedapal reporta que durante el periodo 1997-2013 se ha disminuido la ocurrencia de atoros y aniegos en la red primaria de recolección gracias a las actividades de inspección, la detección oportuna de los problemas y las actividades de mantenimiento preventivo (Sedapal, 2014).

De lo anterior, se justifica la necesidad de proponer un adecuado plan de mantenimiento preventivo de colectores primarios, basado en un correcto diagnóstico, que permita priorizar los colectores y programar las actividades preventivas a realizarse, y de esa forma reducir la ocurrencia de atoros y aniegos en la red de alcantarillado.

1.2. PROBLEMÁTICA

1.2.1. Problemática actual de los colectores primarios de Lima

Dado que los caudales que fluyen a través de los colectores primarios son significativos, una emisión de aguas residuales al mar o un aniego de aguas residuales en las calles (desborde de las mismas debido a una ruptura u obstrucción de la tubería) representaría un elevado peligro para la salud pública.

En efecto, según el título XIII del Código Penal:

“El que, infringiendo leyes, reglamentos o límites máximos permisibles, provoque o realice descargas, emisiones, emisiones de gases tóxicos, emisiones de ruidos, filtraciones, vertimientos o radiaciones contaminantes en la atmósfera, el suelo, el subsuelo, las aguas terrestres, marítimas o subterráneas, que cause o pueda causar perjuicio, alteración o daño grave al ambiente o sus componentes, la calidad ambiental o la salud ambiental, según la calificación reglamentaria de la autoridad ambiental, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de cuatro años ni mayor de seis años y con cien a seiscientos días-multa. Si el agente actuó por culpa, la pena será privativa de libertad no mayor de tres años o prestación de servicios comunitarios de cuarenta a ochenta jornadas” (Presidencia de la República del Perú, 1991, Artículo 304).

Lo anterior confirma la importancia que se tiene para garantizar la seguridad y fiabilidad con la que se transportan las aguas residuales y las consecuencias para la salud pública.

Los principales problemas que existen en la red de recolección primaria de Lima son los siguientes (Sedapal, 2014):

1.2.1.1. Problemas de descarga (denuncias ambientales)

Son aquellos colectores que descargan las aguas residuales directamente al mar.

1.2.1.2. *Problemas de aniegos por falta de capacidad hidráulica*

Son aquellos colectores que sus dimensiones no le permiten transportar todo el caudal requerido, produciendo aniegos o aquellos colectores nuevos o antiguos que trabajan por encima de su capacidad de diseño.

1.2.1.3. *Problemas de colapso por antigüedad*

Aquellos colectores que ya cumplieron su periodo de diseño y ya han presentado colapsos.

1.2.2. Identificación de la problemática actual en la gestión de colectores primarios de Lima

Según Sedapal (2017) se han identificado las siguientes acciones como las más importantes a fin de garantizar una mejor gestión y aseguramiento de las redes de colectores primarios:

- Mantenimiento preventivo
- Evaluación estructural (inspección visual, televisiva)
- Automatización y sistema SCADA
- Evaluación hidráulica (modelamiento hidráulico – medición de caudales)
- Catastro técnico.

Sin embargo, al 2018 el mantenimiento preventivo no se desarrolló de manera planificada debido a la falta de una metodología de priorización; asimismo, la evaluación estructural mediante inspecciones televisivas de los colectores (CCTV) no se encuentra estandarizada ni adaptada a la realidad peruana.

1.2.3. Conclusiones

1.2.3.1. *Problema principal*

El riesgo de aniego producto de la falta de capacidad hidráulica y/o colapso de los colectores primarios.

1.2.3.2. Problemas secundarios

- Falta de un diagnóstico actual de la red de recolección primaria.
- Falta de una metodología estandarizada de evaluación de condición interna (estructural y de servicio) en los colectores mediante las inspecciones televisivas.
- Falta de una metodología de priorización de colectores que permita jerarquizarlos para programar su mantenimiento y/o rehabilitación.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar una propuesta de mantenimiento preventivo en colectores primarios para la ciudad de Lima.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual en el que se encuentran los colectores primarios a estudiar.
- Proponer una metodología de evaluación estructural y operacional de los colectores mediante el sistema de inspección televisiva (CCTV).
- Proponer una metodología de priorización de colectores.
- Aplicar el plan de mantenimiento preventivo en un distrito de Lima.

1.4. HIPÓTESIS

Aplicando la propuesta de plan de mantenimiento preventivo de colectores primarios se logrará identificar, priorizar y programar el mantenimiento de los colectores primarios y reducir los riesgos de aniegos y/o colapsos.

CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

En la presente sección se muestran los principales aportes existentes referidos al tema en investigación, algunos de ellos serán utilizados de base para el desarrollo de la tesis, otros para mostrar los avances y enfoques actuales. Se ha evaluado que la información en español y más aún en documentos peruanos es muy escasa, es por ello, que se ha tenido que buscar tanto para esta sección como las siguientes el respaldo de información proveniente principalmente de los Estados Unidos de América.

2.1.1. Respecto a planes de mantenimiento preventivo

Lorenzetti (2012) plantea un programa de mantenimiento preventivo de tuberías de alcantarillado, el cual se basa principalmente en la edad de la tubería y su ubicación como los principales criterios, el método que propone es el siguiente:

- a) Catastro de tuberías: Se realiza un catastro de tuberías con el objetivo de conocer las características de los componentes que administra la EPS, en dicho catastro debe haber información como diámetro, ubicación, longitud del tubo, antigüedad, situación interna del tubo entre otros.

#	Ficha de catastro	Fecha:	
Ubicacion:			
Diametro:			
Material:			
Antigüedad:			
Metrado:			
Estado:			
Observaciones:			

Figura 2.1 Ejemplo de ficha de catastro
(Fuente: Lorenzetti, 2012)

- b) Clasificación de tuberías: Se clasifica la tubería según tres parámetros, condición de la cámara, continuidad del atoro del mismo tramo y antigüedad del tubo.

- c) Selección del sistema de mantenimiento: Para ello se considera la criticidad de la tubería y su antigüedad.

Condicion	Sistema de Mantenimiento
Tubería de más de 20 años de antigüedad	Sistema mecánico de arrastre con máquina de balde
Tubería de menos de 20 años de antigüedad	Sistema hidráulico con maquina Hidrojet

Figura 2.2 Criterios de selección del método de limpieza
(Fuente: Lorenzetti, 2012)

- d) División por zonas: Se divide en zonas, y se totaliza los diámetros por zonas.
- e) Selección de tramos a limpiar: Se determina si la limpieza a efectuar será una actividad interna o externalizada, y se establece frecuencias de 3 a 5 años para las tuberías.
- f) Inspección televisiva: Se realiza como actividad póstuma a la limpieza de la tubería para reportar el estado final de la tubería.
- g) Se actualiza el catastro y se programa la próxima limpieza.

En la ciudad de Placentia ubicado en el estado de California, Estados Unidos de América, la SCAP plantea un Programa de Mantenimiento Preventivo para tuberías de alcantarillado (2009), dicho programa de mantenimiento propone las siguientes etapas:

- a) Requerimientos de limpieza: Dado que la ciudad utiliza contratistas para la limpieza, primero se debe establecer un formato estándar que debe ser cumplido por los contratistas, dicho formato debe cumplir con los requisitos mínimos de limpieza de la ciudad.
- b) Puntos calientes: Identificación de puntos que requieren mayor atención, son áreas conocidas por producir constantes aniegos, son usualmente limpiados trimestralmente o según requerimiento.
- c) Control de grasas: Requiere de un programa de control de grasas, siendo la concientización de los ciudadanos una acción clave.
- d) Control de raíces: A pesar de que la ciudad de Placentia no tiene problemas en este aspecto, se desarrolló un programa de control de raíces basado en métodos químicos de limpieza y en las Buenas Prácticas de Gestión (BMPs).

- e) Plan de reducción de infiltraciones/afluencia: Identifica y elimina las fuentes de infiltración y afluencias dentro de la red de alcantarillado de la ciudad de Placentia.
- f) Programas piloto: La ciudad está experimentando con químicos y enzimas para prevenir problemas de grasas. El experimento ha demostrado ser exitoso, pero aún está en desarrollo.

2.1.2. Respecto a la evaluación de condición de tuberías

Javad, Tabesh y Roozbahani (2017) plantearon un modelo de evaluación para priorizar que tuberías deben ser inspeccionadas utilizando un enfoque probabilístico a través de Redes Bayesianas (BNs). El estudio concluyó que la mayoría de las redes de alcantarillado tienen moderado riesgo (62%) pero el 12% se encontraba en estado crítico, el estudio se realizó en Teherán.

Sousa et al. (2009) propusieron un método de evaluación de la condición de tuberías de alcantarillado, en el cual se ponderaba ciertos índices, se aplicó a una municipalidad de Portugal, se omitieron varios parámetros porque fue diseñado para un caso de falta de información.

Khan, Zayed y Moselhi (2010) plantearon una red neuronal artificial que evalúa ciertos parámetros con el objetivo de cuantificar el desempeño estructural de la tubería de alcantarillado, este estudio utilizó datos de una municipalidad en Quebec. Este estudio permitió confirmar la evaluación previa realizada con CCTV.

2.1.3. Desarrollos en Chile y Perú

En Chile, la EPS ESVAL viene ejecutando desde el 2015 un plan de mantenimiento de limpieza de tuberías de 460 km de alcantarillado, dicho plan representa una inversión anual de 263 millones de dólares.

Anci y Liza (2018) plantearon que la posesión de un catastro de redes facilita la elaboración del plan y propone 5 etapas de para organizar el plan de mantenimiento preventivo:

- a) Inventario técnico e identificación: Identificar individualmente los componentes de la red, una notación alfanumérica podría ser bastante útil.
- b) Clasificación de las instalaciones en grupos: Se clasifica por sectores, distritos, luego por importancia de la tubería y finalmente relación de criticidad.
- c) Normas de mantenimiento preventivo: Se deben hacer procedimientos que describan claramente frecuencias, personal, etc. Y consultar los manuales de los fabricantes.
- d) Elaboración del plan de mantenimiento preventivo: Se elaboran para un determinado tiempo, generalmente anuales.
- e) Seguimiento y evaluación: Se ajusta todo el procedimiento según los resultados obtenidos, se proponen mejoras en todo aspecto.

2.1.4. Conclusiones

- a) Las pautas tomadas en la primera tesis citada (Lorenzetti, 2009), no han sido probadas y no presenta bibliografía sustentando sus criterios.
- b) El plan de mantenimiento preventivo de la ciudad de Placentia presenta conceptos que son totalmente desconocidos en el ámbito local, conceptos tales como el control de grasas, raíces e infiltraciones no son aplicados o conocidos en Perú. Sin embargo, su aplicación a la realidad local implicaría un estudio del mismo.
- c) Se observa que en los métodos de evaluación de condición presentados, todos son muy nuevos y aún están en fase de desarrollo y prueba, sin contar la profunda base matemática que necesitan.
- d) Chile ha venido desarrollando un programa de mantenimiento, el cual no está disponible, en Perú los Planes de Operación y Mantenimiento incluyen una pequeña sección al mantenimiento preventivo de tuberías, siendo esta sección de carácter descriptivo.
- e) Cada bibliografía muestra pasos y criterios diferentes, pero se han identificado ciertos criterios comunes.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Sistema de alcantarillado

Para la disposición de los residuos de excretas generados por el hombre en una localidad, ciudad, etc. Es necesario un sistema de recolección, transporte, tratamiento y disposición de dichos residuos. Para lograr esto, se debe satisfacer las siguientes condiciones:

- a) Los residuos no deben contaminar los recursos hídricos, ya sean superficiales o subterráneos, o cuerpos de agua que son usados para bañarse o con propósitos recreacionales.
- b) Los residuos no tratados no deben estar expuestas para evitar el contacto con seres humanos o animales. No debe provocar olores desagradables ni convertir su ubicación en un foco infeccioso.
- c) No debe causar daño a la salud pública ni afectar el medio ambiente.

El sistema de alcantarillado es el encargado de recoger dichos residuos generados en las viviendas y transportarlos a un punto común donde pueden ser tratados según las necesidades después de su disposición.

Antiguamente, los residuos de excretas generados en las viviendas eran recolectados mediante silos y luego transportados a otro lugar para su disposición. Este era un método “seco” y dado que transportar la materia fecal a través de estos medios no era un método higiénico para la disposición de los mismos. Ahora, la recolección y transporte de dichos residuos es hecha mediante un método “húmedo”, donde los residuos son transportados en un conducto cerrado usando agua como medio (Ghangrekar, 2016).

2.2.2. Tipos de sistema de alcantarillado

Los sistemas de alcantarillado pueden ser:

2.2.2.1. Sistemas combinados

En los sistemas combinados al igual que con los residuos domésticos las aguas pluviales resultantes de las lluvias son transportadas a través del mismo conducto. En países donde llueve muy poco, habrá problemas con la velocidad de autolimpieza durante las temporadas secas puesto que los caudales transportados serán mucho menores de los diseñados.

Cuadro 2.1 Ventajas y desventajas de los sistemas combinados
 (Fuente: Elaboración propia con datos de NPTEL)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • En un área donde las precipitaciones se presentan a lo largo de todo el año, no hay problemas de la limpieza de las tuberías, ya que la velocidad de auto limpieza se desarrollará debido al aporte de las aguas de lluvias. • Solo se necesita de una red de tuberías de alcantarillado por vivienda. • En áreas metropolitanas con mucha población es más fácil instalar una red que dos redes como se requiere en sistemas separados 	<ul style="list-style-type: none"> • No es adecuado para áreas con pequeñas precipitaciones al año, porque el caudal de clima seco será pequeño y por ende la velocidad de autolimpieza de la tubería podría no alcanzarse, resultando en sedimentación. • Se requieren mayores caudales a tratar en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) antes de su disposición, resultando en un mayor costo de operación. • Cuando se requiere bombeo este sistema se vuelve antieconómico • Durante el periodo de avenidas el sistema de alcantarillado puede colapsar

2.2.2.2. Sistemas separados

Se usan diferentes conductos, uno que transporta las aguas residuales y otro transportando las aguas pluviales. Las aguas pluviales pueden ser descargadas directamente en un cuerpo de agua dado que no son tan dañinas y usualmente

no requieren tratamiento. Por otro lado, las aguas residuales recogidas de la ciudad son tratadas antes de que se descarguen en un cuerpo de agua o sean usadas para irrigación. Los sistemas separados son ventajosos y más económicos para grandes ciudades.

Cuadro 2.2 Ventajas y desventajas de los sistemas separados
 (Fuente: Elaboración propia con datos de NPTEL)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Ya que el flujo está en diferentes tuberías, la cantidad a ser tratada en las PTAR es pequeña, resultando en una economía en el costo de operación. • El sistema puede ser menos costoso ya que solo aguas residuales serán transportadas en las tuberías de alcantarillado y el agua de lluvia puede ser recogida y transportada a través de drenes abiertos. • Cuando es necesario bombeo durante la disposición, el sistema es más económico dado al menor flujo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las velocidades de autolimpieza pueden no ser desarrolladas en ciertos lugares en la tubería y por lo tanto se puede requerir limpieza • Este sistema requiere de la instalación de dos tipos de tubería, lo que puede ser dificultoso en áreas congestionadas. • Este sistema requerirá mantenimiento de dos tipos de tubería y producto de ese mantenimiento el costo será mayor.

2.2.2.3. Sistemas parcialmente separados

En este sistema parte de las aguas pluviales, especialmente las recolectadas de los techos de los edificios, son admitidas en el mismo canal que las aguas residuales de las viviendas. El agua de lluvia de otros lugares es recogida usando conductos de agua diferente.

Cuadro 2.3 Ventajas y desventajas de los sistemas parcialmente separados
(Fuente: Elaboración propia con datos de NPTEL)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Se requieren tuberías de tamaño razonable y económico.• El trabajo de plomería en las casas se reduce• La limpieza de la tubería suele no ser necesaria debido dada que solo una pequeña cantidad de agua de lluvia entra a la tubería sanitaria	<ul style="list-style-type: none">• Hay mayor costo de bombeo respecto a los sistemas separados• En climas secos no se puede desarrollar la velocidad de auto limpiado

2.2.2.4. Consideraciones para elegir el sistema de alcantarillado

En base a lo anterior, los siguientes puntos deben ser considerados en la elección del sistema de alcantarillado de una ciudad.

- a) Los sistemas separados requieren de la instalación de dos redes de tuberías mientras que los sistemas combinados requieren solo un conducto de mayor tamaño.
- b) Instalar dos redes de tuberías separadas puede ser difícil en calles de alto tráfico.
- c) En sistemas combinados las tuberías son propensas a problemas de sedimentación durante los periodos de estiaje. Por lo tanto, deben ser instalados en pendientes más pronunciadas, las cuales además pueden requerir un mayor número de estaciones de bombeo, particularmente en terrenos planos, lo que puede hacer el sistema costoso.
- d) Grandes cantidades de aguas residuales deben ser tratadas antes de que se descarguen en sistemas combinados. Por lo tanto, se necesita mayor capacidad en las PTAR.
- e) En sistemas separados, solo las aguas residuales son tratadas antes de su descarga en un cuerpo de agua o para su uso en irrigación. No se necesita tratamiento para las aguas de lluvias recolectadas antes de su descarga en un cuerpo de agua.

- f) El bombeo solo se requiere para las aguas residuales en el caso de sistemas separados. El bombeo se puede eliminar para el caso de líneas de agua de lluvia, ya que dichas líneas no son muy profundas y usualmente siguen el perfil natural del terreno.
- g) Se requiere de una mayor capacidad de bombeo en sistemas combinados para manejar de forma segura el flujo que es generado durante periodos de avenidas.

2.2.3. Patrones de sistemas de alcantarillado

La red de tuberías consiste en las conexiones domiciliarias descargando en las tuberías laterales. Las descargas laterales de aguas residuales en las tuberías secundarias o sub laterales y estas en las tuberías primarias o principales. Las tuberías primarias transportan las aguas residuales al punto de reunión donde se les da el adecuado tratamiento para su disposición final. Los patrones para los sistemas de alcantarillado dependen de:

- a) Las características topográficas e hidrográficas del área.
- b) La ubicación, métodos de tratamiento y disposición.
- c) Tipo de sistema de alcantarillado usado.
- d) Extensión del área de servicio.

Los siguientes patrones pueden ser adaptados para diversos sistemas de alcantarillado según su idoneidad (NPTEL, 2012).

2.2.3.1. *Redes perpendiculares*

- Es adecuado para sistemas separados y parcialmente separados para la tubería que transporta las aguas de lluvias.
- Este patrón no es adecuado para sistemas combinados, porque se necesita una PTAR en muchos lugares, de otra forma las aguas residuales descargan en el cuerpo de agua y la contaminan.

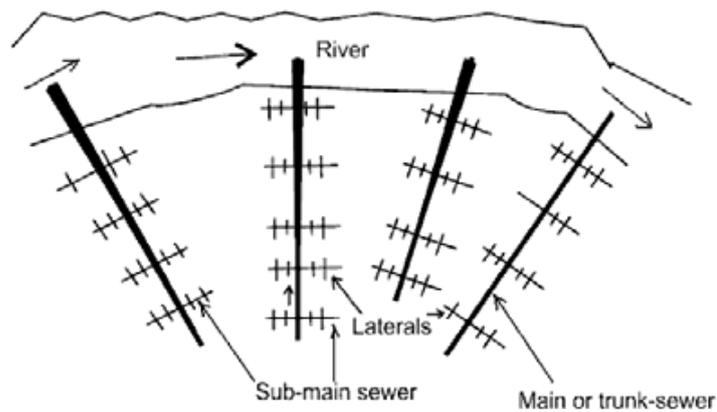


Figura 2.3 Red Perpendicular
(Fuente: NPTEL, 2012)

2.2.3.2. Redes interceptoras

- Las tuberías de alcantarillado son interceptadas con tuberías de mayor diámetro.
- El intercepto carga las aguas residuales a un punto de reunión donde es dispuesto con o sin tratamiento
- Los reboses deben ser instalados para manejar grandes caudales.

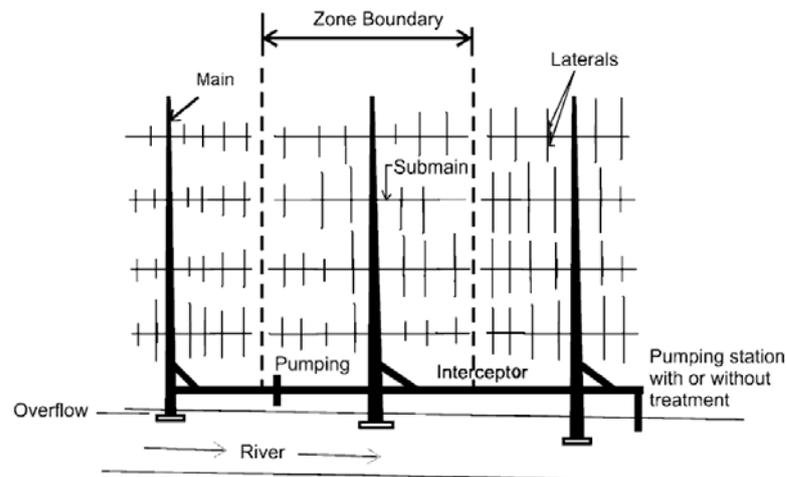


Figura 2.4 Red interceptora
(Fuente: NPTEL, 2012)

2.2.3.3. Redes radiales

- En este tipo las tuberías son instaladas radialmente desde el centro.

- La desventaja de esta red es que se necesitan mayor cantidad de obras para la disposición de los residuos.

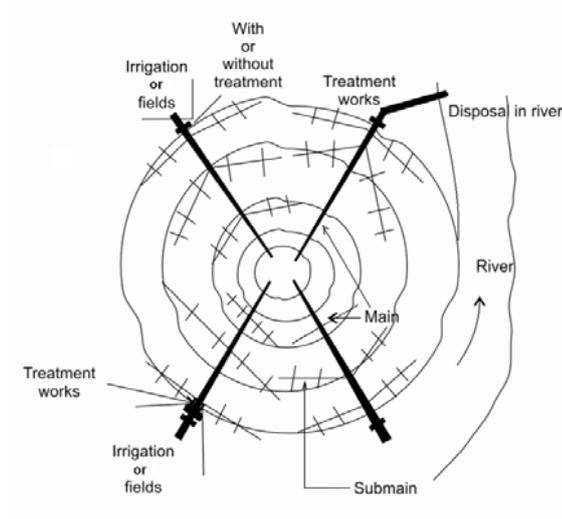


Figura 2.5 Red radial
(Fuente: NPTEL, 2012)

2.2.3.4. Redes abanico

- Este tipo de red es adecuada para ciudades situadas a una margen del cuerpo de agua, como un río.
- Todas las aguas residuales son transportadas a un punto de reunión donde está ubicada la planta de tratamiento.
- En este tipo de red solo se requiere una sola PTAR.
- La desventaja de este tipo de red es que se requiere tuberías de grandes diámetros cerca de la PTAR, ya que todas las aguas residuales llegan a ese punto.
- Además, como la población está en aumento la cantidad de aguas residuales aumenta con el tiempo.

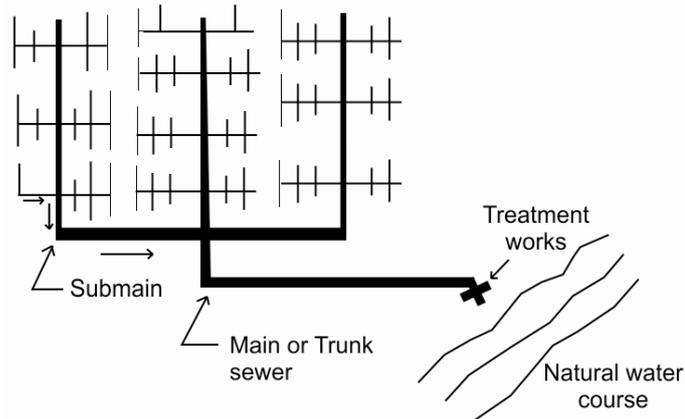


Figura 2.6 Red abanico
(Fuente: NPTEL, 2012)

2.2.3.5. Red zonal

- Se utiliza un mayor número de interceptores.
- Este tipo de red es más adecuado para redes con pendiente alta que con pendiente baja

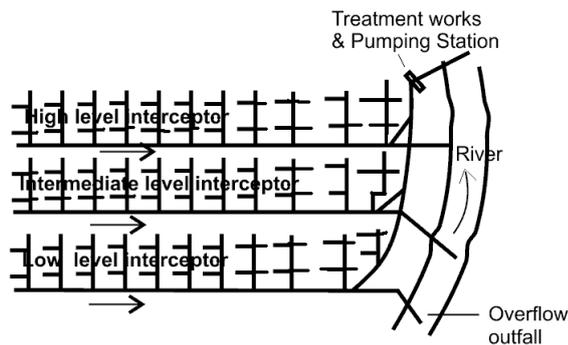


Figura 2.7 Red zonal
(Fuente: NPTEL, 2012)

2.2.4. Componentes del sistema de alcantarillado

Los componentes de un sistema de alcantarillado son los siguientes: (NPTEL, 2012)

- a) Colectores laterales: Son aquellas que conectan el alcantarillado privado, interior a la propiedad, con el público, en las vías.

- b) Colectores secundarios: Son tuberías de pequeño diámetro (150 a 300 mm de diámetro interno) que pueden estar colocados debajo de las veredas, a los cuales se conectan las acometidas domiciliarias
- c) Colectores primarios: Son las tuberías que recogen las aguas de los secundarios, tienen diámetros desde 350 mm a 2400 mm y los conducen a otros colectores primarios, interceptores o a un emisor. Se sitúan enterradas, en las vías públicas.
- d) Emisor: Son tuberías de gran diámetro, situadas generalmente en las partes más bajas de las ciudades, y transportan las aguas servidas hasta su destino final, que es usualmente una planta de tratamiento de aguas residuales.
- e) Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): Existen varios tipos de estaciones de tratamiento, que por la calidad del agua a la salida de la misma se clasifican en: estaciones de tratamiento primario, secundario o terciario.
- f) Cámaras de Inspección: Son cámaras verticales que permiten el acceso a los colectores, para facilitar su mantenimiento.
- g) Estaciones de bombeo de Aguas Residuales (EBAR): Como la red de alcantarillado trabaja por gravedad, para funcionar correctamente las tuberías deben tener una cierta pendiente, calculada para garantizar al agua una velocidad mínima que no permita la sedimentación de los materiales sólidos transportados. En ciudades con topografía plana, los colectores pueden llegar a tener profundidades superiores a 4 - 6 m, lo que hace difícil y costosa su construcción y complicado su mantenimiento. En estos casos puede ser conveniente intercalar en la red estaciones de bombeo, que permiten elevar el agua servida a una cota próxima a la cota de la vía.
- h) Líneas de impulsión: Tubería en presión que se inicia en una estación de bombeo y se concluye en otro colector o en la planta de tratamiento.

2.2.5. Materiales de las tuberías de alcantarillado

2.2.5.1. *Asbesto cemento (AC)*

- Son creadas de una mezcla de fibras de asbestos, sílice y cemento. Las fibras de asbesto son completamente mezcladas con cemento para que actúen como reforzamiento.
- Estas tuberías están disponibles desde diámetros de 100 mm hasta 1000 mm y una longitud hasta de 4m.
- Estas tuberías pueden ser fácilmente ensambladas sin necesidad de trabajo especializado, con la ayuda de las llamadas “Juntas Simples”.
- La tubería y las juntas son resistentes a la corrosión y las juntas son flexibles permiten una deflexión de 12 grados para tramos curvos.
- Estas tuberías son usadas para el transporte vertical de agua. Por ejemplo, transporte de agua de lluvia de los techos en los edificios, transporte de aguas residuales al nivel del suelo.

Cuadro 2.4 Ventajas y desventajas de las tuberías de asbesto cemento
 (Fuente: NPTEL, 2012)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Son ligeras en peso, por lo tanto, son fáciles de manipular y transportar. • Fácil de cortar y ensamblar sin necesidad de trabajo especializado. • Interior Liso (Coeficiente de Manning (n)=0.011) por lo tanto son tuberías de excelente eficiencia hidráulica. 	<ul style="list-style-type: none"> • No son muy fuertes estructuralmente. • Son susceptibles a la corrosión por ácido sulfúrico. Las bacterias producen H₂S, y en presencia de agua se puede producir H₂SO₄.

2.2.5.2. *Concreto simplemente normalizado (CSN) y concreto reforzado (CR)*

Las tuberías de concreto simplemente normalizado están disponibles hasta los 450 mm y las tuberías de concreto reforzado hasta 1800 mm. Estas tuberías pueden ser vaciadas in situ o pueden ser prefabricadas. Las tuberías

prefabricadas son mejores en calidad que las vaciadas in situ. El refuerzo de estas tuberías puede variar.

Cuadro 2.5 Ventajas y desventajas de las tuberías de cemento.

(Fuente: NPTEL, 2012)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Resistentes en compresión y tracción. • Resistentes a la erosión y abrasión. • Pueden ser ellas de la resistencia deseada. • Fácil de moldear y pueden ser vaciadas in situ o prefabricadas. • Son económicas para diámetros medianos y grandes. • Estas tuberías están disponibles en un gran rango de diámetros y la zanja puede ser abierta y rellenada rápidamente durante su mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estas tuberías pueden ser corroídas por la acción del H₂SO₄. • La capacidad de transporte de la tubería se reduce con el tiempo a causa de la corrosión. • Las tuberías son susceptibles a la erosión por el contenido de limo y arena.

2.2.5.3. Hierro fundido (HF)

Estas tuberías son más fuertes y capaces de resistir mayores esfuerzos de tensión, compresión e incluso flexión. Sin embargo, son costosas. Las tuberías de hierro fundido son usadas en los emisores, tuberías de las estaciones de bombeos, sifones invertidos, en lugares donde las tuberías están bajo presión. Estas tuberías son adecuadas para lugares de gran carga de tránsito, como por ejemplo debajo de autopistas, líneas férreas, etc. Funcionan como una línea a prueba de fugas que evita la contaminación. Son menos resistentes a la contaminación, por lo tanto, son recubiertos interiormente con concreto, epóxido, etc.

2.2.5.4. Acero (ACER)

Son usadas en líneas principales a presión, cruce de cuerpos de agua, cruce de puentes, conexión en estaciones de bombeo, cruce de autopistas, etc. Pueden resistir la presión interna, cargas de impacto y vibraciones en mejor medida que las tuberías de hierro fundido. Son mucho más dúctiles y pueden resistir el golpe de ariete de mejor forma. Estas tuberías no pueden resistir cargas externas muy altas y pueden colapsar cuando se presentan presiones negativas en la tubería. Son susceptibles a la corrosión y no son usualmente usadas en tuberías que no son a tubo lleno. Se protegen interna y externamente a la acción de la corrosión.

2.2.5.5. Hierro dúctil (HD)

Pueden ser usadas para el transporte de aguas residuales. Han demostrado mayor capacidad y resistencia al golpe de ariete. Estas tuberías son recubiertas internamente con mortero de cemento u otro polietileno, cubierta plástica que evite la corrosión. Las tuberías de hierro dúctil han demostrado ser un mejor material que el hierro fundido, pero son más caras. Su tiempo de vida esperado es de hasta 75 años, sin embargo, puede bajar a 20 años en ambiente altamente corrosivo si no se le aplica un programa de protección catódica.

2.2.5.6. Plástico (PVC)

Ofrecen una superficie interna lisa. Una ventaja adicional que ofrecen es que son resistentes a la corrosión, son ligeras, económicas, fáciles de instalar y mantener. La tubería es dura y rígida. Son fáciles de transportar.

2.2.5.7. Polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE)

El uso de este material es un desarrollo reciente. No son frágiles, por lo tanto, no reciben daños en condiciones de carga, descarga y manipuleo. Pueden ser unidas mediante soldadura o pueden ser unidas mediante juntas. Son usualmente usadas para el transporte de aguas residuales industriales. Ofrecen todas las ventajas de las tuberías de PVC.

2.2.5.8. *Tubería de fibra de vidrio (GRP)*

Se usan ampliamente cuando se requieren tuberías resistentes a la corrosión. Están hechas de una mezcla de fibra de vidrio, resina de poliéster y relleno. Estas tuberías tienen una mejor resistencia, durabilidad, baja densidad y alta resistencia a la corrosión. Son creadas hasta los 2400 mm de diámetro y hasta los 18 metros de longitud.

2.2.5.9. *Albañal (ALB)*

Se encuentran principalmente en el casco histórico de ciudades, son cámaras hechas de ladrillo.

2.2.6. Métodos de mantenimiento

El mantenimiento del sistema de colectores, incluyendo la limpieza y la inspección de sus componentes, es fundamental para lograr su óptimo funcionamiento y para evitar la generación de sobrecostos, tanto por su inoperatividad, como por los arreglos o reparaciones que deban efectuarse.

Para el sistema de colectores se considera la ejecución de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo (Sedapal, 2014).

2.2.6.1. *Mantenimiento predictivo*

El mantenimiento predictivo está orientado, por una parte, a identificar y establecer los puntos críticos o de riesgo y cuyo desarreglo fortuito pueda perturbar el funcionamiento del sistema. Por otra parte, está dirigido a poner atención y definir las medidas a tomar para evitar tal situación. Estas medidas consistirán en establecer los elementos o dispositivos que se puedan aplicar en el sistema y que sirvan como medios de aviso o de alarma para evitar que suceda el problema. Pero, si el problema ocurre de manera inevitable, el objetivo será el de impedir que se agrave.

2.2.6.2. *Mantenimiento preventivo*

Este mantenimiento consiste en una serie de acciones que se llevan a cabo de acuerdo a un plan establecido, con el objeto de que el sistema no cese de operar, ni disminuya su nivel de eficiencia operativa. Con el mantenimiento preventivo se evitará que las partes débiles del sistema fallen, con lo cual se disminuirá la cantidad de reparaciones.

El mantenimiento preventivo del sistema de colectores se compone de las inspecciones y de la limpieza. Esta última a su vez es de tipo programado y de tipo no programado.

2.2.6.3. *Mantenimiento correctivo*

Consiste en las actividades que se deben ejecutar para restituir el funcionamiento de una parte o de todo el sistema, como consecuencia de la ocurrencia de una falla. Los costos de mantenimiento correctivo incluyen los relativos al tiempo de producción perdido, al costo de reparación en sí y en algunos casos al costo de reposición del componente involucrado en la falla. Esto significa que debe ser evitado, y para eso se precisa cumplir de manera efectiva tanto con el mantenimiento predictivo, como con el preventivo.

2.2.7. Métodos de inspección

Las inspecciones de los colectores son de variados tipos, debiéndose aplicar el o los métodos apropiados a las condiciones específicas de cada colector. De acuerdo a las características del sistema y específicamente a los diámetros de tuberías.

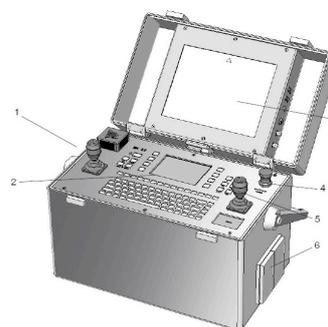
Es recomendable que las inspecciones se efectúen en condiciones de bajo caudal. Tales condiciones se tienen entre la medianoche y las cinco horas de la mañana. Como alternativa, se puede hacer un taponamiento temporal del colector que se inspecciona, con el fin de reducir el caudal.

La frecuencia de las inspecciones inicialmente será de cada tres años; a partir de los nueve años, la frecuencia se incrementará a una inspección cada dos años, debido a la antigüedad de la red. En Perú, las tuberías son inspeccionadas usando los siguientes métodos.

2.2.7.1. Sistema de inspección televisiva (CCTV)

En la industria del alcantarillado, la inspección televisiva es la herramienta más confiable para inspeccionar las tuberías de alcantarillado. En este método, un robot que lleva una cámara de cabeza panorámica se desplaza a lo largo de la tubería. El robot se controla desde una unidad de mando capaz de grabar todo el recorrido. Un técnico controla los movimientos del robot manualmente a través de la unidad de mando y debe ser entrenado para diferenciar entre los diferentes tipos de aspectos estructurales y operacionales que se presenten en la tubería. Siempre que la cámara note un defecto, el técnico debe revisarlo con más detalles y proporcionar un primer plano del defecto. Al mismo tiempo, debe documentar las observaciones registradas. Los videos deben grabarse con el equipo moviéndose a velocidad constante.

El éxito de esta tecnología depende en gran medida del nivel de experiencia del técnico, ya que tanto el registro de video como la documentación de las inspecciones están totalmente controladas por el técnico. Además, el alto nivel de agua y el vapor dentro de la tubería darán como resultado una calidad de inspección indeseable (EPA, 1999).



Equipo de mando portátil BK 3.5
1 Palanca de mando 1 (carro o cámara)
2 Visores de función
3 Videomonitor
4 Interruptor de PARADA DE EMERGENCIA
5 Palanca de mando 2 (carro o cámara)
6 Clavija de conexión

Figura 2.8 Equipo de mando del carro móvil
(Fuente: ERPrim, 2016)

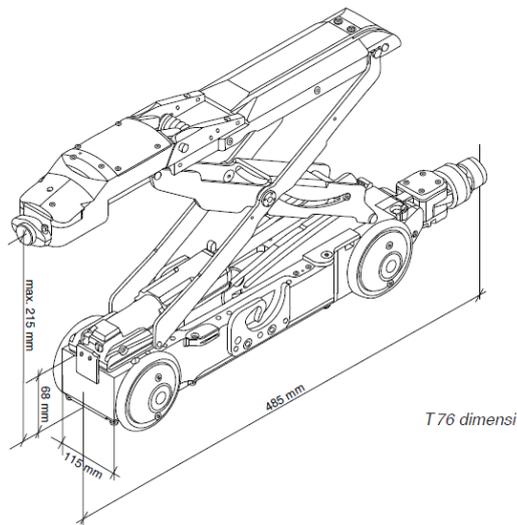


Figura 2.9 Detalle del carro móvil
(Fuente: ERPrim, 2016)

- Cámara de cabeza panorámica con iluminación por LED integrada
- Zoom x 40 (zoom óptico x 10, zoom digital x 4) y enfoque automático
- Campo de aplicación desde DN 150
- Ángulo de giro continuo, puesta a cero automática.
- Automatismo para una imagen siempre vertical. (upc = upright picture control)

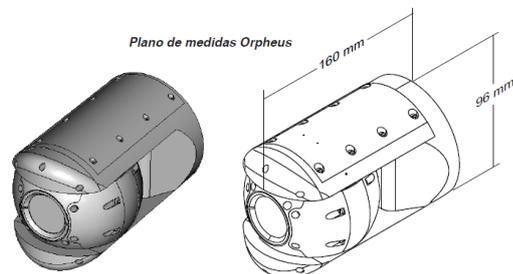


Figura 2.10 Detalle de la cámara panorámica
(Fuente: ERPrim, 2016)

a) *Metodología para la codificación, calificación y clasificación de las redes diagnosticadas con CCTV*

El objetivo de la inspección televisiva es identificar, codificarlos, calificarlos y clasificar aspectos estructurales y operacionales que se presentan dentro de la tubería.

- *Aspecto estructural*

Involucra el estado de las tuberías inspeccionadas dependiendo de los defectos estructurales observados durante la inspección, cada observación será evaluada posteriormente por un sistema de calificación y relacionada directamente con una clasificación que establecerá criterios para determinar el grado o nivel de deterioro del tramo de red evaluado con respecto a la probabilidad de un colapso del mismo.

Ejemplos: Fisuras, fracturas, roturas, colapsos, deformaciones, juntas abiertas, superficie deteriorada. Etc.

- *Aspecto operacional*

Hace referencia a todos aquellos aspectos que tienden a reducir o limitar la capacidad de transporte de las aguas a través de la red disminuyendo o afectando la sección transversal de la misma.

Ejemplo: Raíces, infiltraciones, depósitos, anillos defectuosos, alineamiento, reparación puntual, etc.

- *Codificación*

Para esto se debe utilizar métodos como los planteados en Estados Unidos de América por la Asociación Nacional de Empresas de Servicios de Alcantarillado (NASSCO) a través de su Programa de Evaluación y Certificación de Colectores (PACP) o del Centro de Investigación del Agua de Reino Unido (WRc) a través de su Manual de Rehabilitación de Alcantarillado (SRM). Dichos métodos se explicarán más adelante. Sin embargo, en muchos países y en diferente software de procesamiento utilizan codificaciones únicas.



Figura 2.11 Captura del sistema CCTV de una fractura en tubería
(Fuente: ERPrim, 2016)

- *Ubicación Circunferencial*

Se especifica la posición de la observación haciendo referencia al sentido horario tal como se indica en la siguiente figura:

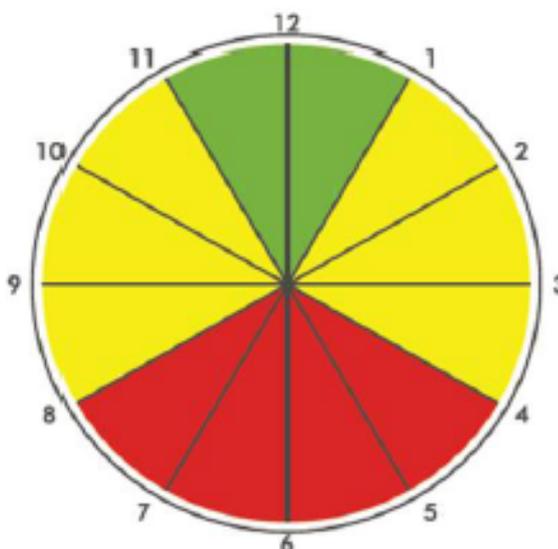


Figura 2.12 Gráfico de severidad según ubicación del defecto en la tubería
(Fuente: ERPrim, 2016)

Siempre se mide la posición de la observación teniendo en cuenta el sentido horario. La localización circunferencial de la observación permite determinar una mayor y menor severidad del daño de acuerdo con su ubicación, así:

- Entre las 04:00 y las 08:00 la severidad del daño es mayor ya que su localización se encuentra en la media caña del tramo, sitio que permanentemente presenta flujo.
- Entre las 11:00 y las 01:00 la severidad del daño con relación a su ubicación se considera menor debido a que se encuentra sobre la clave.
- Entre las 08:00 a 11:00 y la 01:00 a 04:00 la severidad presenta un valor medio con relación a su posición.

2.2.7.2. Inspección visual

Las inspecciones visuales son vitales para comprender completamente la condición de un sistema de alcantarillado, son de gran avance y la forma varía según la entidad que haga la inspección. En Lima, se hace la inspección abriendo la tapa de los buzones y con ayuda de una varilla se ve la cantidad de sedimentos, en este punto la pericia y experiencia del operario responsable juegan el rol principal.

a) *Limitaciones*

Cuadro 2.6 Limitaciones de los métodos de inspección
 (Fuente: EPA, 1999)

Limitación de los métodos de inspección	
Método	Limitación
Inspección visual	El alcance de la evaluación del estado de la tubería es muy limitado pues solo se puede observar la llegada de la tubería y el flujo en la media caña. Por lo tanto, no es posible detectar información definitiva sobre grietas u otros aspectos estructurales. Sin embargo, este método proporciona información necesaria para hacer decisiones sobre mantenimiento y rehabilitación
Inspección televisiva (CCTV)	Este método idealmente debe realizarse en horas de la madrugada lo cual afecta la concentración de los operarios. Este método también es bastante caro y requiere más tiempo.

2.2.7.3. *Otros métodos de inspección*

A pesar de que no se utilicen en Perú, es útil revisar los diversos métodos de inspección que existen y se utilizan en otras partes del mundo. Estos podemos dividirlo a su vez en:

a) *Métodos Físicos.*

- *Prueba De Humo*

Las pruebas de humo son un método de inspección de tuberías de alcantarillado conocido por su rápido proceso y costo razonable. Implica la entrada ocasional del personal y es confiable para identificar fugas en las tuberías. Como se muestra en

la figura II.13, se instala un soplador en la entrada de una boca de acceso y expulsa el humo generado por una bomba de humo a la red. El humo identifica las juntas separadas y las grietas a lo largo del tramo de tubería que está aislado antes de la operación, de modo que el humo esté lo suficientemente concentrado para ese segmento.

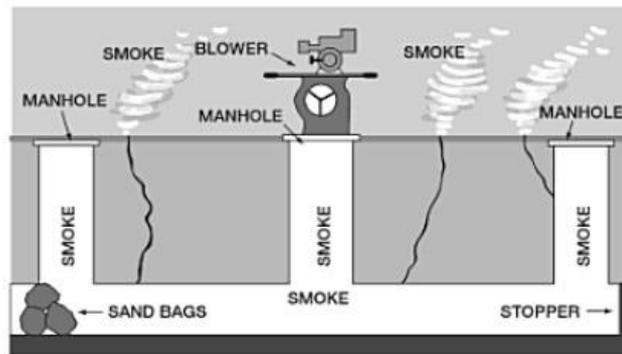


Figura 2.13 Prueba de humo

(Fuente: Water Environment Federation, 2009)

- *Prueba del colorante*

La prueba de colorante se usa para comprobar si la red de desagüe o lluvia domiciliar está conectada a su respectiva tubería principal, en Estados Unidos de América es requisito en algunos estados hacer esta prueba antes de vender la casa.



Figura 2.14 Prueba de colorante

(Fuente: www.bwsc.org, 2023)

- *Martillo de impulso*

Este método de inspección de tuberías es principalmente usado para la inspección de alcantarillas de ladrillos y determina la fiabilidad estructural de una tubería. Un martillo dinámico se coloca en el fondo del buzón, el cual envía una frecuencia de banda ancha a la tubería. La estructura del alcantarillado devuelve la frecuencia y su respuesta se registra mediante un acelerómetro. La evaluación estructural de la tubería de alcantarillado se mide en relación a los registros leídos desde el acelerómetro y el martillo (Sibbald y Beng, 1995).



Figura 2.15 Martillo de impulso y acelerómetro
(Fuente: www.used-line.com, 2023)

b) *Métodos de espectro*

- *Onda ultrasónica*

La onda ultrasónica es un método de inspección no destructivo que permite medir los diferentes atributos de las tuberías que otros tipos de inspección no podrían. Los métodos de inspección física no pueden registrar información como el espesor de la pared de la tubería, la profundidad de los defectos estructurales o la condición del área circundante de la tubería. La alta precisión de medición es la mayor ventaja de esta tecnología. Los dispositivos de inspección ultrasónica envían ondas de sonido de alta frecuencia hacia la tubería. El sonido vuelve al dispositivo, después de encontrar diferentes objetos en su camino. Por lo tanto, la cantidad de energía recibida en el dispositivo es menor a la energía emitida. Esta variación en la magnitud de la energía y su tiempo de viaje son los requisitos para

estimar las ubicaciones de los diferentes “objetos” dentro de la tubería (Cascante et al., 2001).

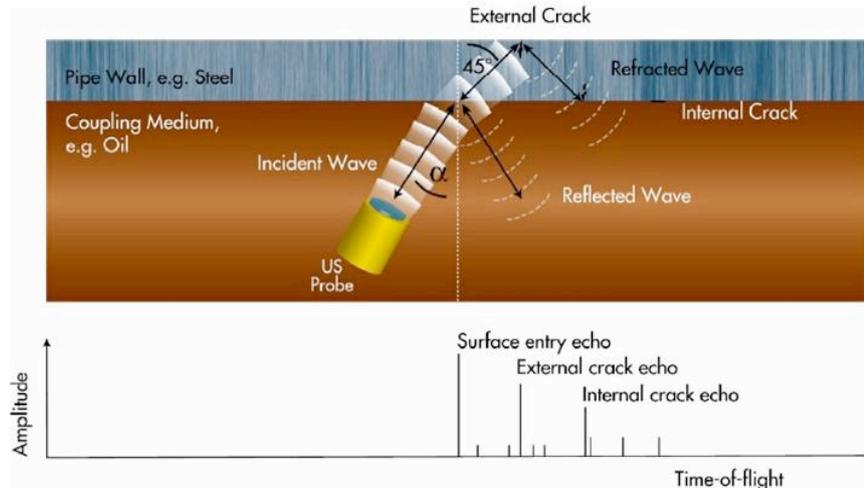


Figura 2.16 Inspecciones ultrasónicas para fracturas
(Fuente: www.ppsa-online.com)

- *Termografía Infrarroja*

Esta tecnología permite detectar defectos en las tuberías. Aunque la gravedad del defecto y su ubicación exacta no son muy precisas (Read y Vickridge, 1997).

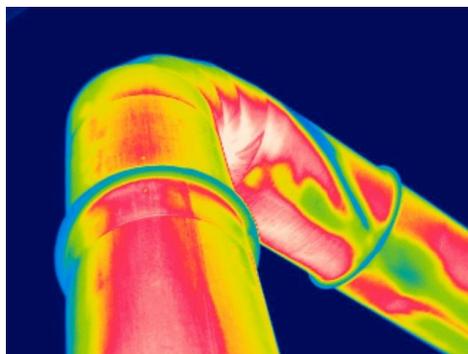


Figura 2.17 “Infrared Thermography Inspection”
(Fuente: www.maverickinspection.com)

- c) *Métodos electromagnéticos*

- *Radar de penetración de tierra*

En este método, las señales de radio se envían debajo del área de estudio. Cuando las señales se reflejan y vuelven al dispositivo de emisión de radio, se

registran la energía y el tiempo de viaje de las señales. La técnica tiene capacidades excepcionales en la localización precisa de los sistemas enterrados. Recientemente, los dispositivos de radar de penetración de tierra están diseñados para “arrastrarse” en tuberías reparadas para evaluar la calidad de la rehabilitación. Las ventajas de estos dispositivos incluyen su configuración liviana y fácil, junto con informes precisos basados en las necesidades del cliente. Sin embargo, para obtener la mejor precisión y eficiencia de la técnica, el medio de prueba debe estar libre de interferencias electromagnéticas para que la señal de radar de penetración en el suelo pueda alcanzar su profundidad máxima (Mellet, 1995).

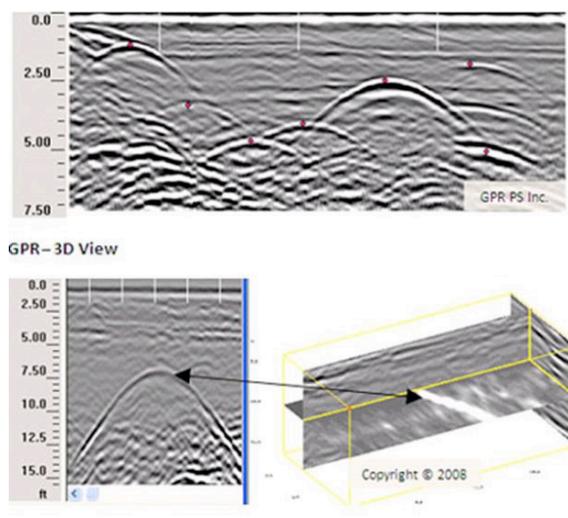


Figura 2.18 Ubicación de tuberías usando radar de penetración
(Fuente: www.gprps.com)

d) *Inspección con cámaras*

- *Inspección televisiva (CCTV)*

Descrito en la sección 2.2.8.1.

- *Scanner de tuberías y evaluación tecnológica*

Fue inventado en Japón en 1994, para superar las restricciones de CCTV. En esta tecnología, se utiliza un giroscopio para determinar la inclinación de la tubería, y un escáner de alta definición que proporciona una imagen plana de todo el interior

de la tubería. Esta imagen de 360 ° de la tubería brinda a los supervisores la oportunidad de tener una mejor vista de la tubería mejor que la imagen producida por las cámaras CCTV normales.

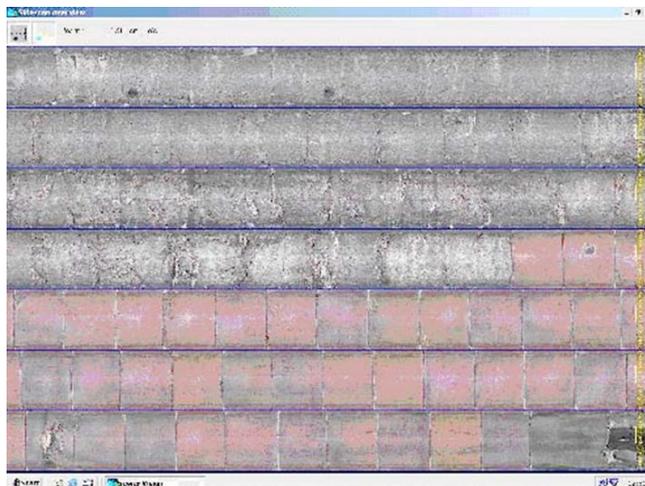


Figura 2.19 Una imagen 360° SSET
(Fuente: www.cardiff.ac.uk)

2.2.8. Métodos de evaluación de condición

En Perú, no existe ningún método de evaluación estándar que se utilice en las Empresas Prestadora de Servicio (EPS) para la evaluación de condición de tuberías de alcantarillado, la bibliografía no muestra rastros de uso, sin embargo, describiremos en esta sección protocolos usados en otros lados del mundo. En América del Norte, Europa, Chile y Colombia usan los siguientes métodos de evaluación de condición:

- a) El SRM desarrollado por la WRc en 1980, el cual se basa en las inspecciones televisivas. La cuarta edición del manual fue publicada en 2004.
- b) La NASSCO estableció su PACP en 2004 en los Estados Unidos de América, con ayuda de la WRc. Este programa es considerado como el programa de evaluación de condición estándar en el mundo.

2.2.8.1. Programa de certificación en evaluación de tuberías de NASSCO (PACP)

La NASSCO de los Estados Unidos en cooperación con la WRc de Reino Unido desarrolló el PACP en 2001 basado en la tercera edición del SRM la cual ha sido usada en Reino Unido desde 1980. La codificación del PACP es muy similar a la del SRM del WRc pero con algunas modificaciones para adaptarlo a los Estados Unidos. Los cambios más significativos son los hechos en la terminología para ajustarla a la usada en los Estados Unidos.

El sistema de codificación consiste en varios indicadores. Ya sea la codificación es hecha por defecto o característica, la composición es como sigue:

- Primer Indicador: Este indica el defecto, tales como estructurales u operacionales. Pueden tener una o dos letras.
- Segundo Indicador: Este es llamado “Descriptivo” y provee información acerca de la dirección y ubicación de los defectos y puede haber una o dos letras. Por ejemplo, el indicador descriptivo indica si una rotura es longitudinal, circunferencial, múltiple o espiral.
- Tercer Indicador: Este indicador es llamado “Modificador”. Si se requiere, los indicadores modificadores dan información más detallada acerca de la ubicación, severidad del defecto y puede tener una o dos letras. No todos los grupos de códigos requieren un modificador.

Si la cámara graba un tipo de defecto por más de un metro, o si el defecto ocurre en ciertos intervalos repetidamente, el defecto es considerado como “Defecto Continuo”. Los defectos continuos tienen 2 categorías:

- Continuo: El defecto es continuo y ocurre sin interrupción por más de un metro, por ejemplo, fracturas longitudinales o grietas.
- Repetido: El defecto ocurre en un 75% en intervalos regulares. Ejemplos de tales defectos continuos pueden ser grietas circunferenciales y juntas abiertas.

El PACP divide los defectos estructurales en 12 grupos llamados familia estructural, los cuales serán descritos brevemente en esta sección:

- Grietas

Se define como una línea de grieta visible en la superficie de la tubería, aquella que no está visiblemente abierta y si las partes de las tuberías están aún intactas y en su lugar. Pueden ser de 4 tipos. Si es paralela al eje de la tubería se considera longitudinal. Una grieta que es paralela a las juntas es circunferencial. Una combinación de las dos se llama grieta múltiple y si una grieta cambia de posición a lo largo de la tubería se denomina espiral.



Figura 2.20 Grieta Múltiple
(Fuente: PACP, 2001)

- Fractura

Una fractura era originalmente una grieta que se hizo visiblemente abierta, pero las secciones de las paredes de la tubería están aún en su lugar e intactas. Al igual que las grietas, si es paralela al eje es longitudinal, si la fractura es paralela a las juntas es circunferencial. Una combinación de fractura longitudinal y circunferencial es una fractura múltiple si una fractura cambia de posición a lo largo de la tubería se llama fractura espiral.

- Rotura

Esta categoría se refiere a una tubería en la cual sus partes están notablemente desplazadas y se han movido de sus posiciones originales. El desplazamiento debe ser de al menos la mitad del grosor de la pared de la tubería según definición.

Usualmente las deformaciones acompañan a las roturas. Si el suelo circundante del tramo roto es visible se agrega ciertos modificadores para describir la situación.

- Hueco

Cuando un tramo de tubería tiene un hueco visible en sus paredes, y la pieza de tubería de ese hueco se ha separado de la pared de la tubería, el PACP lo llama hueco. Al igual que la rotura, si el suelo detrás del tramo roto es visible se agrega ciertos modificadores al código.

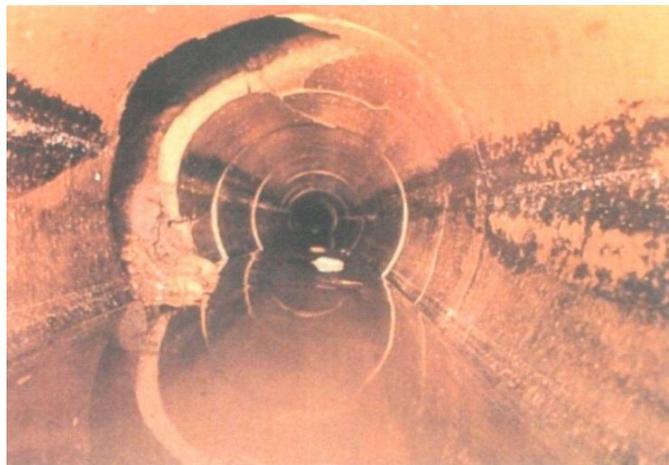


Figura 2.21 Hueco (H)
(Fuente: PACP, 2001)

- Deformada

El PACP define como tubería deformada cuando el daño es tal que la sección de la tubería es notablemente alterada. Este es el último estado de daño antes de que la tubería falle. La deformación sin substancial pérdida de integridad estructural de la tubería es posible.

- Colapso

Cuando la deformación es tan grande que causa una completa pérdida de la integridad estructural de la tubería, y si cerca de un 40% del área transversal es bloqueado, se dice que la tubería ha colapsado. En esos casos, sólo el colapso debe ser codificado, y la codificación de los defectos individuales no es necesaria.

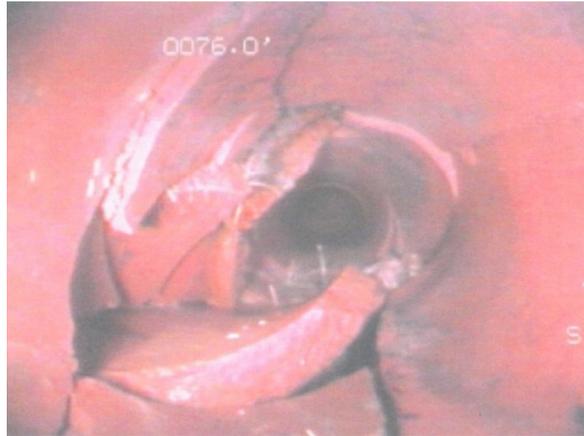


Figura 2.22 Colapso de Tubería (XP)
(Fuente: PACP, 2001)

- Junta

El PACP los divide en tres categorías, si las uniones no son concéntricas entonces se denominará desencajada. Si están separadas se denominará separadas, y finalmente cuando el alineamiento no es correcto se llamarán angulares. La severidad de estos defectos se determina comparando los errores en los alineamientos y separaciones con el grosor de las paredes de las tuberías. Basado en estos parámetros los defectos son descritos como moderado o severo.

- Daño de la superficie

Este grupo da la descripción de las distintas fallas y daños que se encuentran dentro de la superficie de las paredes de las tuberías. Estos daños pueden haber tenido causas químicas o físicas y se clarifican como:

- Rugoso: Superficie ligeramente desgastada.
- Agregado visible: Desgaste severo.
- Agregado faltante: Pequeños agujeros y falta de agregado.
- Refuerzo visible: Cuando los agujeros se hacen de mayor tamaño y el acero de refuerzo se hace visible.
- Refuerzo corroído: Cuando hay acero de refuerzo corroído.
- Pared faltante: Cuando hay presencias de agujeros

- Desconchado: Desconchamiento de la superficie usualmente acompañado con fracturas en el área.

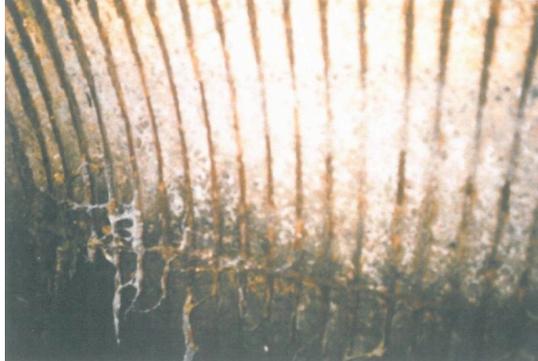


Figura 2.23 Acero de refuerzo corroído (SRC)
(Fuente: PACP 2001)

- Falla de resanado

Se pueden caracterizar los defectos ocurridos en tramos de tuberías que han sido previamente rehabilitados mediante métodos de resanado de tuberías. Cuando el resane no se adhiere correctamente a la tubería se denomina como separado. Si el resane está flojo o no cubre toda la longitud requerida se lo llama defectuoso.

- Falla de soldadura

Este grupo es usado para describir las fallas de fábrica en las soldaduras de las tuberías, así como las soldaduras que no siguen patrones uniformes

- Reparado

Este grupo describe los daños y características de los tramos de tuberías que han sido reparados o reemplazados.

El PACP asigna un valor de 1 a 5 a cada defecto estructural o característica. Estos valores son definidos como sigue:

- 1: Excelente; el defecto es menor
- 2: Bueno, el defecto ya ha empezado a deteriorarse

- 3: Regular, defecto moderado que sigue deteriorándose.
- 4: Malo, defecto severo que llegará a su peor escenario dentro de un periodo de tiempo medio.
- 5: Atención Inmediata, el defecto debe ser tratado inmediatamente.

Luego, se pondera la cantidad de defectos detectados (cantidad y valoración de cada defecto) y el resultado es el índice estructural de la tubería. Usando el índice estructural, la condición de estructural de la tubería podría ser evaluada como sigue:

- 1: Falla improbable en el futuro cercano
- 2: Poca probabilidad de falla en la tubería por al menos 20 años.
- 3: La tubería puede fallar en 10 a 20 años.
- 4: La tubería podría fallar dentro de 5 a 10 años.
- 5: La tubería ha fallado o es probable que falle en los próximos 5 años.

2.2.9. Métodos de limpieza de tuberías

La limpieza de tuberías se debe programar en función a la antigüedad y la pendiente de las mismas, los tramos de la red críticos, que merecen mantenimiento más frecuente, y los no críticos, aquellos que necesitan mantenimiento más espaciados. La frecuencia de mantenimiento para los tramos críticos suele ser de seis meses y para los no críticos de un año. Asimismo, se recomienda realizar la limpieza de los tramos iniciales de los colectores con abundantes chorros de agua.



Figura 2.24 Limpieza de los tramos iniciales de las tuberías
(Fuente: Limpiezaslm2, 2023)

2.2.9.1. Limpieza manual

Para realizar la limpieza manual de las alcantarillas, se pueden emplear barras o varillas de acero de 3/8" a 1/2" de diámetro y de 1,0 m. de longitud. También pueden emplearse cables de acero de 12 mm. De longitud variable. En ambos casos se pueden adaptar ciertos dispositivos como cortadores de raíces y cortadores expandibles con cuchillas adaptables al diámetro de la tubería.



Figura 2.25 Limpieza manual de las alcantarillas
(Fuente: Emapa, 2018)

Luego, se abren las tapas de los buzones aguas abajo y aguas arriba del tramo afectado y se espera 15 minutos antes de ingresar, para permitir una adecuada ventilación de los gases venenosos que se producen en las alcantarillas.



Figura 2.26 Ventilación de los gases venenoso
(Fuente: Elaboración propia)

Cuando sea necesario, se deberá realizar el represamiento del flujo en una cámara de inspección, cerrando con compuertas manejadas a mano, el arranque de la tubería. Al levantarse dicha compuerta, el agua represada ingresa violentamente a través de la tubería arrastrando los depósitos aguas abajo. Esta práctica da muy buenos resultados en tuberías de diámetro de 150 a 200 mm.

2.2.9.2. Limpieza hidráulica

Las máquinas de Limpieza Hidrojet (limpiadores de alta velocidad) son máquinas muy eficientes y flexibles que requieren un mínimo de personal para su operación. Consisten en un chorro de agua a alta presión que se dirige a la superficie a limpiar.

Los limpiadores de alta velocidad pueden montarse en un camión o en un remolque; en cualquier caso, están diseñados como unidades autónomas para una máxima eficiencia.

Deben estar en el camión todas las herramientas necesarias para desviar el tráfico, quitar las tapas de los buzones y asegurar la seguridad en el sitio de trabajo, así como las diversas boquillas y mangueras requeridas para la correcta operación de la máquina Hidrojet.

Una mejora para el funcionamiento de la limpieza hidráulica con Hidrojet es la adición de una unidad de vacío para la eliminación de residuos en los buzones. Cuando se trae arena, limo y otros materiales de vuelta a los buzones, se puede quitar fácilmente con la unidad de vacío en lugar de ser eliminado manualmente. Cuando una unidad de vacío se combina con un Hidrojet en el mismo vehículo, a menudo se lo denomina máquina combinada.

Otra ventaja de las grandes máquinas Hidrojet es la disponibilidad de cortadores de raíz. Este dispositivo es básicamente una cuchilla plana que se adhiere al extremo de la boquilla. La presión del chorro de agua a alta velocidad gira la cuchilla haciéndola cortar a las raíces a medida que pasa a través de la tubería. Con la adición de cortadores de raíz, las máquinas Hidrojet son capaces de limpiar

todo tipo de desechos de una tubería de alcantarillado. Las máquinas Hidrojet son los equipos más utilizados para el mantenimiento del alcantarillado.

Es importante eliminar la arena y la grava en el buzón aguas abajo más cercano durante la limpieza.

Hay dispositivos que pueden ser usados para mejorar el desempeño de la máquina Hidrojet, especialmente en tuberías de diámetros grandes donde la máquina no es muy efectiva. Estos dispositivos usan la presión del agua detrás de la herramienta para crear presión hidráulica y limpiar la tubería mientras la herramienta se mueve a través de la tubería.



Figura 2.27 Camión Hidrojet
(Fuente: Elaboración propia)

2.2.9.3. Limpieza mecánica

Las máquinas de balde son utilizadas para eliminar escombros, raíces, grasa o sedimentos de los colectores primarios. Una máquina de balde está equipada con un conjunto de poleas especializadas que arrastran un balde especial a través de una tubería para recoger los desechos. Los materiales extraídos son luego eliminados físicamente de la tubería.

Estas máquinas son muy potentes y ofrecen el mejor sistema de limpieza con la menor probabilidad de error operacional que pueda afectar los resultados. Dado que una cuchilla y un cepillo pueden ser arrastrados a través de la tubería, cada

limpieza debe ser completa y no se debe dejar ningún residuo en el colector. La operación de la máquina de balde es una labor muy intensa, por ello, las máquinas de balde son normalmente usadas solo para labores de limpieza específicas, especialmente cuando se trata de remover grandes cantidades de residuos de tuberías de gran diámetro.



Figura 2.28 Máquina de balde
(Fuente: <http://lucridon.blogspot.pe/>)

2.2.9.4. Limpieza química

Existen muchos productos químicos y métodos de aplicarlos para eliminar y retardar el crecimiento de raíces en las redes de alcantarillado. Se requiere de equipamiento especial para ello. Si el problema de raíces es aislado, el tratamiento con productos químicos es un método de limpieza con buen balance costo beneficio.

La grasa puede ser limpiada de las tuberías adicionando químicos o biodegradadores (la adición de bacterias para acelerar la degradación de las grasas). Existen varios productos químicos tales como enzimas, hidróxidos, ácidos y neutralizadores para el control de acumulación de grasas. La efectividad de un químico en específico depende en gran medida de la naturaleza exacta del problema y de las circunstancias específicas. En la mayoría de los casos, este puede ser un método caro si se aplica rutinariamente. Si la grasa no es removida,

puede crear problemas adicionales aguas abajo en las estaciones de bombeos y plantas de tratamiento.

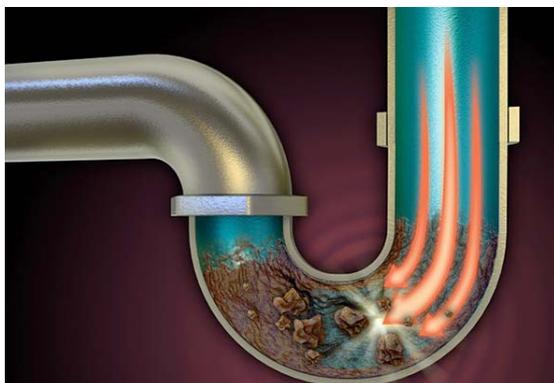


Figura 2.29 Acción de los agentes químicos
 (Fuente: <https://geindepo.com/consejos-limpieza-de-tuberias/>)

2.2.9.5. Limitaciones

Cuadro 2.7 Limitaciones de los métodos de Limpieza
 (Fuente: Elaboración propia con datos de EPA, 1999)

Método	Limitación
Limpieza hidráulica	La efectividad y eficiencia de remover residuos de este método disminuye con el aumento del diámetro de la tubería. Se han reportado atoros en viviendas debido a limpieza hidráulica hecha por personal sin experiencia.
Limpieza mecánica	Este método es conocido por dañar las tuberías. La máquina de balde no puede ser usada cuando la tubería está completamente atorada porque esto evita que el cable se ate de un buzón a otro. Instalar la máquina de balde toma un tiempo considerable.
Limpieza química	La mayor limitación de este método es la incorrecta disposición de los químicos después de usarlo, así como el incorrecto manipuleo de los mismos.

2.2.9.6. Efectividad

El siguiente cuadro resume la efectividad de los diferentes métodos de limpieza, donde la solución menos efectiva es calificada con cero y la más efectiva con cuatro.

Cuadro 2.8 Efectividad según el problema
 (Fuente: Elaboración propia con datos de EPA, 1999)

Solución al Problema	Emergencia de Atoro	Grasas	Raíces	Arena, Escombros, etc.	Olores
Limpieza Hidráulica	1	4	0	3	2
Limpieza Mecánica	0	0	0	2	0
Limpieza Química	0	2	3	0	2

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Según la norma OS.070 redes de aguas residuales

- Redes de Recolección: Conjunto de tuberías principales y ramales colectores que permiten la recolección de las aguas residuales generadas en las viviendas.
- Ramal Colector: Es la tubería que se ubica en la vereda de los lotes, recolecta el agua residual de una o más viviendas y la descarga en una tubería principal.
- Tubería Principal: Es el colector que recibe las aguas residuales provenientes de otras redes y/o ramales colectores.
- Tensión Tractiva: Es el esfuerzo tangencial unitario asociado al escurrimiento por gravedad en la tubería de alcantarillado, ejercido por el líquido sobre el material depositado.
- Pendiente Mínima: Valor mínimo de la pendiente determinada utilizando el criterio de tensión tractiva que garantiza la auto limpieza de la tubería.

- Profundidad: Diferencia de nivel entre la superficie de terreno y la generatriz inferior interna de la tubería.
- Recubrimiento: Diferencia de nivel entre la superficie de terreno y la generatriz superior externa de la tubería (clave de la tubería).
- Conexión Domiciliaria de Alcantarillado: Conjunto de elementos sanitarios instalados con la finalidad de permitir la evacuación del agua residual proveniente de cada lote.

2.3.2. Según la norma OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales

- Agua residual: Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.
- Agua residual doméstica: Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.
- Agua residual municipal: Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.
- Desecho ácido: Descarga que contiene una apreciable cantidad de acidez y pH bajo.
- Desecho peligroso: Desecho que tiene una o más de las siguientes características: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable o infeccioso.
- Desecho industrial: Desecho originado en la manufactura de un producto específico.
- Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- Efluente final: Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- Emisario submarino: Tubería y accesorios complementarios que permiten la disposición de las aguas residuales pretratadas en el mar.

- Emisor: Canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado hasta una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento hasta un punto de disposición final.
- Interceptor: Canal o tubería que recibe el caudal de aguas residuales de descargas transversales y las conduce a una planta de tratamiento
- Planta de tratamiento de Aguas Residuales PTAR: Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.

2.3.3. Según el procedimiento de mantenimiento del sistema de colectores primarios elaborado por Sedapal

- Colector Primario: Tubería mayor o igual a 350 mm de diámetro o estructura que conduce aguas residuales provenientes del sistema de red secundaria y que no recibe conexiones domiciliarias a excepción de los colectores de 350 mm
- Limpieza Mecánica: Acción de extraer cuerpos extraños, llamados sedimentos, de un colector primario, mediante el empleo del equipo denominado máquina de baldes.
- Máquina de baldes: Conjunto de dispositivos motorizados constituido por una máquina que jala y otra descargadora, que, unidas por un cable de acero introducido por los buzones de un tramo del colector primario, extrae en un cubículo denominado balde o sapo, los cuerpos extraños existentes en el colector.
- Buzón: Estructura circular que se ubica en cada cierto tramo de los colectores primarios, está compuesto de la base, la media caña, las paredes circulares, el techo, el marco y la tapa, y se utiliza para hacer inspección o mantenimiento al colector primario.
- Pique: Acción por el cual se realiza una excavación puntual sobre el colector primario, para realizar algún tipo de mantenimiento o inspección a las tuberías que forman el colector primario.
- Desatoro: Acción mediante el cual se extrae un cuerpo extraño del colector primario, que está impidiendo el flujo normal de las aguas residuales, provocando que salga por los buzones o se represe aguas arriba.

- Encauzar: Primera actividad que se debe desarrollar ante un aniego, y que consiste en direccionar el flujo del agua residual que discurre por la superficie, hacia el buzón más cercano, evitando que se propague la inundación.
- Emboquillado: Relleno con concreto o material especial para dar un determinado acabado, al tramo de tubería que ingresa al buzón de inspección de un colector.
- Empalme: Trabajos que se ejecutan en el interior y/o exterior a un buzón, para enlazar una red colectora a otra.
- Taponeo: Tapar con un relleno de concreto o material especial, en la boca del tubo, del interior de un buzón, para cortar el flujo de agua residual.
- Apertura de tapón: Retiro del relleno de concreto o material especial, para restituir el flujo de agua residual en el interior de un buzón.
- Resane: Restaurar o reparar los daños defectos de una superficie lisa; particularmente, rellenar con yeso o cemento los huecos de una pared.⁴
- Mejoramiento de mediacaña: Restaurar o reparar la media caña en el interior de un buzón.

CAPÍTULO III DIAGNÓSTICO

Es necesario, antes de proponer solución alguna, describir y diagnosticar el estado actual del sistema de red de recolección primaria en estudio (Lima), siendo ese el objetivo del presente capítulo.

3.1. SISTEMA DE REDES DE RECOLECCIÓN PRIMARIA

El sistema de Recolección Primaria de Lima recoge aproximadamente 18.23 m³/s de aguas residuales, de los cuales el 73% son conducidos a diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y el resto descarga al mar sin tratamiento previo. El Equipo de Recolección Primaria (ERPrim), que es parte de la Gerencia de Gestión de Aguas Residuales (GGAR) de Sedapal es el encargado de las redes de recolección primaria en Lima. (Sedapal, 2014)

3.1.1. Jurisdicción

Provincias de Lima y Constitucional del Callao:

Por el Norte hasta : Ancón
Por el Sur hasta : Pucusana
Por el Este hasta : Chosica
Por el Oeste hasta : Océano Pacífico



Figura 3.1 Mapa de las redes de recolección primarias en Lima
(Fuente: ERPrim, 2017)

3.1.2. Características del sistema de alcantarillado primario de Lima

El sistema de recolección primaria está conformado por tuberías de diversos materiales cuyo diámetro varían desde 350 mm (14") hasta los 2400 mm (72") (Sedapal, 2014), con una longitud total de 1035 km. (Sedapal, 2017)

El distrito de San Juan de Lurigancho tiene la mayor cantidad de conexiones activas (11%), seguida del distrito de San Martín de Porres (7%), mientras que los otros distritos tienen una cantidad considerablemente menor.

Del total de las conexiones activas el 94.6% pertenece a la categoría doméstica, el 4% a la categoría comercial, el 0.4% a la categoría social, el 0.7% a la categoría industrial y el 0.3% a la categoría estatal.

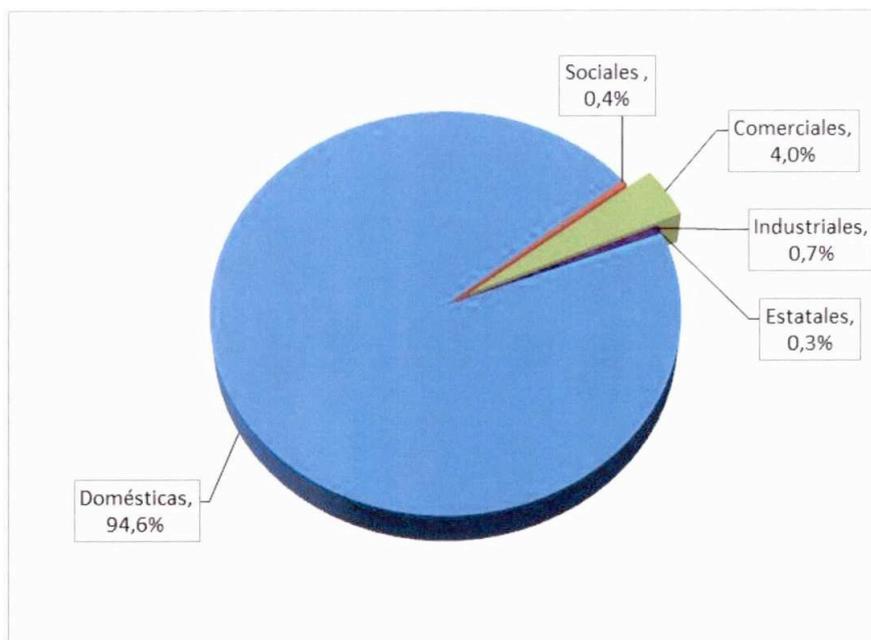


Figura 3.2 Distribución de conexiones de alcantarillado por categoría
(Fuente: Base Comercial Sedapal, 2013)

3.1.2.1. Características según el tipo de material

El material predominante es el concreto simple normalizado (CSN) con un 52% de presencia seguido por PVC (21%).

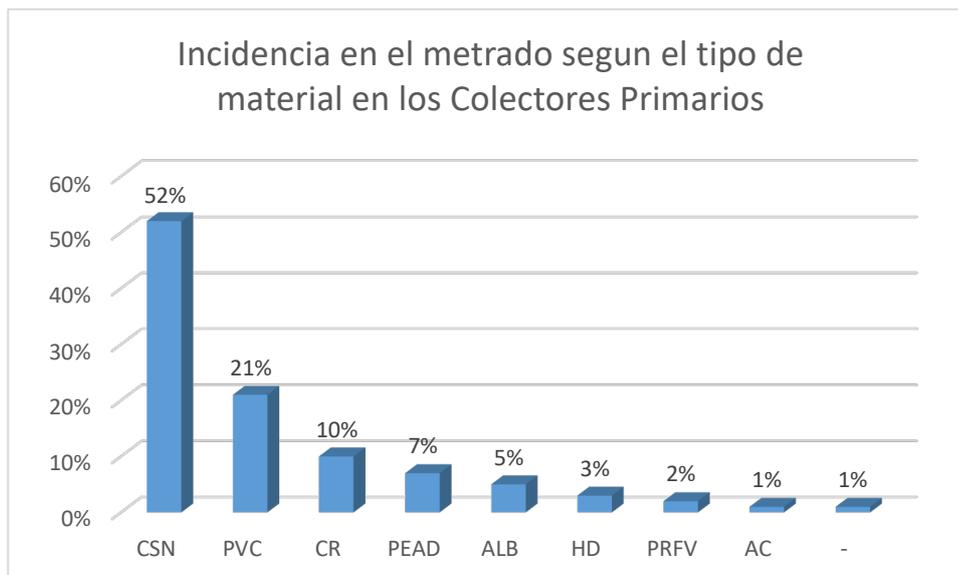


Figura 3.3 Incidencia en el metrado por tipo de material
(Fuente: Elaboración propia con datos de ERPrim, 2017)

3.1.2.2. Características según el diámetro

Los diámetros de mayor incidencia son los de 350 mm (14”) con 167 km, 400 mm (16”) con 110 km, 450 mm (18”) con 114 km, 500 mm (20”) con 75 km y 600 mm (24”) con 98 km, juntos representan más de la mitad de la red de colectores primarios de Lima.

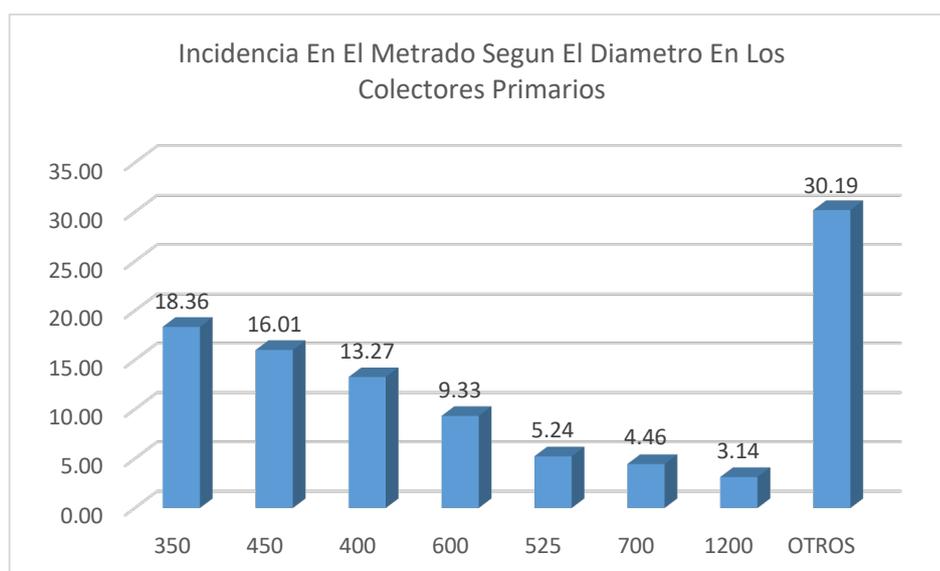


Figura 3.4 Incidencia en el metrado por según el diámetro
(Fuente: Elaboración propia con datos de ERPrim, 2017)

3.1.2.3. Características según su antigüedad

La antigüedad de los colectores primarios es difícil de saber con precisión, pues no se tiene un catastro exacto de este atributo, sin embargo, dividiéndolo por rangos de antigüedad se puede estimar que casi la mitad de los colectores tiene más de 30 años.

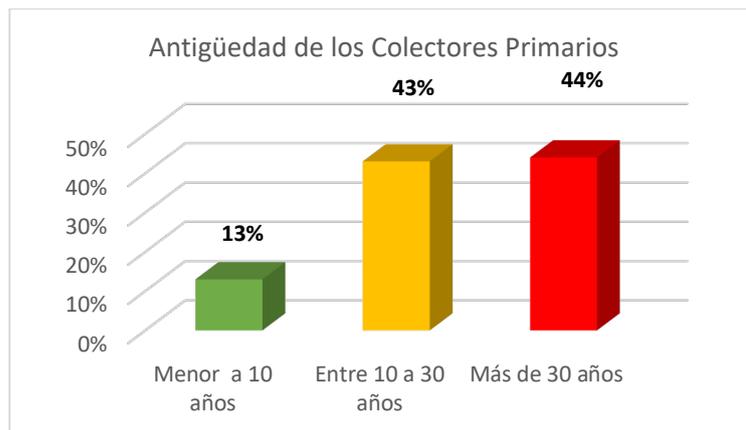


Figura 3.5 Antigüedad de los colectores primarios en Lima
(Fuente: Elaboración propia con datos de ERPrim, 2017)

3.1.2.4. Características según su estado

Sedapal no presenta un registro exacto de dicha información, actualmente dicho atributo está en proceso el catastro, la información disponible indica que solo el 30% de las tuberías tienen una condición calificada como “malo”. Esta descripción de “malo” no se encuentra estandarizada.

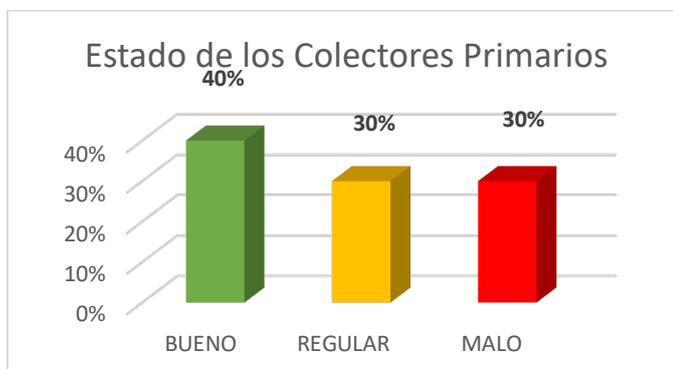


Figura 3.6 Estado de los colectores primarios en Lima
(Fuente: Propia con datos de ERPrim, 2017)

3.1.3. Principales colectores de la red de alcantarillado primario de Lima

El sistema de recolección primaria existente se divide en 18 áreas de drenaje, las cuales evacuan los desagües por gravedad, y que han sido definidas en función a los puntos de descarga final y la topografía del terreno hasta llegar a las plantas de tratamiento de aguas residuales y cursos de agua (Sedapal, 2014).

Es vital conocer los principales colectores y donde se ubican, es por eso que se presenta un mapa y se describe su recorrido, evitándose detalles muy específicos tales como diámetros y material pues la información sería muy vasta, más adelante en el caso de aplicación en un distrito de Lima se elegirá una zona en la cual se presentarán datos más específicos.

Cuadro 3.1 Áreas de drenaje de los colectores primarios de Lima

(Fuente: Sedapal, 2014).

Nº de Área de Drenaje	Colector Primario	Área (Ha)	Longitud total de tuberías primarias (Km)
1	Argentina	1,178.02	27.76
2	Centenario	1,585.54	42.48
3	Chosica	2,295.96	20.10
4	Circunvalación	8,198.77	86.24
5	Nº6	7,435.1	100.58
6	Comas Chillón	11,153.06	125.23
7	Huaycán	833.06	12.03
8	Interceptor Norte	5,046.03	104.66
9	Jerusalén	144.98	1.96
10	Manchay	1,061.91	15.95
11	Morales Duárez	1,417.19	22.88
12	Piedras Gordas	496.89	2.77
13	Puente Piedra	3,833.97	33.15
14	San Juan	599.96	7.11
15	Surco	7,324.22	114.74
16	Ventanilla	1,080.22	17
17	Villa El Salvador	3,066.54	22
18	Villa María	2,731.37	25.4
Total		59,482.79	782.04

3.1.3.1. Colector Argentina

Recorre la Av. Argentina, recibiendo descargas de 20 subáreas pertenecientes a los distritos de Lima, Carmen de la Legua-Reynoso, Callao, Bellavista, San Miguel y Breña. Tiene su descarga final en una cámara de reunión donde se inicia el colector Centenario Antiguo. Recibe descargas de los siguientes colectores: N°10, N°5, Los Cipreses, Tarapacá, San José y Pilsen Callao.

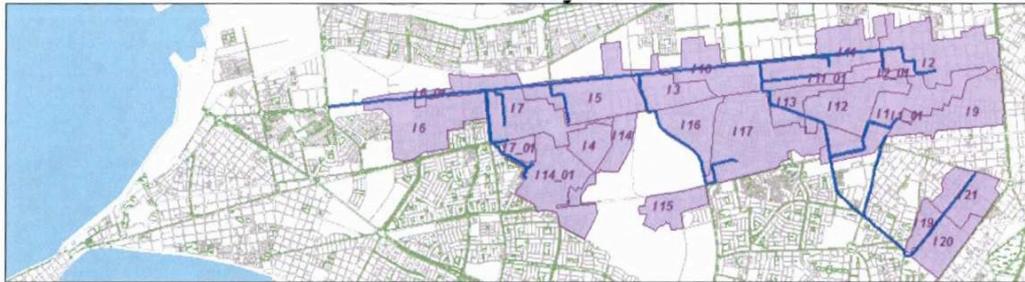


Figura 3.7 Colector Argentina y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.2. Colector Centenario

Recorre la Av. Néstor Gambeta, el asentamiento humano Sarita Colonia, para el colector nuevo y por Ransa hasta su descarga en el mar para el colector Centenario antiguo. Recibe descarga de los siguientes colectores: Maranga, alivio avenida Venezuela, La Perla, Arica, Argentina, 19 (Morales Duárez).

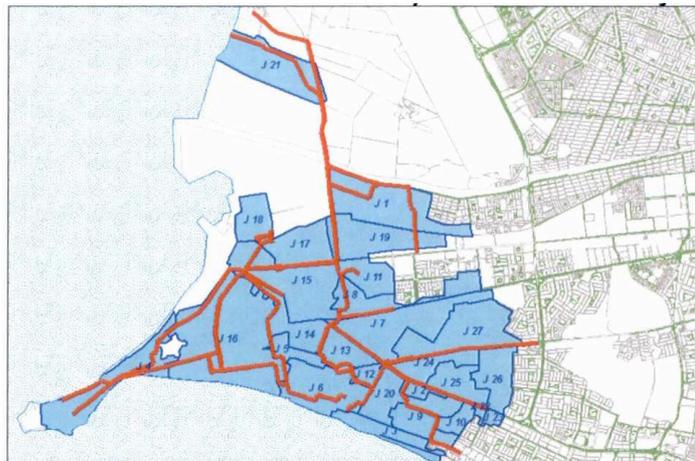


Figura 3.8 Colector Centenario y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.3. Colector Chosica

Recorre los distritos de Santa Eulalia con Ricardo Palma en la provincia de Huarochirí, continuando por la carretera Central hasta descargar en la PTAR Carapongo en Ate, a la altura de Huaycán. Recolecta los desagües de la ciudad de Chosica y localidades como Chaclacayo, Ñaña, La Cantuta, etc.

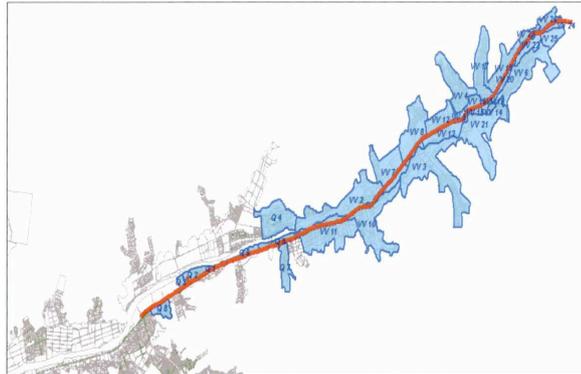


Figura 3.9 Colector Chosica y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.4. Colector Circunvalación

Se inicia en la intersección de la avenida Javier Prado con la calle Holguín, prosigue con las avenidas emancipación, El Polo, Angamos Este, Alonso de molina, Circunvalación, Caminos del inca, Guardia Civil Norte, El Sol, Matellini, hasta empalma con el colector Surco en la intersección de la Av. México con el pasaje Julio Calero en Chorrillos.



Figura 3.10 Colector Circunvalación y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.5. Colector N°6

Se inicia en la Plaza de Acho y continua por la calle Loreto, Zarumilla, Perú, Quilca, cruza el aeropuerto Jorge Chávez hasta descargar en el Interceptor Norte. Recibe descarga de los siguientes colectores: Canto Grande, Emisor Wiese, Bayóvar, Las Flores, Piedra Liza, La Huayrona, Zárate, Amancaes, Habich.

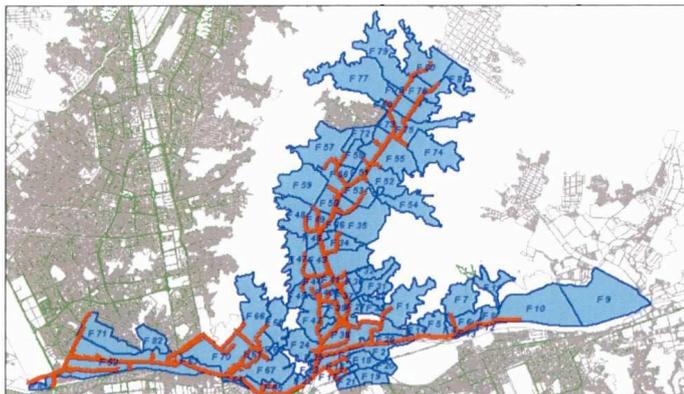


Figura 3.11 Colector N°6 y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.6. Colector Comas Chillón

En él descargan los desagües de Carabayllo, Comas, Los Olivos, San Martín de Porres e Independencia, recibiendo aportes de los siguientes colectores: Sangarará, Casanave, Metropolitana, Ingeniería, Nuevo Ingeniería, Infantas, Palao, Limoncillo, Naranjal N°1, Naranjal N°2, Garagay, Garagay Auxiliar N°1, Collique, N°1 Año Nuevo, Carabayllo, 13 y 17, San Diego, Naranjal y Tungasuca.

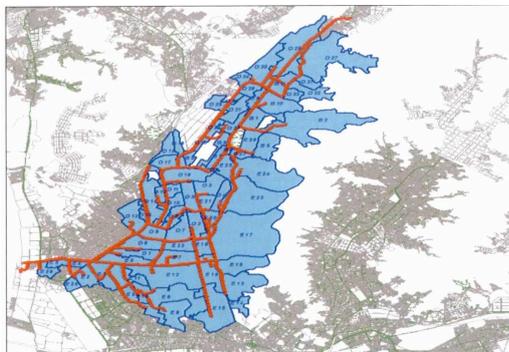


Figura 3.12 Colector Comas Chillón y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.7. Colector Huaycán

Recolecta los desagües de Huaycán y el AA. HH Horacio Zevallos en el distrito de Ate, pasa por El Descanso de Huaycán, continua por Circunvalación hasta descarga en el Colector Chosica al ingreso de la PTAR Carapongo.

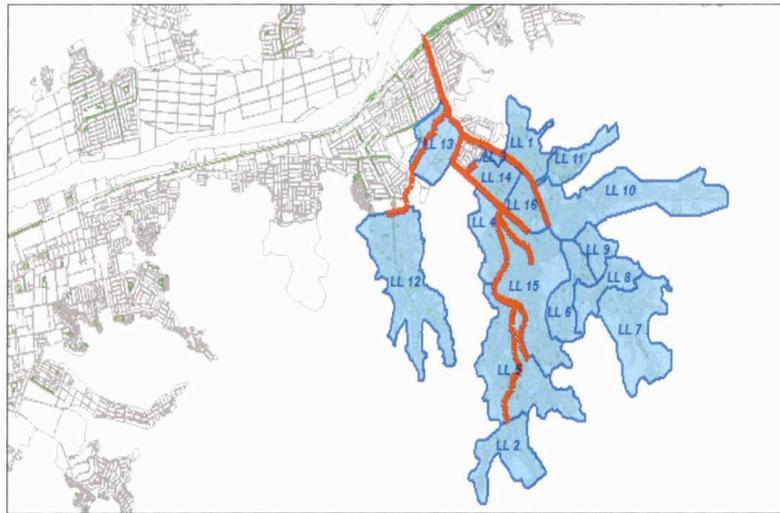


Figura 3.13 Colector Huaycán y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.8. Colector Interceptor Norte

Inicia captando los aportes del colector Costanero en el cruce de la Av. La Paz y la calle 2 de mayo, continúan por la avenida Libertad e Insurgentes, recolectando los desagües del colector La Marina, prosigue por las avenidas Astete y el pasaje El Sol.

Cruza el río Rímac, el aeropuerto Jorge Chávez, hasta interceptar al colector N°6, luego al colector Bocanegra hasta llegar a la PTAR Taboada. Recibe las descargas de los siguientes colectores: Shell, Los Mirtos, Camino Real, Salaverry, N°12, Sucre, San Miguelito, 1-San Miguel, Maranga.

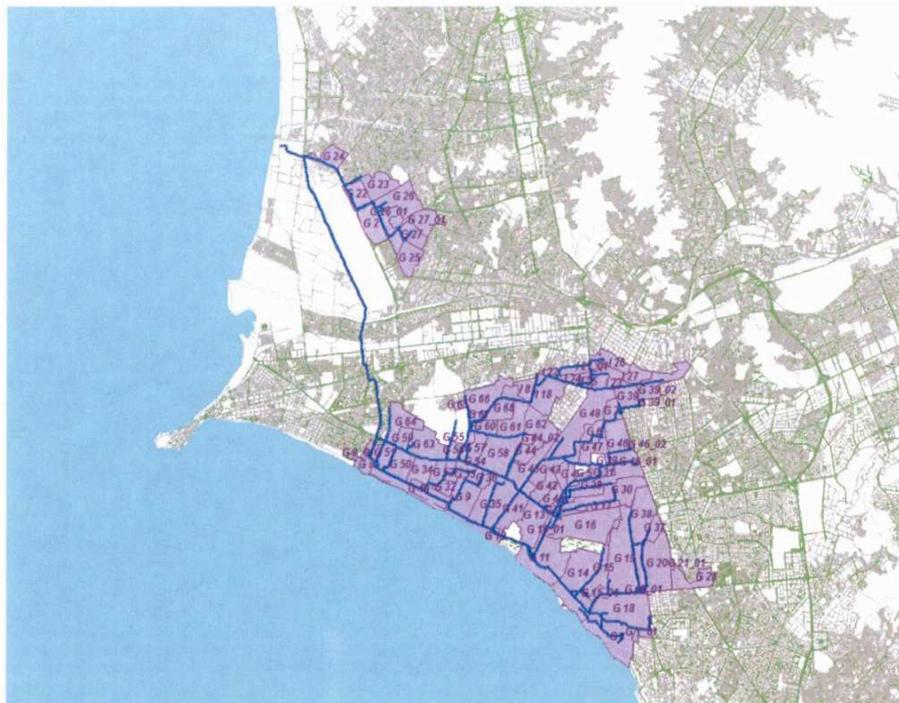


Figura 3.14 Interceptor Norte y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.9. Colector Jerusalén

Recolecta los desagües del distrito de puente piedra, recorre la carretera panamericana norte y tiene su descarga final en la PTAR Jerusalén.



Figura 3.15 Colector Jerusalén y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.10. Colector Manchay

Recibe las descargas del distrito de Pachacámac, recorriendo la Av. Víctor Malásquez, descargando en la PTAR Manchay.



Figura 3.16 Colector Manchay y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.11. Colector Morales Duárez

Recorre la Av. Morales Duárez hasta descargar en el colector Centenario ubicado en la avenida Néstor Gambetta.

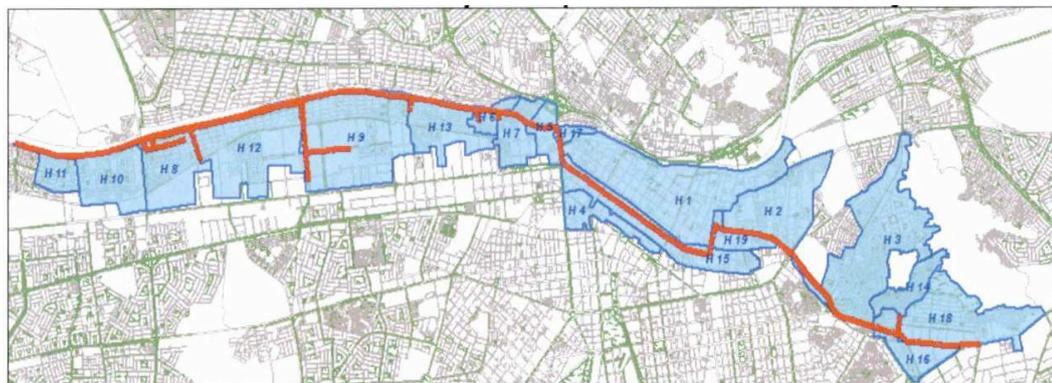


Figura 3.17 Morales Duárez y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.12. Colector Piedras Gordas

Descarga en la PTAR Piedras Gordas, conduce los desagües de varios asentamientos humanos en los distritos de Ancón y Ventanilla.

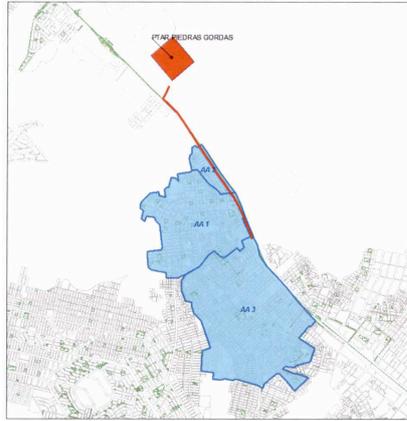


Figura 3.18 Colector Piedras Gordas y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.13. Colector Puente Piedra

Inicia en la intersección de las Av. Tarapacá con Buenos Aires en Zapallal dentro del distrito de puente piedra, su trazo sigue la Av. Buenos Aires, Panamericana Norte, Malecón Chillón, San Diego y Santa María hasta llegar a la PTAR Puente Piedra ubicada en el Ex Fundo Chuquitanta en el distrito de San Martín de Porres. Recoge las descargas de los colectores: Gloriabamba, N°4, Santa María, Parque Industrial Las Vegas.

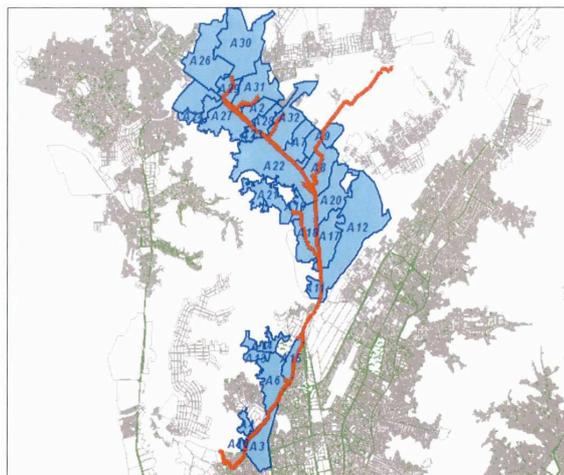


Figura 3.19 Colector Puente Piedra y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.14. Colector San Juan

Su trazo recibe descargas del colector Villa El Salvador y de habilitaciones en los distritos de San Juan de Miraflores y Villa El Salvador. Su trazo recorre las avenidas Mariano Pastor, Alcides Vigo hasta empalmar con el Colector Circunvalación en la avenida Guardia Civil Norte

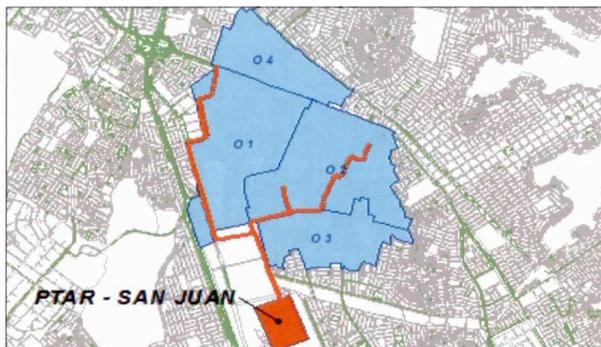


Figura 3.20 Colector San Juan y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.15. Colector Surco

Recibe el 26% del total del desagüe generado por la ciudad, su trazo se efectúa por las avenidas Paseo de la República, República de Panamá, Tomas Marsano, Surco, México e ingresa a un túnel con descarga en la PTAR La Chira. Recibe descarga de los Colectores México, N°13, Javier Prado, San Borja, 22, San Roque, 23 y Armendáriz.

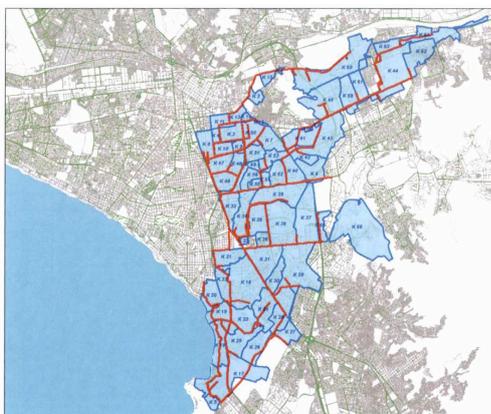


Figura 3.21 Colector Surco y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.16. Colector Ventanilla

Inicia en el cruce de la calle Alfa con el Pasaje de las Águilas y prosigue por zonas eriazas hasta descargar en la PTAR Ventanilla. Recolectando los desagües de los siguientes colectores: Ciudad del Deporte, Villamoto y Mi Perú.

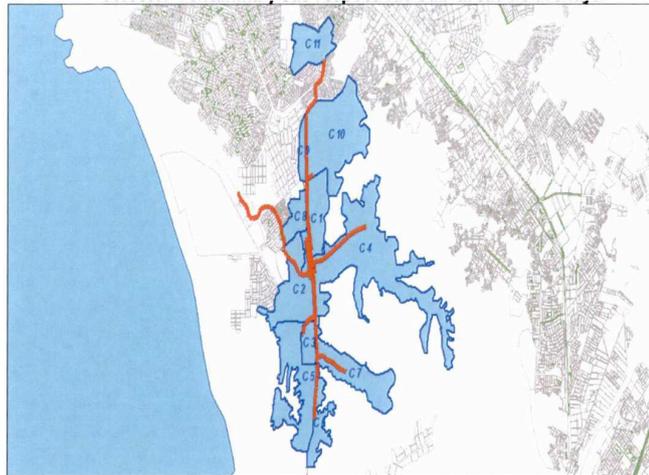


Figura 3.22 Colector Ventanilla y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.17. Colector Villa el Salvador

Recibe descargas de los distritos de Villa el Salvador, parte de Villa María del Triunfo y San Juan de Miraflores.

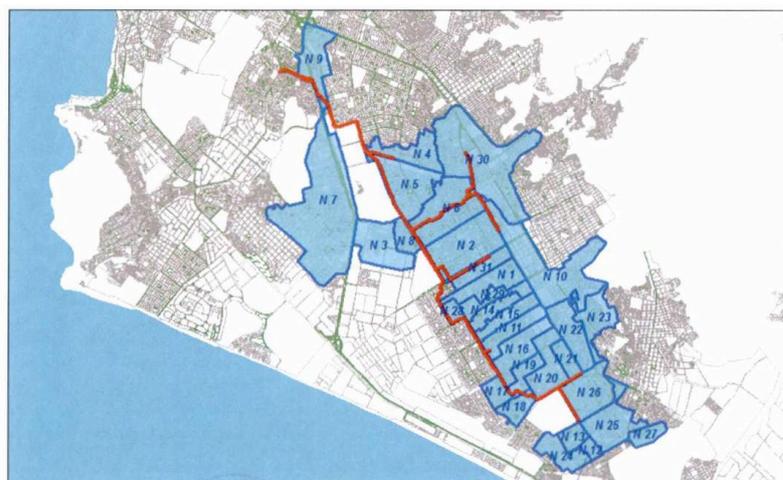


Figura 3.23 Colector Villa el Salvador y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.3.18. Colector Villa María

Recorre la calle Gabriel Torres, la Av. Los Héroes, la Panamericana Sur, la Av. Tomas Marsano con descarga en el colector Circunvalación que pasa por la Av. De Los Próceres.

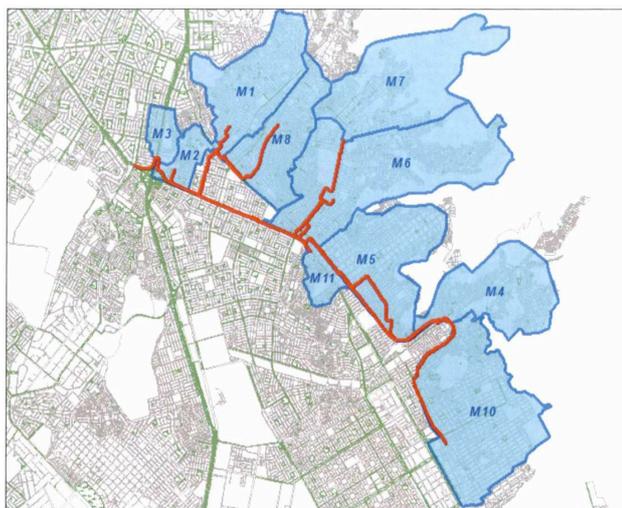


Figura 3.24 Colector Villa María y sus respectivas subáreas de drenaje
(Fuente: Sedapal, 2014)

3.1.4. Mantenimiento preventivo del sistema de recolección primaria

En esta sección se describirán las actividades de inspección y limpiezas de carácter preventivo que se realizan a las redes de recolección primaria en Lima.

3.1.4.1. Inspecciones

En Lima se realizan dos tipos de inspecciones:

a) Visual

Esta actividad realiza 25 km de inspección al mes, en 3 años se completa la inspección total de toda la red de colectores primarios, no existe un orden establecido acerca de qué colector inspeccionar primero ni dentro de ese colector en que tramo empezar primero. Los estados de los colectores no están registrados en la base SIG de la EPS, únicamente en físico y de forma no estandarizada.

Personal:

- Un técnico, un chofer y dos operarios

Inventario de máquinas, equipos y herramientas:

- Varillas de Inspección, pico, lampa, barreta, combas, detector de metales, conos de seguridad, cintra métrica 3 - 5 m, cinta métrica 30m, llaves de apertura de buzón, cinceles, puntas, arnés, guantes de cuero.
- EPP: guantes de jebe, botines punta acerada, casco, respirador con filtro de gases ácidos y orgánicos, chaleco fosforescente, lentes de seguridad.
- EPC: Cinturón de Seguridad, tranqueras, conos de seguridad, señales hombres trabajando, cintas señalizadores.
- Indumentaria: polo, camisa m/larga, camisa m/corta, pantalón, casaca.

Descripción de la actividad:

La cuadrilla va a campo, señaliza su área de trabajo, abre la tapa de los buzones, introduce una varilla en el buzón, según la dificultad que tenga para llegar al fondo de la tubería, estima la cantidad de sedimentos, mide el tirante, revisa el estado general de la tapa, media caña, techo, paredes y realiza una valoración de “bueno”, “regular” o “malo” según el criterio del técnico. Al avanzar al siguiente buzón a inspeccionar, miden dicha distancia.



Figura 3.25 Operario realizando inspección visual
(Fuente: ERPrim, 2014)

b) Televisiva (CCTV)

Esta actividad realiza 400 metros lineales de inspección al mes, debido al bajo ritmo de esta actividad es imposible realizar la inspección televisiva a toda la red (demoraría más de 150 años al ritmo actual), por lo que se debe dar otro enfoque a las inspecciones de modo que sean más útiles. La información es registrada en el sistema GIS y es la más confiable que dispone la EPS, pero no se cuenta con un método estandarizado de valorar el estado de la tubería que se muestra en el video.

Personal:

- Un técnico, un chofer, dos operarios.

Inventario de máquinas, equipos y herramientas:

- Sistema de inspección televisiva y laptop con el software de valoración.
- Unidad Móvil Bóxer de 3 toneladas.
- Agua potable en galones
- Detector de metal
- Detector de gases
- Herramientas: pico, lampa, comba 12lbs, escalera, cinta métrica de 60 metros, varilla de medición, barreta, soga, llaves para tapas, generador eléctrico, gancho y soga.
- Indumentaria personal: pantalón, polo/camisa con manga larga y/o casaca, protector de cabeza cuello.
- EPP: Casco de protección, lentes de protección, respirador de media cara con filtro de gases, chaleco reflectivo, guantes de jebe, guantes de cuero, guantes de látex desechable, botín de cuero, botas altas, arnés y línea de vida con amortiguador de impacto, bloqueador solar.
- EPC: Conos, barra retráctil, tranqueras.

Descripción de la Actividad:

El personal debe trasladarse al lugar, delimitar y señalizar, ubicar el buzón, abrir el buzón, tomar datos como diámetro, profundidad y tirante. Sobre la base de estos resultados la actividad es realizada únicamente si el caudal lo permite, en todos los casos el carro móvil es asegurado por un cable (ver cable amarillo de la figura III.26) atado a un carrete que se encuentra sujeto a la camioneta tipo “van” que traslada al personal. Si las condiciones lo permiten se procede a instalar el sistema de inspección televisiva, ingresar el carro móvil (robot y cámara), operar el sistema, rescatar el carro móvil, limpiar los equipos y volver al centro operativo.

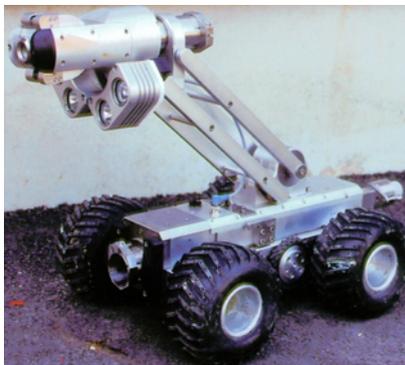


Figura 3.26 Operarios instalando el carro móvil
(Fuente: ERPrim, 2014)

3.1.4.2. Limpieza

Respecto a limpiezas preventivas, se utilizan dos tipos:

a) *Mecánica*

Es utilizada según necesidad, debiéndose limpiar al menos 1.7 km de tubería al mes. Su programación depende de las inspecciones visuales y es principalmente reactivo.

Personal:

- Un técnico, un chofer y tres operarios

Inventario de máquinas, equipos y herramientas:

- Camioneta
- Juego de máquina de baldes
- Llaves
- Soga
- EPP: casco de seguridad, botines de cuero p/acrílica, respirador con filtro de gases, lentes, guantes de cuero, guantes de jebe, protector de cabeza y cuello.
- EPC: Conos de seguridad, cintas de seguridad, chaleco de seguridad
Indumentaria: polo manga larga, camisa manga larga, pantalón.

Descripción de la actividad:

El personal junto con los equipos y remolque de máquinas deben trasladarse al lugar, acondicionar su zona de trabajo (señalizar y ubicar las máquinas de baldes), abrir la tapa del buzón, pasar el cable de aguas arriba a aguas abajo, cablear e instalar la máquina de balde, operar, realizar el acondicionamiento final (retiro de materiales, carga de implementos de trabajo) y regresar al centro operativo



Figura 3.27 Máquina de balde en operación
(Fuente: ERPrim, 2014)

b) Hidráulica

Actualmente esta actividad la cual se lleva a cabo con un camión Hidro Jet está en planes de ser cesada pues la actividad aún no está bien definida. Sin embargo, es parte vital del programa de limpieza preventivo y correctivo.

Personal:

- Un técnico, un chofer y un operario

Inventario de máquinas, equipos y herramientas:

- Camión Hidrojet
- EPP: casco de seguridad, botines de cuero p/acrílica, respirador con filtro de gases, lentes, guantes de cuero, guantes de jebe, protector de cabeza y cuello,
- EPC: Conos de seguridad, cintas de seguridad, chaleco de seguridad
Indumentaria: polo manga larga, camisa m/larga, pantalón



Figura 3.28 Máquinas Hidrojet durante un aniego
(Fuente: ERPrim, 2014)

3.2. PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LOS COLECTORES PRIMARIOS EN LIMA

En el Capítulo I Introducción se identificaron los principales problemas en los colectores primarios, en esta sección se detallarán donde se presentan dichos problemas.

3.2.1. Problemas de descarga - denuncias ambientales

- a) Descarga de colector Nuevo Centenario: Hace más de 40 años el colector descarga directamente al mar, la falta de una línea de emergencia de la EBAR Sarita Colonia imposibilita derivar las aguas a la PTAR Taboada.



Figura 3.29 Problemas de descarga del colector Centenario
(Fuente: ERPrim, 2014)

- b) Descarga del Emisor Venecia: El 04 de julio del 2014 un fuerte oleaje arrancó el Emisario, ocasionando que la descarga se ubique en la orilla.



Figura 3.30 Problemas de descarga del emisor Venecia
(Fuente: ERPrim, 2014)

3.2.2. Problemas de aniegos por falta de capacidad

Se da debido al aumento de los aportes de caudales de los colectores alimentadores o el deterioro de la capacidad hidráulica de los colectores primarios debido a obstrucciones, los principales problemas actuales son:

- a) Colector Circunvalación: Advertida su problemática desde el año 2000



Figura 3.31 Máquina Hidro-Jet bombeando aguas residuales en Chorrillos
(Fuente: ERPrim, 2017)

b) Colector 6: Advertida su problemática desde el año 2008

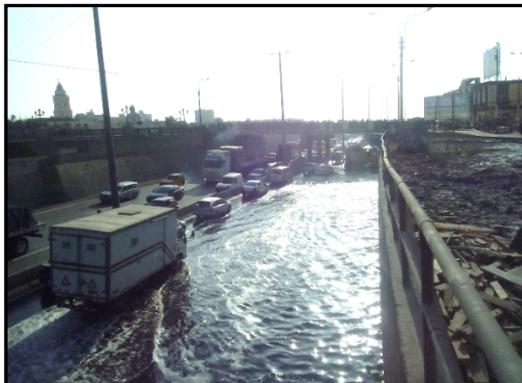


Figura 3.32 Máquina Hidro-Jet bombeando aguas residuales en el Rímac
(Fuente: ERPrim, 2017)

c) Colector Ceres: Advertida su problemática desde el año 2009



Figura 3.33 Máquina Hidro-Jet bombeando aguas residuales en el Rímac
(Fuente: ERPrim, 2017)

d) Colector Los Chancas: Advertida su problemática desde el año 2012



Figura 3.34 Aniego en la av. Los Chancas
(Fuente: ERPrim, 2017)

3.2.2.1. *Problemas de falta de capacidad – colectores recientes*

- a) Colector Puente Piedra: Diez años de operación y trabaja al 100%.
- b) Colector Aliviadero Naranjal: Nueve años de operación y trabaja al 90%.
- c) Colector Aeropuerto: un año de operación y trabaja al 75%.

3.2.2.2. *Problemas de falta de capacidad – colectores antiguos*

- a) Colector Comas: varios tramos trabajan al 90%.
- b) Colector Surco: varios tramos trabajan al 90%.

3.2.3. Problemas de colapsos por antigüedad

- a) Colector La Huayrona: aprox. 4.1 km / 04 colapsos
- b) Colector La Marina: aprox. 1.1 km / 01 colapso
- c) Colector Brasil: aprox. 1.2 km / 01 colapso
- d) Colector Ancón: aprox. 3.2 km / 01 colapso
- e) Colector Universitaria: aprox. 0.8 km / 02 colapsos
- f) Colector Tayacaja: aprox. 2.2 km / 01 colapso

CAPÍTULO IV

PROPUESTA

En el presente trabajo se propone como solución al problema principal un plan de mantenimiento preventivo de colectores primarios con el objetivo de identificar y priorizar los colectores que requieren mantenimiento preventivo y de esa manera disminuir el riesgo de aniegos.

4.1. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE COLECTORES PRIMARIOS

La propuesta contempla dos tipos de metodología: una de inspección televisiva estandarizada de evaluación estructural y una metodología de priorización de colectores.

4.1.1. Metodología de Inspección Televisiva Estandarizada (CCTV)

Las inspecciones televisivas deben realizarse inmediatamente después de que se realiza la limpieza de los colectores primarios o dentro de los 7 días siguientes (ERPrim, 2016). El cronograma de inspecciones televisivas tiene como base al cronograma de limpiezas de colectores. Debido al poco margen que debe haber entre la limpieza y las inspecciones televisivas, éstas deberían en lo ideal cubrir similar cantidad de metros lineales al mes.

Para poder utilizar la información recopilada por las inspecciones televisivas y poder darle uso, es necesario interpretarlas y para ello se necesita de un software que procese las observaciones de campo y que mediante un método de evaluación de condición estructural y operacional de la tubería provea de un índice (este generalmente varía del 1 al 5) que nos permita sintetizar e interpretar la información, ejemplo: el método PACP descrito en el Capítulo II.

Los requerimientos necesarios para la implementación de una metodología de evaluación de condición de tuberías son 2 principalmente:

- Adoptar, adaptar o crear una nueva metodología que sea aplicable en nuestro entorno.
- Capacitar al personal para poder efectuar las inspecciones de manera competente. Es decir, se les debe entrenar en la manera de reconocer las fallas estructurales y operativas dentro de la tubería, según lo descrito en la metodología adoptada.

De las metodologías mencionadas en el capítulo “II Fundamento teórico” se debe elegir una de ellas como metodología base, para ello se deben definir los criterios de selección que mejor se acoplen a la empresa y su entorno.

4.1.1.1. Elección de metodología base:

Para la selección de la metodología base es posible elegir aquella que posea más información libre dado que la gran mayoría de métodos toman como base los estándares norteamericanos o británicos.

4.1.1.2. Adaptación de la metodología base adoptada:

Se recomienda adoptar el sistema de valoración de los defectos, sin embargo, siempre será necesario eliminar y/o adoptar los tipos de defectos a la realidad del lugar de aplicación.

4.1.1.3. Validación de defectos no aplicables a nuestra realidad:

Mediante la validación de ingenieros expertos en el tema se debe elegir qué defectos no son aplicables a la realidad de la EPS que lo aplicará. Para ello se propone la siguiente encuesta, la cual tiene carácter indicativo y puede ser reemplazada por reuniones en las cuales se discuta el tema.

Cuadro 4.1 Propuesta de cuadro para la adaptación de la metodología
(Fuente: Elaboración propia).

Defectos	Ingeniero #	
	¿Aplica?	¿Propone Cambio de Nombre?

4.1.1.4. *Propuesta metodología adaptada CCTV:*

Una vez se tengan defectos definidos a la realidad específica de cada EPS se construirá la metodología final a usar.

Cuadro 4.2 Propuesta de cuadro para la metodología final a usar
(Fuente: Elaboración propia)

Código	Descripción	Severidad		
		S	M	L

4.1.1.5. *Operación piloto*

- Capacitaciones

Con el objetivo de capacitar al personal operativo se deberá elaborar una guía de notación, a continuación, se muestra un modelo.

Cuadro 4.3 Propuesta modelo de guía de anotación
(Fuente: Elaboración propia)

Cód.	Descripción	S	M	L

- Formatos de Reporte:

Con el objetivo de estandarizar los reportes de campo, se recomienda implementar una herramienta informática en la cual se registren los defectos, sus puntuaciones y el resultado final de la evaluación.

- Integración SIG

Terminada la evaluación es recomendable registrar la información en un sistema de información geográfico (SIG) como ArcGIS o Qgis a fin de sintetizar la información de la evaluación. A continuación, se adjunta un modelo de presentación.

Cuadro 4.4 Propuesta de tabla de resultados

(Fuente: Elaboración propia)

Código Tramo	Coficiente estructural	Coficiente operacional	Fecha CCTV

4.1.2. Metodología de priorización

El objetivo de la metodología de priorización es establecer un “índice de reposición” que permita priorizar los tramos de la red de alcantarillado según su riesgo de falla, y de esa forma identificar los tramos críticos que requieran atención inmediata y programar el mantenimiento del resto de los tramos en el corto, mediano y largo plazo.

El riesgo de falla se define como la combinación de dos factores: la probabilidad de ocurrencia de la falla y las consecuencias que ésta puede originar en el medioambiente y/o la sociedad. Según el riesgo que posea el tramo de tubería, la atención requerida será diferente. En la siguiente tabla se muestra la relación entre probabilidad, consecuencia y riesgo de falla.

Cuadro 4.5 Matriz de riesgo
(Fuente: Elaboración propia con datos de EPA, 2015)

Probabilidad de falla		Consecuencias en el medioambiente y/o sociedad				
		Insignificante	Leve	Moderado	Importante	Catastrófico
		1	2	3	4	5
Inminente	5	Leve	Moderado	Alto	Crítico	Crítico
Alta	4	–	Leve	Moderado	Alto	Crítico
Moderada	3	–	–	Leve	Moderado	Alto
Baja	2	–	–	–	Leve	Moderado
Insignificante	1	–	–	–	–	Leve

A fin de cuantificar el cuadro IV.5 es necesario identificar y seleccionar las variables adecuadas que permitan estimar la probabilidad y consecuencia de falla de un tramo de tubería, definir las y en base a ellas establecer un índice de reposición del tramo (IR). El método más simple para evaluar los indicadores de forma numérica es mediante una escala del 1 al 5. Esta escala específica no es que sea de vital importancia, pero una escala del 1 al 5 es también usada en el programa de evaluación de condición de tuberías desarrollado por NASSCO.

4.1.2.1. Identificación y selección de variables

Se procederá a identificar todas las posibles variables que tienen influencia en la probabilidad y consecuencia de falla, luego, según la disponibilidad de datos y la facilidad para obtener dichos datos que disponga la EPS se seleccionará las variables más adecuadas. Un ejemplo es presentado a continuación:

Cuadro 4.6 Identificación y selección de variables
(Fuente: Elaboración propia)

Identificación y selección de variables	
Probabilidad de Falla	Consecuencia de falla
<ul style="list-style-type: none"> • Edad y material de la tubería • Número de colapsos en el tiempo • Evaluación Televisiva (estructural y funcional) 	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro • Longitud • Capacidad Hidráulica • Tipo de vía • Densidad • Profundidad • Línea de impulsión

4.1.2.2. Elaboración de indicadores

A. Elaboración del indicador de probabilidad (P)

La principal forma de estimar la probabilidad de falla de una tubería es mediante una evaluación estructural y operacional realizada con una unidad de inspección televisiva (CCTV), sin embargo, debido a que no todas las EPS cuentan con dicho equipamiento, se describe un método alternativo. A continuación, se presentan ambos métodos de cálculo de P.

- i) Evaluación estructural y de capacidad mediante CCTV.

Si se ha realizado una evaluación televisiva, el indicador P se estimará como:

$$P = \frac{\text{Coeficiente estructural} + \text{Coeficiente operacional}}{2}$$

- ii) Método alternativo basado en la edad, material e histórico de colapsos.

Una tubería nueva recién instalada tendrá, naturalmente, menos probabilidad de falla que una que ya haya cumplido su período de vida útil. Sin embargo, tomar únicamente la edad como indicador no es suficiente, también se debe tener en

cuenta el material pues una tubería de polietileno, por ejemplo, será más resistente en el tiempo que una de asbesto cemento. Asimismo, el histórico de fallas en los colectores es un indicador valioso para estimar la probabilidad de falla debido a factores ajenos a los estimados por la edad y el material. De esa forma podemos establecer los siguientes dos subindicadores basados en la selección de variables hecha previamente:

- Edad y material de la tubería:

La vida útil del material de la tubería se puede utilizar para normalizar las puntuaciones porque los materiales de la tubería tienen una diferente esperanza de vida estimada. En general, a medida que una tubería envejece, tiene una mayor probabilidad de estar en un estado más crítico. En base a lo anterior, se establece el subindicador 1.

Cuadro 4.7 Subindicador P1
 (Fuente: Elaboración propia)

Material	Vida Útil (años)	Subindicador P1					
		0	1	2	3	4	5
Concreto Simple Normalizado (CSN)	65 ¹	0-13	13-26	26-39	39-52	52-65	65-
Concreto Reforzado (CR)	65 ²	0-13	13-26	26-39	39-52	52-65	65-
Polietileno (PVC)	85 ³	0-17	17-34	34-51	51-68	68-85	85-

¹ (American Water Works Association)

² (American Water Works Association)

³ (Connectra Fusion Technologies, LLC)

- Número de colapsos en el tiempo:

El histórico de colapsos de una tubería es un excelente indicador de que tan probable es que vuelva a fallar, de esa forma es posible identificar los tramos “problemáticos” debidos a factores diferentes de la antigüedad de la tubería que usualmente son difíciles de identificar. A mayor cantidad de colapsos por año, mayor será la probabilidad de falla. En base a lo anterior, se establece el subindicador 2:

Cuadro 4.8 Subindicador P2
(Fuente: Elaboración propia)

Formula	Subindicador P2
(#colapsos/año) = 0	1
(#colapsos/año) = 1 o 2	3
(#colapsos/año) >= 3	5

A fin de tomar en cuenta la influencia específica de cada subindicador, estos se ponderarán según su importancia estimada para la EPS, por lo tanto, el indicador P se calculará como sigue:

$$P = W1 \times P1 + W2 \times P2$$

Donde W1 y W2 son los pesos asignados, suman 100% y están expresados en porcentajes según su importancia definida por la EPS.

B. Elaboración del indicador de Consecuencia (C)

En base a la selección de variables realizada, se procederá a definir los subindicadores de C basados en ellas.

(i) Diámetro (d)

Para este estudio, se utilizó el diámetro de la tubería para aproximar el flujo a través de las tuberías de alcantarillado. Los tubos más pequeños tienen menos capacidad en comparación con los tubos más grandes. Si una tubería se rompe y

se produce un aniego, las tuberías más grandes tendrán una mayor consecuencia ambiental potencial debido a su mayor capacidad máxima.

Cuadro 4.9 Subindicador C1

(Fuente: Elaboración propia)

Diámetro de la tubería (mm)	Subindicador C1
350 - 500	1
500 - 800	2
800 - 1000	3
1000 -1500	4
1500 -	5

(ii) Longitud (L)

A mayor longitud de la tubería, mayor costo y dificultad de reparación, y por ende de darse una falla, se requeriría clausurar la vía y una mayor inversión.

Cuadro 4.10 Subindicador C2

(Fuente: Elaboración propia)

Longitud (m)	Subindicador C2
0 - 500	1
500 - 1200	3
1200 -	5

(iii) Capacidad Hidráulica (CH)

El diámetro de una tubería por sí solo no indica la cantidad de flujo de aguas negras transportado en ella, es necesario considerar el concepto de capacidad hidráulica, que es calculada como el porcentaje del tirante respecto al diámetro.

Cuadro 4.11 Subindicador C3

(Fuente: Elaboración propia)

Capacidad Hidráulica (%)	Subindicador C3
0 - 50	1
50 - 75	3
75 -	5

(iv) Tipo de vía (V)

Si el tramo de tubería se encuentra debajo de una vía de alto tránsito, el impacto que tendría de darse un aniego sería elevado, dado que causaría la paralización del alto tránsito y afectaría económicamente los comercios de la zona.

Cuadro 4.12 Subindicador C4

(Fuente: Elaboración propia)

Formula	Subindicador C4
Vía Vecinal	0
Vía colectora	1
Vía arterial	3
Vía metropolitana	5

A fin de tomar en cuenta la influencia específica de cada subindicador, estos se ponderarán según su importancia estimada para la EPS, por lo tanto, el indicador C se calculará como sigue:

$$C = W3 \times C1 + W4 \times C2 + W5 \times C3 + W6 \times C4$$

Donde W3, W4, W5 Y W6 son los pesos asignados, suman 100% y están expresados en porcentajes según su importancia definida por la EPS.

4.1.2.3. *Elaboración del Índice de Reposición de la tubería (IR)*

El índice de reposición de la tubería nos permite estimar el riesgo de falla, y se calcula como:

$$IR = \frac{P + C}{2}$$

Donde P es el “indicador de probabilidad de falla” y C es el “indicador de consecuencia de falla” de tal forma que describa lo presentado en el cuadro No. IV.1. Valores altos de IR requerirán atención inmediata, valores intermedios monitoreo intensivo y programado y valores bajos monitoreo aleatorio. Lo anterior se puede sintetizar en el cuadro IV.13:

Cuadro 4.13 Análisis de riesgo según el índice de reposición
 (Fuente: Elaboración propia)

IR	Riesgo	Acción
$IR \geq 4$	Crítico	Colapso Inminente, requiere atención (rehabilitación o reemplazo) dentro de los próximos 12 meses a la evaluación
$3 \leq IR \leq 4$	Alto	Requiere monitoreo intensivo, y rehabilitación o reemplazo dentro de los próximos 5 años.
$2 \leq IR \leq 3$	Moderado	Requiere monitoreo aleatorio y rehabilitación o reemplazo dentro de los próximos 10 años.
$1 \leq IR \leq 2$	Leve	Requiere monitoreo aleatorio y rehabilitación o reemplazo dentro de los próximos 20 años.
$IR \leq 1$	–	Sin acción

CAPÍTULO V APLICACIÓN

El objetivo del presente capítulo es aplicar la metodología descrita en el capítulo “IV Propuesta” a fin mostrar la aplicación de la propuesta en una localidad real y con datos reales (un distrito de Lima) y que esto permita mejorar la comprensión de la propuesta y mostrar al lector los diferentes problemas que se pueden presentar durante su aplicación. En el capítulo “III Diagnóstico” se realizó el diagnóstico general de toda la red de alcantarillado de Lima. En este capítulo se profundizará el diagnóstico para el distrito de aplicación

5.1. SELECCIÓN DEL LUGAR DE APLICACIÓN

El lugar de aplicación elegido es el distrito de San Juan de Lurigancho, en primer lugar, por la familiaridad del autor con la zona, y en segundo lugar por lo representativo que es el distrito, dado su cantidad de habitantes 1'091,000 (INEI, 2015) tiene casi la misma población que todo el departamento de Arequipa, 1'287,000 (INEI, 2015). Es decir, el análisis del distrito San Juan de Lurigancho podría reflejar lo que una EPS se puede enfrentar al aplicarlo en una gran ciudad.

5.2. DIAGNÓSTICO DEL LUGAR DE APLICACIÓN

5.2.1. Jurisdicción

Por el Norte	limita con	: Prov. Huarochirí.
Por el Sur	limita con	: Lima, El Agustino.
Por el Este	limita con	: Prov. Huarochirí, Lurigancho-Chosica.
Por el Oeste	limita con	: Rímac, Independencia, Comas, Carabayllo.

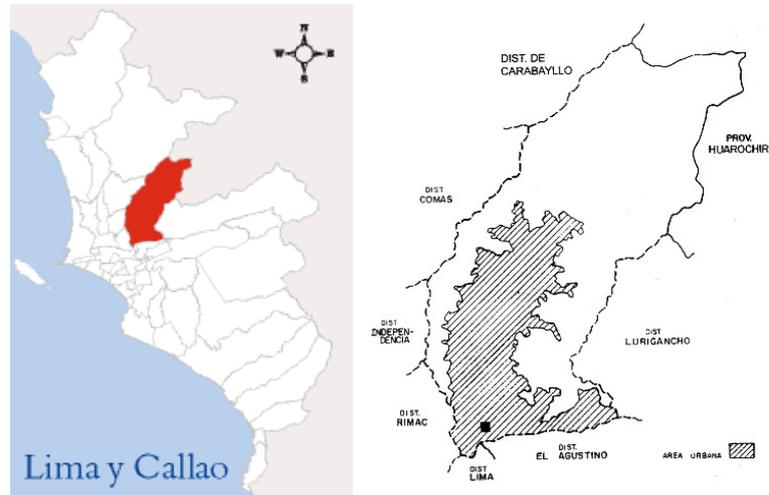


Figura 5.1 Ubicación de SJL en Lima Metropolitana
(Fuente: www.muniSJL.pe, 2016)

5.2.2. Características del Sistema de Alcantarillado Primario de SJL

5.2.2.1. Características según el tipo de material

El material predominante es el concreto simple normalizado (CSN) con un 69.72% de presencia seguido por PVC (16.01%).



Figura 5.2 Incidencia en el metrado según tipo de material
(Fuente: Elaboración propia con datos de ERPrim, 2017)

5.2.2.2. Características según el diámetro

Más de la mitad de toda la red está compuesta por los siguientes tres (03) diámetros: 350 mm, 600 mm y 400 mm.

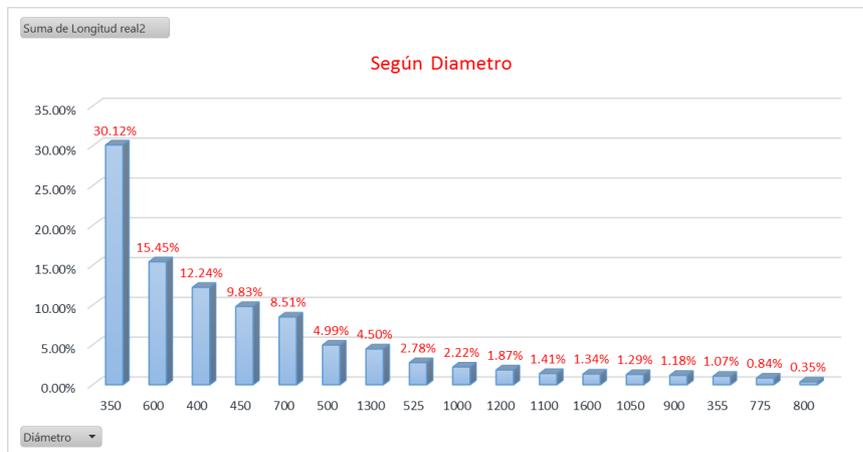


Figura 5.3 Incidencia en el metrado por según el diámetro
(Fuente: Elaboración propia con datos de ERPrim, 2017)

5.2.2.3. Características según su antigüedad

Se posee información únicamente del 48% de los colectores primarios del distrito, un 18.20 % de ellos tiene más de 30 años.

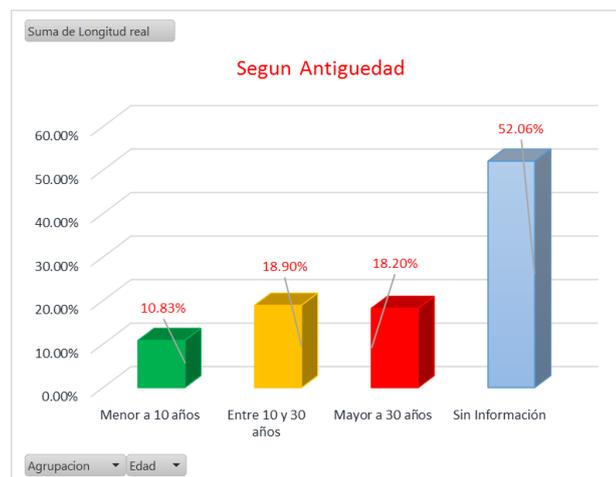


Figura 5.4 Antigüedad de los colectores primarios en Lima
(Fuente: Elaboración propia con datos de ERPrim, 2017)

5.2.2.4. Características según su estado

La información disponible sobre esta característica es muy escasa se tiene solo del 6.7% de los colectores, sin embargo, se han identificado los siguientes colectores con estado “malo⁴” y “muy malo”. Se recuerda al lector que esta definición no está estandarizada.

Cuadro 5.1 Colectores con estado “malo”
(Fuente: ERPrim, 2017)

Colectores en estado “malo”
Jardines Este
San Martin de Porres
Mangomarca
La Huayrona
Emisor Norte
Maquinarias
Huáscar

Cuadro 5.2 Colectores con estado “muy malo”
(Fuente: ERPrim, 2017)

Colectores estado “muy malo”
Ganimedes
Jardines Este
Las Flores
Huáscar
Sociólogos

5.2.3. Colectores de la red de recolección primaria de SJL

⁴ No hay definición estandarizada de “malo” o “muy malo” en la EPS de aplicación, la clasificación mostrada sigue el criterio del técnico encargado de revisar las inspecciones televisivas, a las tuberías con necesidad inmediata de cambio se las calificó como “muy malo”

Es necesario antes de iniciar la aplicación de la metodología propuesta, identificar todos los colectores que componen la red de recolección primaria dentro del distrito de San Juan de Lurigancho, el colector de mayor longitud es el colector “Canto Grande” que recorre la principal avenida del distrito “Av. Próceres de la Independencia”, éste junto a los colectores La Huayrona (Av. Próceres de la Independencia), Campoy y Zárate componen en longitud la mitad del total de colectores dentro del distrito (ver figura V.5).

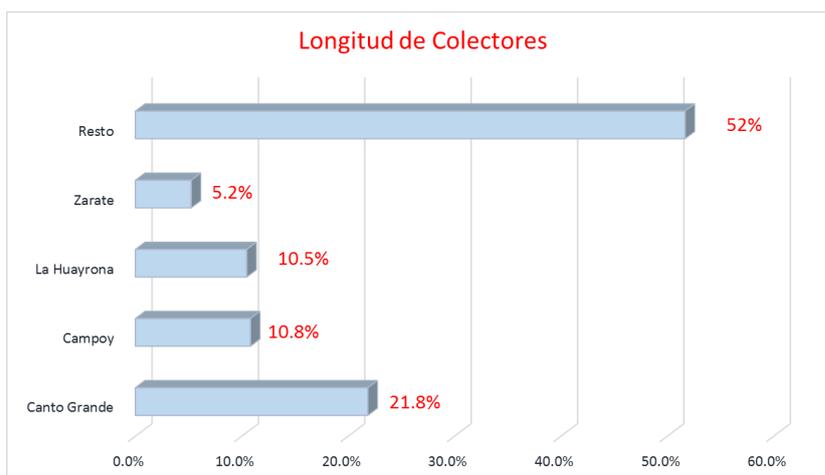


Figura 5.5 Colectores de SJL según su longitud expresados en porcentaje
(Fuente: Elaboración propia con datos de ERPrim, 2017)

Dentro de San Juan de Lurigancho existen 44 colectores que hacen un total de 63.6 km de tuberías de alcantarillado, en el cuadro V.3 se detalla la lista completa con sus nombres y longitudes, en el anexo 1 se presenta un mapa de ubicación de todos los colectores dentro del distrito.

Cuadro 5.3 Colectores de SJL ordenados según su longitud

(Fuente: ERPrim, 2017)

Nombre del colector	Longitud (m)	Porcentaje
Canto Grande	14,529.31	22%
Campoy	6,872.81	11%
La Huayrona	6,710.02	11%
Zarate	3,307.87	5%
Nuevo Bayóvar	2,819.49	4%
Las Flores	2,468.98	4%

Huáscar	2,351.35	4%
Emisor Norte	1,914.35	3%
Los Ciruelos	1,650.65	3%
Aliviadero Mangamarca	1,434.75	2%
Central	1,365.32	2%
San Carlos	1,317.61	2%
Las Violetas	1,199.57	2%
Elizabeth	1,155.96	2%
Motupe	1,120.84	2%
El bosque	1,117.11	2%
Piedra Liza	836.26	1%
Aliviadero Ascarruz	756.40	1%
Mangamarca	753.53	1%
Asoc. de vivienda Campoy	745.21	1%
Emisor Sur	731.58	1%
Jardines Oeste	594.23	1%
Ganimedes	585.25	1%
Jardines Este	579.51	1%
El Parque	537.73	1%
Mariátegui	526.39	1%
Maquinarias	508.25	1%
Los Tusilagos	508.00	1%
Cocharcas	485.94	1%
Bayóvar	458.80	1%
Sociólogos	430.51	1%
Las Ortigas	418.49	1%
Peñón	377.06	1%
Cerro Candela	374.40	1%
Santa Rosa	367.88	1%
Caja de Agua	306.10	0%
San Martin de Porres	278.37	0%
Tayacaja	255.08	0%
Los Postes	236.13	0%
Yachayhuasi	232.45	0%

Aux. La Huayrona	184.34	0%
Bolognesi	153.24	0%
Los Cisnes	104.50	0%
Santa María De Huachipa	25.00	0%
Total	63,686.61	100%

5.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN TELEVISIVA (CCTV)

5.3.1. Elección de la Metodología base:

Como fue descrito en la propuesta, se analizaron las principales metodologías de evaluación utilizadas en el mundo, descritas en el marco conceptual. De la evaluación se eligió el manual de inspección de tuberías, tercera edición, 2006, de la Autoridad de Calificaciones de Nueva Zelanda, debido a que el manual completo se encuentra disponible de forma libre en internet y el método empleado presenta una sencillez mayor a los elaborados en Reino Unido (WRc) y en Estados Unidos (NASSCO) y a la vez, está basado en ellos.

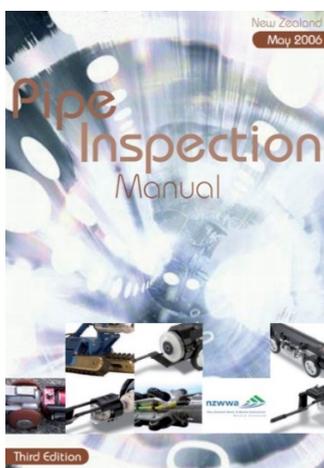


Figura 5.6 Portada del manual de inspección de tuberías
(Fuente: NZWWP, 2006)

5.3.2. Adaptación de la metodología base:

Según el manual de evaluación de tuberías neozelandés se revisó todos los criterios de fallas identificados y se tomó únicamente los que se consideraron aplicables a la realidad peruana. Se escogieron los siguientes:

- Grieta Circunferencial
- Grieta Longitudinal
- Infiltración en la tubería
- Junta Defectuosa
- Junta Separada
- Conexiones
- Obstrucciones Permanentes
- Tubería deformada
- Forados en la tubería
- Tubería Colapsada
- Erosión y/o corrosión Interna
- Desmonte (gravas, arenas y piedras)
- Residuos grasosos
- Intrusión de Raíces

5.3.3. Validación de defectos no aplicables a nuestra realidad:

A fin de validar la lista de defectos anteriormente presentada, esta lista fue discutida y presentada a los especialistas del Equipo de Recolección Primaria de Sedapal para su conformidad durante una reunión de equipo. La lista fue considerada conforme.

5.3.4. Metodología final adaptada

Luego de haber definido los criterios a evaluar, se procedió a adaptarlos a la realidad peruana, para ello se realizó la revisión integral de los videos de inspección televisiva registrados hasta la fecha para elaborar un Manual propio para la empresa. Dicho manual completo es presentado en el Anexo 2.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

GC - GRIETA CIRCUNFERENCIAL

SEVERIDAD: LEVE (L)

	Puntaje: 2
	Comentarios de la foto: La fractura es visible pero no abierta y no hay evidencia que se extienda al exterior.

SEVERIDAD: MODERADA (M)

	Puntaje: 15
	Comentarios de la foto: La fractura es abierta, pero no hay evidencia que la fractura se extienda al exterior.

Figura 5.7 Ejemplo del manual de evaluación
(Fuente: Elaboración propia)

5.3.5. Resultados de la operación piloto

En base a la metodología adaptada a la realidad limeña se procedió a realizar una operación piloto con los técnicos encargados de la inspección televisiva, para ello se desarrolló un programa en macros Excel para realizar la evaluación en campo. Los técnicos requirieron un seguimiento cercano y acompañamiento durante la etapa de implementación.

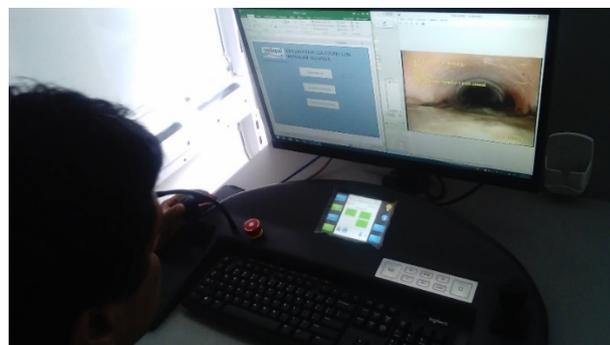


Figura 5.8 Técnico comenzando la evaluación del colector en campo
(Fuente: Elaboración propia)

El programa de evaluación de colectores se realizó de la forma más sencilla posible con tres pestañas principales: (i) la primera “realizar inspección” permite iniciar el proceso de evaluación al mismo tiempo que se inspecciona el colector con el robot (ii) la segunda “ver historial de inspecciones” permite ver el histórico de evaluaciones realizadas desde la implementación del programa y poder subir

la información al SIG de la EPS y (iii) la tercera “ver metodología de evaluación” permite recordar al técnico la metodología que deberá usar en campo.



Figura 5.9 Ejemplo de aplicativo desarrollado en Excel
(Fuente: Elaboración propia)

En la figura V.10 se muestra la metodología de evaluación de condición de colectores implementada en el 2017 en Sedapal.

Metodología de Evaluación de Condición - Inspecciones Televisivas				
Puntajes de Condición Estructural				
CODIGO	DESCRIPCION	Severidad		
		LEVE	MODERADA	GRAVE
GC	Grieta Circunferencial	2	15	30
GL	Grieta Longitudinal	3	15	30
IN	Infiltración en la tubería	2	15	30
JL	Junta Defectuosa	1	10	25
JD	Junta Separada	0	5	25
CD	Conexiones	5	15	30
OP	Obstrucción Permanente	10	20	35
TPD	Tubería deformada	5	10	30
HO	Forados en la Tubería	5	25	45
TC	Tubería Colapsada	N/A	N/A	100
EI	Erosión y/o corrosión Interna	3	20	60

Puntajes de Condición Operacional				
CODIGO	DESCRIPCION	Severidad		
		LEVE	MODERADA	GRAVE
DE	Desmonte (gravas, arenas, Piedras)	8	20	40
RG	Residuos grasosos	8	20	40
IT	Intrusión de Raíces	5	25	70

RETORNAR

Figura 5.10 Vista de la metodología adaptada en Excel
(Fuente: Elaboración propia)

Una muestra de la interfaz de evaluación que se completaba a medida que se inspeccionaba los colectores en presentado en la figura V.11.

Figura 5.11 Vista del panel de evaluación en Excel
(Fuente: Elaboración propia)

El objetivo de la pestaña presentada en la figura V.12 es sintetizar la información a ser actualizada en el SIG una vez terminada la inspección. De esa forma el técnico podría subir todos los resultados de sus evaluaciones realizadas de forma semanal o mensual al SIG.

Listado de Colectores con condicion a actualizar GIS				
Codigo Tramo	C. Estructur	C. Operación	Fecha CCTV	Ref. Col
CDG-14586	1	1	04/05/2018	Huayrona
CDG-3245	1	1	00/01/1900	Huayrona
CDG 123349	2.5	1.5	01/07/2018	Huayrona

Figura 5.12 Lista de resultados de la evaluación de los colectores
(Fuente: Elaboración propia)

Los resultados de esta operación piloto de implementación de la metodología fueron positivos, los técnicos lograron aplicar la metodología de inspección televisiva propuesta (presentada en el anexo 2) y obtuvieron los coeficientes estructurales y de operación de los colectores evaluados, sin embargo, la actualización de la base de datos GIS no era realizada a tiempo debido a que no había personal dedicado a esa tarea.

5.4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN

5.4.1. Identificación y selección de variables

Según las variables mostradas en la propuesta, se identificaron y seleccionaron las siguientes variables con disponibilidad de información.

Cuadro 5.4 Cuadro de identificación y selección de variables
(Fuente: Elaboración propia)

Identificación y selección de variables	
Probabilidad de Falla	Consecuencia de falla
<ul style="list-style-type: none"> • Edad y material de la tubería • Número de colapsos en el tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro • Longitud • Capacidad Hidráulica • Tipo de vía

5.4.2. Recopilación de información de las variables seleccionadas

La información fue recopilada por el ERPrim de Sedapal. A continuación, se muestra un cuadro resumen:

Cuadro 5.5 Atributos de las variables seleccionadas
(Fuente: Elaboración propia con datos de ERPrim)

Colector	L(m)	Mat.	Ed.	C.H.	D	Tipo Vía
Canto Grande	14,529.31	CSN	59	75%	1600	Arterial
La Huayrona	6,710.02	CSN	59	50%	1200	Arterial
San Carlos	1,317.61	CSN	35	100%	350	Vecinal
Jardines Oeste	594.23	CSN	29	100%	400	Colectora
Ganimedes	585.25	CSN	31	75%	400	Vecinal
Zarate	3,307.87	CSN	59	100%	450	Colectora
Jardines Este	579.51	CSN	24	75%	450	Colectora
El Parque	537.73	CSN	53	50%	600	Vecinal
Piedra Liza	836.26	CR	35	100%	1050	Arterial
Maquinarias	508.25	CSN	24	75%	400	Vecinal

Bayóvar	458.80	CSN	37	100%	350	Arterial
Las Flores	2,468.98	CSN	36	75%	450	Colectora
Tayacaja	255.08	CSN	35	100%	600	Vecinal
Aliviadero Mangamarca	1,434.75	CSN	35	50%	500	Colectora
Los Postes	236.13	CSN	39	75%	350	Colectora
Campoy	6,872.81	CR	35	75%	900	Vecinal
Huáscar	2,351.35	CSN	36	75%	600	Vecinal
Elizabeth	1,155.96	CSN	35	50%	600	Colectora
Peñón	377.06	CSN	30	100%	400	Vecinal
Caja de Agua	306.10	CSN	35	100%	350	Vecinal
Bolognesi	153.24	CSN	36	100%	350	Vecinal
Los Ciruelos	1,650.65	CSN	35	75%	350	Vecinal
Mangamarca	753.53	CSN	35	50%	450	Colectora
Los Tusilagos	508.00	CSN	45	50%	350	Colectora
Nuevo Bayóvar	2,819.49	PVC	13	100%	400	Arterial
Ganimedes	1,117.11	CSN	31	75%	350	Vecinal
Campoy	745.21	CSN	35	75%	400	Vecinal
Emisor Norte	1,914.35	CSN	35	50%	525	Vecinal
Sociólogos	430.51	CSN	35	75%	350	Vecinal
Cocharcas	485.94	CSN	35	50%	600	Vecinal
Aux. La Huayrona	184.34	PVC	35	50%	450	Arterial
Emisor Sur	731.58	CSN	36	50%	350	Vecinal
Las Ortigas	418.49	CSN	45	50%	350	Vecinal
Santa Rosa	367.88	CSN	31	50%	350	Vecinal
Yachayhuasi	232.45	CSN	35	50%	350	Vecinal
San Martin de Porres	278.37	CSN	26	75%	350	Vecinal
Aliviadero Ascarruz	756.40	PVC	35	50%	500	Vecinal
Santa María De Huachipa	25.00	PVC	17	100%	355	Vecinal
Cerro Candela	374.40	CR	21	50%	700	Vecinal
Las Violetas	1,199.57	PVC	35	50%	350	Vecinal
Motupe	1,120.84	CSN	27	50%	450	Vecinal
Los Cisnes	104.50	PVC	6	75%	350	Vecinal

Central	1,365.32	PVC	13	50%	350	Vecinal
Mariátegui	526.39	PVC	21	50%	355	Vecinal

Es importante precisar que se tomaron las siguientes hipótesis al momento de completar la información de las variables seleccionadas:

- Longitud (L): Se presenta la longitud total de todos los tramos que conforman dicho colector.
- Edad (Ed.): La edad de los colectores Canto Grande, La Huayrona, Piedra Liza, Mangamarca, Campoy, Elizabeth, Caja de Agua, Los Ciruelos, Mangamarca, Sociólogos, Cocharcas, Yachayhuasi, Ascarruz y Las violetas fue estimada debido a falta de documentación técnica sustentadora.
- Capacidad Hidráulica (C.H): Se tomó la capacidad hidráulica promedio de todo el colector según la información disponible de los últimos modelamientos hidráulicos.
- Diámetro (D): Se consideró el diámetro máximo a lo largo del colector.
- Tipo de Vía: Se agregó el tipo de vía “vecinal” debido a que algunos colectores no pasaban por ninguna de las vías descritas en el sistema vial metropolitano vigente.

5.4.3. Estimación de pesos de las variables

Según la importancia relativa de las variables, se ponderó cada una de ellas a fin de obtener el Índice de reposición (IR). Según la experiencia del personal del equipo de Sedapal, se estimó como sigue:

Cuadro 5.6 Pesos de probabilidad
(Fuente: Elaboración propia)

Variable	Importancia relativa de la variable
Edad y Material	30%
Colapsos	70%

Cuadro 5.7 Pesos de consecuencia

(Fuente: Elaboración propia)

Variable	Importancia relativa de la variable
Diámetro	20%
Longitud	10%
Capacidad Hidráulica	35%
Tipo de Vía	35%

5.4.4. Cálculo de los subindicadores, del Índice de reposición y resultados

La tabla completa es presentada en el Anexo 3, aquí se presentarán los resultados de los 10 colectores priorizados obtenidos del modelo:

Cuadro 5.8 Tabla de resultados de la priorización

(Fuente: Elaboración propia)

IR	Colector	Acción
4.05	Canto Grande	Colapso Inminente, requiere atención (rehabilitación o reemplazo) dentro de los próximos 12 meses a la evaluación
3.70	La Huayrona	Requiere monitoreo intensivo, y rehabilitación o reemplazo dentro de los próximos 5 años.
3.53	Jardines Oeste	
3.28	San Carlos	
3.23	Zárate	
2.83	Ganimedes	Requiere monitoreo aleatorio y rehabilitación o reemplazo dentro de los próximos 10 años.
2.60	Piedra Liza	
2.33	Jardines Este	
2.20	Bayóvar	
2.18	El Parque	

Los resultados obtenidos (presentados en el cuadro V.8 y en el anexo 3) concuerdan con la lista de colectores prioritarios que manejaba el personal de Sedapal de forma empírica, debido a que como se precisó en la sección anterior “5.4.3. Estimación de pesos de las variables”, se usó ese conocimiento interno para calibrar el modelo y obtener resultados que reflejen la realidad en la medida de lo posible con la intención de utilizar la calibración para futuras evaluaciones.

Se observa que el colector Canto Grande obtiene un elevado IR y requiere reemplazo inmediato, mientras que los colectores La Huayrona, Jardines Oeste, San Carlos y Zárate requieren monitoreo intensivo.

La evaluación anterior data de fines del 2017 e inicios del 2018. Es decir que los resultados de un análisis como el propuesto en esta tesis deja en evidencia la criticidad y la importancia del reemplazo del colector Canto Grande y los colectores La Huayrona, Jardines Oeste, San Carlos y Zárate. No obstante, el 13 de enero de 2019 ocurrió el terrible evento del colapso del colector Canto Grande que inundó varias manzanas del distrito de San Juan de Lurigancho, dejó más de 2000 damnificados y dejó sin agua potable al distrito durante varios días. El aniego del 2019 fue el peor desastre ambiental en el país desde el niño costero del 2017. Los análisis de la contraloría general de república del 2021 utilizaron las inspecciones televisivas realizadas por Sedapal y concluyeron que el colector Canto Grande presentaba fisuras y deformaciones importantes por lo cual debía dejar de operar permanentemente. La solución de la época fue realizar dos bypass temporales mientras se realizaba la instalación del nuevo colector definitivo Canto Grande, el cual consistía de 3.5km de instalación de tubería HDPE de 1.6m de diámetro mediante el método sin zanja. Se estima que los gastos incurridos por Sedapal debido al colapso del colector Canto Grande fueron de alrededor de USD 80,000,000.00 entre los años 2019 y 2021.

Asimismo, se observó que los otros colectores identificados en esta tesis, que requieren monitoreo intensivo, produjeron aniegos temporales durante el colapso del colector canto grande en 2019.

CONCLUSIONES

La presente tesis logró realizar un diagnóstico general de la red de alcantarillado de Lima, y un diagnóstico detallado de la red de alcantarillado de San Juan de Lurigancho, basado en el análisis de las bases de datos existentes. El diagnóstico permitió identificar las principales características de la red a estudiar, tales como el diámetro, material, antigüedad y condición. Sin embargo, durante el proceso de diagnóstico hubo ciertas informaciones faltantes como la “condición” del colector que se pudieron estimar gracias al apoyo de los técnicos de Sedapal que proveyeron estimaciones basadas en sus experiencias empíricas.

La propuesta de metodología de inspección televisiva fue implementada con éxito en San Juan de Lurigancho, los técnicos pudieron realizar evaluaciones de la capacidad estructural y operacional de ciertos colectores utilizando el manual desarrollado y adaptado a la realidad peruana, lo cual permitió estandarizar las inspecciones.

Los resultados de la aplicación de la propuesta de priorización confirmaron exitosamente los colectores primarios críticos y prueba de ello es la concordancia con el lamentable suceso del colapso del colector Canto Grande en 2019. Se concluye que la metodología de priorización propuesta es eficaz y permite formalizar el conocimiento de las EPS.

RECOMENDACIONES

Respecto al diagnóstico de la red, se recomienda completar las informaciones faltantes mediante la revisión de los planos o expedientes disponibles o interrogando al personal más experimentado afín realizar una estimación empírica de las características de la red.

Respecto a la propuesta y aplicación de la metodología de inspección televisiva, se recomienda prever un tiempo de formación al personal técnico que será encargado de realizarlo, si no, la metodología corre el riesgo de no ser utilizada e interpretada adecuadamente o en el peor de los casos no ser utilizada simplemente. Asimismo, se recomienda asignar personal dedicado a la actualización de las bases de datos SIG debido a que el personal que realiza la inspección de campo no suele tener el tiempo para hacer esas dos actividades. Sobre el manual de inspección, se puede utilizar provisoriamente los manuales estándar extranjeros, pero se recomienda realizar una adaptación de estos a la realidad local utilizando fotos y nomenclatura propia.

Respecto a la metodología de priorización, se recomienda discutir los pesos con el personal afín de obtener una primera calibración lo más cercana a la realidad posible y modificar la calibración con el tiempo para que siempre se mantenga fiel a los resultados empíricos. Para ello, se recomienda realizar reuniones de presentación de resultados para obtener retroalimentación del personal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Civil Engineers. (2001). *Evaluation of SSET: the sewer scanner and evaluation technology*. USA.
- Anci, P. y Liza, A. (2018). *Programa Reducción del Riesgo en Áreas Vulnerables del Distrito de Independencia*. Lima: Fondo Editorial Predes.
- Cascante, G., Knight, M. y Lopez, M. (2001). Laboratory investigation into the assessment of concrete pipes state of deterioration using ultrasonic testing techniques. *International Conference on Underground Infrastructure Research Proceedings*. Kitchener.
- Ghangrekar, M. (2016). *Wasterwater Management*. Recuperado de <https://nptel.ac.in>
- Javad, M., Tabesh, M. y Roozbahani, A. (2017). Risk assessment model to prioritize sewer pipes inspection in wastewater collection networks. *Journal of Environmental Management*, 91-101.
- Khan, Z., Zayed, T. y Moselhi, O. (2010). Structural Condition Assessment of Sewer Pipelines. *Journal Of Performance of Constructed Facilities (ASCE)*, 170-179.
- Lorenzetti, C. (2012). *Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para la manutención, limpieza y recuperación hidráulica de las tuberías de alcantarillado sanitario y pluvial en las empresas sanitarias*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Mellet, J. (1995). Ground Penetrating Radar Applications in Engineering, Environmental Management, and Geology. *Journal of Applied Geophysics*.
- NZWWP. (2006). *Pipe Inspection Manual*. New Zealand.
- Presidencia de la República. (1991). *Decreto Legislativo 635 de 1991. Código Penal*. Diario Oficial El Peruano del 8 de abril de 1991. <https://spij.minjus.gob.pe/spij-ext-web/detallenorma/H682692>
- Read, G. y Vickridge, I. (1997). *Sewers; Rehabilitation and New Construction: Repair and Renovation*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Sedapal. (2014). *Plan Maestro Optimizado 2015-2044 (Vol. II Diagnostico)*. Lima, Perú.
- Sedapal. (2017). *Informe de situación*. Gerencia de Gestión de Aguas Residuales (GGAR). Lima, Perú.

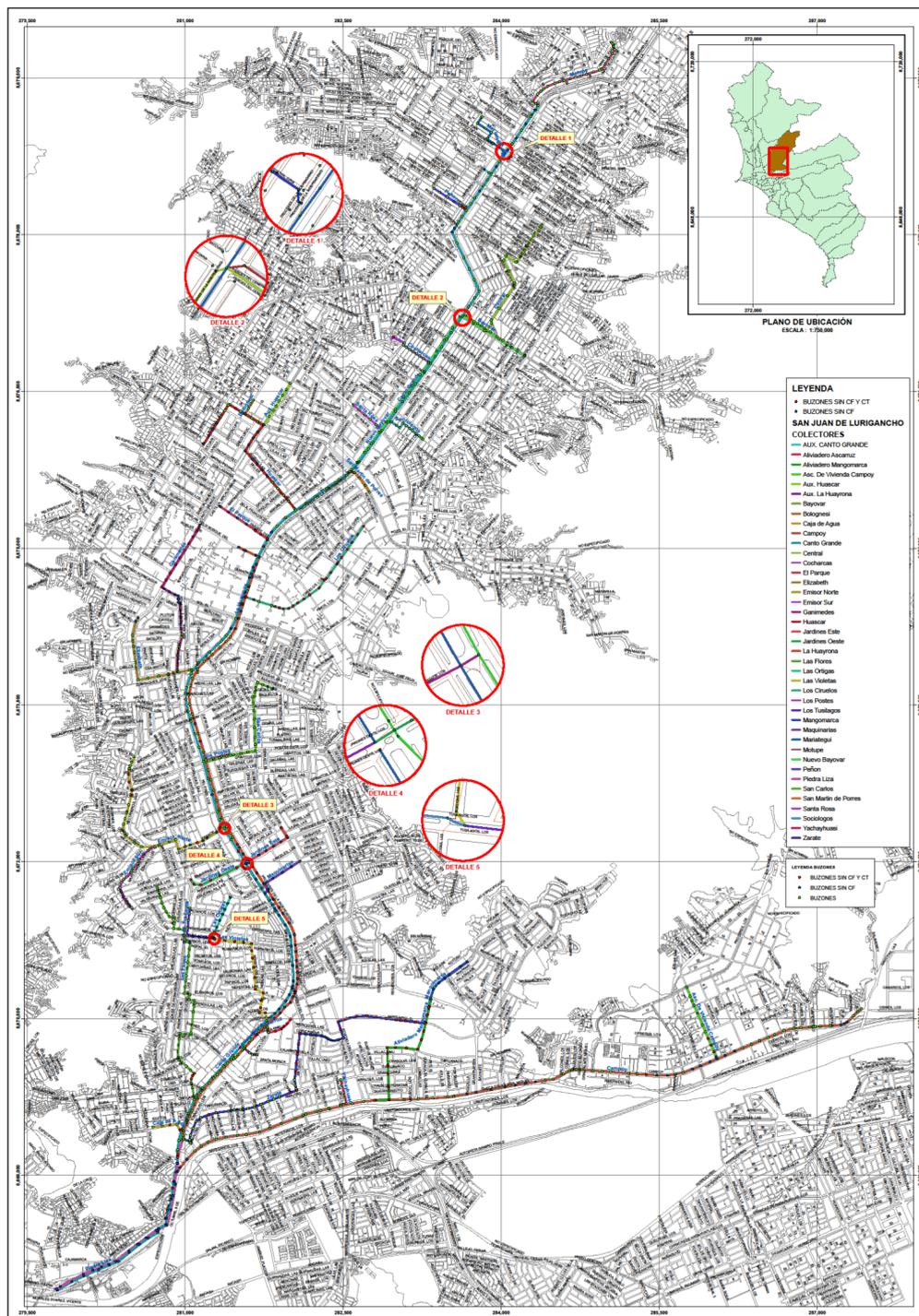
- Sibbald, A. y Beng, F. (1995). Impulse Testing of Brickwork Sewers. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 43-54.
- Sousa, V., Ferreira, F., Almeida, N., Matos, J., Martins, J. y Teixeira, A. (2009). A simplified technical decision support tool for the asset management of sewer networks. *Water Asset Management International*, (pp. 3-9). Lisboa.
- United States Environmental Protection Agency. (1999). *Collection Systems O&M Fact Sheet: Sewer Cleaning and Inspection*.
- United States Environmental Protection Agency. (2015). *Condition Assessment of Underground Pipes*.
- Water Environment Federation. (2009). *Existing Sewer Evaluation and*. USA: McGraw-Hill Companies.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Mapa de colectores primarios en San Juan de Lurigancho	116
Anexo 2 Manual de evaluación de colectores	117
Anexo 3 Tabla de hipótesis	131
Anexo 4 Tabla de resultados completa	132
Anexo 5 Tabla ordenada de colectores priorizados	133

Anexo 1 Mapa de colectores primarios en San Juan de Lurigancho



Anexo 2 Manual de evaluación de colectores

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

GC - GRIETA CIRCUNFERENCIAL

SEVERIDAD:

LEVE (L)



Puntaje: 2

Comentarios de la foto:

La fractura es visible pero no abierta y no hay evidencia que se extienda al exterior.

SEVERIDAD:

MODERADA (M)



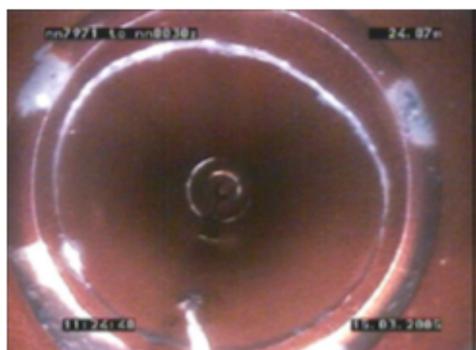
Puntaje: 15

Comentarios de la foto:

La fractura es abierta, pero no hay evidencia que la fractura se extienda al exterior.

SEVERIDAD:

GRAVE (G)



Puntaje: 30

Comentarios de la foto:

La fractura es abierta hasta el exterior. Observar el desplazamiento de los bordes de la fractura.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

GL - GRIETA LONGITUDINAL

SEVERIDAD: LEVE (L)



Puntaje: 3

Comentarios de la foto:

La fractura es visible pero no abierta y no hay evidencia que se extienda al exterior.

SEVERIDAD: MODERADA (M)



Puntaje: 15

Comentarios de la foto:

La fractura es abierta, pero no hay evidencia que la fractura se extienda al exterior.

SEVERIDAD: GRAVE (G)



Puntaje: 30

Comentarios de la foto:

La fractura es abierta hasta el exterior. Observar el desplazamiento de los bordes de la fractura.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

IN - INFILTRACION EN LA TUBERIA

SEVERIDAD:

LEVE (L)



Puntaje: 2

Comentarios de la foto:

Presencia de humedad a lo largo de la junta.

SEVERIDAD:

MODERADA (M)



Puntaje: 15

Comentarios de la foto:

La infiltración mostrada en esta imagen

SEVERIDAD:

GRAVE (G)



Puntaje: 30

Comentarios de la foto:

Aunque el volumen es evidente en comparación a los demás ejemplos, la infiltración indica que esta bajo presión.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

JL - JUNTA DEFECTUOSA

SEVERIDAD: LEVE (L)



Puntaje: 0

Comentarios de la foto:

SEVERIDAD: MODERADA (M)



Puntaje: 15

Comentarios de la foto:

SEVERIDAD: GRAVE (G)



Puntaje: 45

Comentarios de la foto:

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

JD - JUNTA MAL EMBONADA

SEVERIDAD: LEVE (L)



Puntaje: 0

Comentarios de la foto:
El desplazamiento es menos de 20 mm.

SEVERIDAD: MODERADA (M)



Puntaje: 5

Comentarios de la foto:
El desplazamiento es de 20mm a 40 mm

SEVERIDAD: GRAVE (G)



Puntaje: 25

Comentarios de la foto:
El desplazamiento es mayor de 40 mm.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

CD - CONEXIONES

SEVERIDAD:

LEVE (L)



Puntaje: 5

Comentarios de la foto:
La incrustación de la tubería no afecta el colector principal.

SEVERIDAD:

MODERADA (M)



Puntaje: 15

Comentarios de la foto:
Hay huecos entre la conexión y el colector principal, pero no hay evidencia de que el hueco se extienda a hasta la superficie exterior del colector.

SEVERIDAD:

GRAVE (G)



Puntaje: 25

Comentarios de la foto:
Se muestra evidencia de que la incrustación entre la conexión domiciliar y la tubería principal existe filtración, bloque el flujo.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

OP - OBSTRUCCION PERMANENTE

SEVERIDAD: LEVE (L)



Puntaje: 10

Comentarios de la foto:
El diámetro del colector es reducido menos que el 10%.

SEVERIDAD: MODERADA (M)



Puntaje: 20

Comentarios de la foto:
El diámetro del colector es reducido entre el 10% al 25%.

SEVERIDAD: GRAVE (G)



Puntaje: 35

Comentarios de la foto:
El diámetro del colector es reducido más del 25%.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

TPD - TUBERIA DEFORMADA

SEVERIDAD: LEVE (L)



Puntaje: 5

Comentarios de la foto:
La deformación abarca el 10% o menos del diámetro de la tubería.

SEVERIDAD: MODERADA (M)



Puntaje: 10

Comentarios de la foto:
La deformación abarca entre 10% y el 25% del diámetro de la tubería.

SEVERIDAD: GRAVE (G)



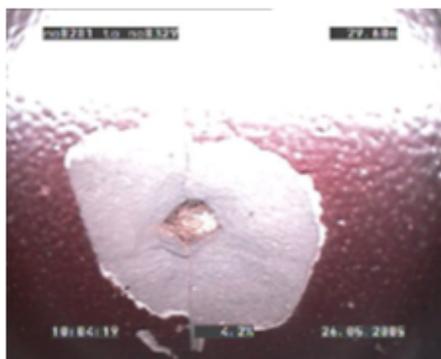
Puntaje: 30

Comentarios de la foto:
La deformación es mayor al 25% del diámetro de la tubería y la opinión del operador indica que el colapso de la tubería es inminente.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

FT - FORADOS EN LA TUBERIA

SEVERIDAD: LEVE (L)



Puntaje: 5

Comentarios de la foto:
Ocurre cuando se encuentra un agujero y este ha sido reparado.

SEVERIDAD: MODERADA (M)



Puntaje: 25

Comentarios de la foto:
El agujero es hasta el 20% de la circunferencia de la tubería y esta no ha sido reparada.

SEVERIDAD: GRAVE (G)



Puntaje: 40

Comentarios de la foto:
El agujero es mayor al 20% de la circunferencia y esta no ha sido reparada.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

TC - TUBERIA COLAPSADA

SEVERIDAD:

GRAVE (G)

Puntaje: 100



Comentarios de la foto:

En este caso no existen severidad leve (L) o moderada (M) porque la tubería requiere ser reparada y no es necesario realizar ningún análisis.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	---	--

EI - EROSION Y/O CORROSION INTERNA

SEVERIDAD: LEVE (L)



Puntaje: 3

Comentarios de la foto:
Para este caso la erosión es solo superficial.

SEVERIDAD: MODERADA (M)



Puntaje: 20

Comentarios de la foto:
El agregado se encuentra expuesto además de evidenciarse corrosión en el refuerzo (acero).

SEVERIDAD: GRAVE (G)



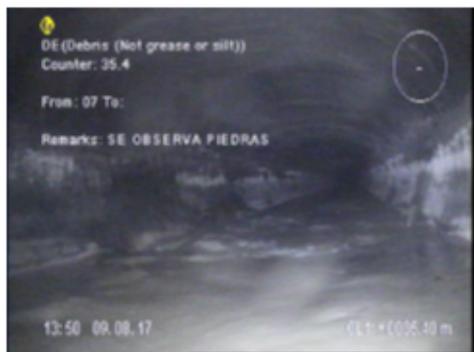
Puntaje: 60

Comentarios de la foto:
El agregado continúa expuesto, el refuerzo es probable que ya no se encuentre y se observan agujeros profundos en las paredes de la tubería.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	--	--

DE - DESMONTE (GRAVAS, ARENAS, PIEDRAS)

SEVERIDAD: LEVE (L)



Puntaje: 8

Comentarios de la foto:
 El área se reduce a menos del 10%.

SEVERIDAD: MODERADA (M)



Puntaje: 20

Comentarios de la foto:
 El área se reduce en un intervalo de 10% – 25%.

SEVERIDAD: GRAVE (G)



Puntaje: 40

Comentarios de la foto:
 El área se reduce a más del 25%.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	--	--

RG - RESIDUOS GRASOSOS

SEVERIDAD:

LEVE (L)



Puntaje: 8

Comentarios de la foto:
 El área se reduce a menos del 10%.

SEVERIDAD:

MODERADA (M)



Puntaje: 20

Comentarios de la foto:
 El área se reduce en un intervalo de 10% – 25%.

SEVERIDAD:

GRAVE (G)



Puntaje: 40

Comentarios de la foto:
 El área se reduce a más del 25%.

	MANUAL DE EVALUACION DE COLECTORES	Código: Revisión: Aprobado: Fecha: Página:
---	--	--

IR - INTRUSION DE RAICES

SEVERIDAD: LEVE (L)



Puntaje: 5

Comentarios de la foto:
 El área se reduce a menos del 10%.

SEVERIDAD: MODERADA (M)



Puntaje: 25

Comentarios de la foto:
 El área se reduce en un intervalo de 10% – 25%.

SEVERIDAD: GRAVE (G)



Puntaje: 70

Comentarios de la foto:
 El área se reduce a más del 25%.

Anexo 3 Tabla de hipótesis

Probabilidad (P)	
W1	W2
0,3	0,7

Edad/M	Colapso
--------	---------

Consecuencia (C)			
W3	W4	W5	W6
0,2	0,1	0,35	0,35

Diámetro	Longitud	CH	Vía
----------	----------	----	-----

Riesgo (IR)	
W7	W8
1	1

Anexo 4 Tabla de resultados completa

Nro.	Nombre del colector	Longitud (m)	Material	Edad	C.H.	Inc	DMAX	Via	P1	P2	P	C1	C2	C3	C4	C	IR
1	Canto Grande	14 529,31	CSN	59	75%	4	1600	Arterial	5	5	5	5	5	3	3	3,60	4,30
3	La Huayrona	6 710,02	CSN	59	50%	17	1200	Arterial	5	5	5	5	1	3	3	2,90	3,95
12	San Carlos	1 317,61	CSN	35	100%	3	350	Vecinal	5	5	5	1	5	5	0	2,45	3,73
22	Jardines Oeste	594,23	CSN	29	100%	3	400	Colectora	3	5	4	1	3	5	2	2,95	3,68
23	Ganimides	585,25	CSN	31	75%	3	400	Vecinal	5	5	5	1	3	3	0	1,55	3,28
4	Zarate	3 307,87	CSN	59	100%	1	450	Colectora	5	3	4	1	5	5	2	3,15	3,38
24	Jardines Este	579,51	CSN	24	75%	2	450	Colectora	3	3	3	1	3	3	2	2,25	2,63
25	El Parque	537,73	CSN	53	50%	1	600	Vecinal	5	3	4	3	3	1	0	1,25	2,43
17	Piedra Liza	836,26	CR	35	100%	0	1050	Arterial	5	1	2	3	3	5	3	3,70	2,95
27	Maquinarias	508,25	CSN	24	75%	2	400	Vecinal	3	3	3	1	3	3	0	1,55	2,28
30	Bayovar	458,80	CSN	37	100%	0	350	Arterial	5	1	2	1	1	5	3	3,10	2,65
6	Las Flores	2 468,98	CSN	36	75%	0	450	Colectora	5	1	2	1	5	3	2	2,45	2,33
38	Tayacaja	255,08	CSN	35	100%	0	600	Vecinal	5	1	2	3	1	5	0	2,45	2,33
10	Aliviadero Mangamarca	1 434,75	CSN	35	50%	0	500	Colectora	5	1	2	3	5	1	2	2,15	2,18
39	Los Postes	236,13	CSN	39	75%	0	350	Colectora	5	1	2	1	1	3	2	2,05	2,13
2	Campoy	6 872,81	CR	35	75%	0	900	Vecinal	5	1	2	3	5	3	0	2,15	2,18
7	Huascar	2 351,35	CSN	36	75%	0	600	Vecinal	5	1	2	3	5	3	0	2,15	2,18
14	Etizabeth	1 155,96	CSN	35	50%	0	600	Colectora	5	1	2	3	3	1	2	1,95	2,08
33	Peñon	377,06	CSN	30	100%	0	400	Vecinal	5	1	2	1	1	5	0	2,05	2,13
36	Caja de Agua	306,10	CSN	35	100%	0	350	Vecinal	5	1	2	1	1	5	0	2,05	2,13
42	Bolognesi	153,24	CSN	36	100%	0	350	Vecinal	5	1	2	1	1	5	0	2,05	2,13
9	Los Ciruelos	1 650,65	CSN	35	75%	0	350	Vecinal	5	1	2	1	5	3	0	1,75	1,98
19	Mangamarca	753,53	CSN	35	50%	0	450	Colectora	5	1	2	1	3	1	2	1,55	1,88
28	Los Tusilagos	508,00	CSN	45	50%	0	350	Colectora	5	1	2	1	3	1	2	1,55	1,88
5	Nuevo Bayovar	2 819,49	PVC	13	100%	0	400	Arterial	1	1	1	1	5	5	3	3,50	2,25
16	Ganimides (Ex El bosque)	1 117,11	CSN	31	75%	0	350	Vecinal	5	1	2	1	3	3	0	1,55	1,88
20	Asc. De Vivienda Campoy	745,21	CSN	35	75%	0	400	Vecinal	5	1	2	1	3	3	0	1,55	1,88
8	Emisor Norte	1 914,35	CSN	35	50%	0	525	Vecinal	5	1	2	3	5	1	0	1,45	1,83
31	Sociologos	430,51	CSN	35	75%	0	350	Vecinal	5	1	2	1	1	3	0	1,35	1,78
29	Cocharcas	485,94	CSN	35	50%	0	600	Vecinal	5	1	2	3	1	1	0	1,05	1,63
41	Aux. La Huayrona	184,34	PVC	35	50%	0	450	Arterial	3	1	2	1	1	1	3	1,70	1,65
21	Emisor Sur	731,58	CSN	26	50%	0	350	Vecinal	5	1	2	1	3	1	0	0,85	1,53
32	Las Ortigas	418,49	CSN	45	50%	0	350	Vecinal	5	1	2	1	1	1	0	0,65	1,43
35	Santa Rosa	367,88	CSN	31	50%	0	350	Vecinal	5	1	2	1	1	1	0	0,65	1,43
40	Yachayhuasi	232,45	CSN	35	50%	0	350	Vecinal	5	1	2	1	1	1	0	0,65	1,43
37	San Martin de Porres	278,37	CSN	26	75%	0	350	Vecinal	3	1	2	1	1	3	0	1,35	1,48
18	Aliviadero Ascarruz	756,40	PVC	35	50%	0	500	Vecinal	3	1	2	3	3	1	0	1,25	1,43
44	Santa Maria De Huachipa	25,00	PVC	17	100%	0	355	Vecinal	1	1	1	1	1	5	0	2,05	1,53
34	Cerro Candela	374,40	CR	21	50%	0	700	Vecinal	3	1	2	3	1	1	0	1,05	1,33
13	Las Violetas	1 199,57	PVC	35	50%	0	350	Vecinal	3	1	2	1	3	1	0	0,85	1,23
15	Motupe	1 120,84	CSN	27	50%	0	450	Vecinal	3	1	2	1	3	1	0	0,85	1,23
43	Los Cisnes	104,50	PVC	6	75%	0	350	Vecinal	1	1	1	1	1	3	0	1,35	1,18
11	Central	1 365,32	PVC	13	50%	0	350	Vecinal	1	1	1	1	5	1	0	1,05	1,03
26	Mariategui	526,39	PVC	21	50%	0	355	Vecinal	1	1	1	1	3	1	0	0,85	0,93

Anexo 5 Tabla ordenada de colectores priorizados

Colectores Priorizados

4,30	Canto Grande
3,95	La Huayrona
3,73	San Carlos
3,68	Jardines Oeste
3,38	Zarate
3,28	Ganimides
2,95	Piedra Liza
2,65	Bayovar
2,63	Jardines Este
2,43	El Parque
2,33	Las Flores
2,33	Las Flores
2,28	Maquinarias
2,25	Nuevo Bayovar
2,18	Aliviadero Mangamarca
2,18	Campoy
2,18	Campoy
2,13	Los Postes
2,08	Elizabeth
1,98	Los Ciruelos
1,88	Mangamarca
1,83	Emisor Norte
1,78	Sociologos
1,65	Aux. La Huayrona

1,63	Cocharcas
1,53	Emisor Sur
1,53	Santa Maria De Huachipa
1,48	San Martin de Porres
1,43	Las Ortigas
1,43	Las Ortigas
1,43	Las Ortigas
1,43	Aliviadero Ascarruz
1,33	Cerro Candela
1,23	Las Violetas
1,23	Las Violetas
1,18	Los Cisnes
1,03	Central
0,93	Mariategui