

EPS SEDA HUÁNUCO S. A.

Sumilla: Aprobación: "Plan de Gestión Reactiva ante Emergencias por Interrupción y Colapso del Canal de Conducción que Abastece a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa 1 y 2 – Huánuco" (Exp. 5988 I).



RESOLUCIÓN DE GERENCIA GENERAL N.º 82 – 2026 - EPS SEDA HUÁNUCO S.A.
Huánuco, 05 de agosto de 2026.

VISTO:



El Informe Técnico Final del "Plan de Gestión Reactiva ante Emergencias por Interrupción y Colapso del Canal de Conducción que Abastece a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II";
El Informe N° 202-2026-EPS SEDA HUÁNUCO S.A./GG-GAJ., y demás antecedentes;

CONSIDERANDO:



Que, ante la Ratificación del Acuerdo del Consejo Directivo del OTASS que declara el inicio del RAT de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Huánuco Sociedad Anónima - EPS SEDA HUÁNUCO S.A. y, estando a la emisión de la Resolución Ministerial N° 305-2020-VIVIENDA, de fecha 04 de diciembre de 2020, se **RESUELVE:** Artículo 1.- Ratificar el Acuerdo N° 05 adoptado por el Consejo Directivo del Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento - OTASS, en su Sesión Extraordinaria N° 004-2020 de fecha 3 de marzo de 2020, que declara el inicio del Régimen de Apoyo Transitorio de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Huánuco Sociedad Anónima - EPS SEDA HUÁNUCO S.A.



Que, mediante Acuerdo de Consejo Directivo del OTASS adoptado en Sesión Ordinaria N° 004-2025-OTASS-CD, de fecha 06 de marzo del 2025, acordó designar al ING. MIRKO FELIX JURADO DUEÑAS identificado con DNI N°10621651, en el cargo de Gerente General de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Huánuco S.A. – EPS SEDA HUÁNUCO S.A.

Que, la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento SEDA Huánuco S.A. tiene la obligación legal de garantizar la continuidad, calidad y sostenibilidad de los servicios de agua potable en su ámbito de influencia, conforme al Decreto Legislativo N° 1280, Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.

Que, el sistema de conducción de agua cruda, que transporta el recurso desde la captación en Canchán hasta las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II, constituye una infraestructura estratégica de alta vulnerabilidad debido a condiciones geológicas y geotécnicas complejas.

Que, a consecuencia del colapso estructural ocurrido el 20 de mayo de 2026 en el sector Pucuchinche, resulta imperativo contar con un instrumento de gestión reactiva que formalice los

procedimientos operativos, logísticos y de comando para afrontar eventos adversos futuros y salvaguardar el suministro.

Que, la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 048-2011-PCM, estipulan que las entidades públicas y empresas del Estado deben formular e implementar planes institucionales de gestión reactiva frente a emergencias y desastres.

Que, mediante Informe N° 202-2026-EPS SEDA HUÁNUCO S.A./GG-GAJ, la Gerencia de Asesoría Jurídica concluye que el Plan propuesto se ajusta al marco constitucional y legal vigente, contando con la conformidad técnica del Coordinador del Equipo Funcional de Producción y la Gerencia de Operaciones.

Con el visto bueno de la Gerencia de Asesoría Jurídica y de la Gerencia de Operaciones, de conformidad con las facultades conferidas en el Estatuto Social de la EPS SEDA HUÁNUCO S.A. a esta Gerencia General.

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. – **APROBAR** el "Plan de Gestión Reactiva ante Emergencias por Interrupción y Colapso del Canal de Conducción que Abastece a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II de la EPS SEDA HUÁNUCO S.A.", el mismo que en documento anexo forma parte integrante de la presente resolución.

ARTÍCULO SEGUNDO. – **ENCARGAR** al Coordinador del Equipo Funcional de Producción, a la Gerencia de Operaciones y al Comité de Emergencia institucional la estricta ejecución, monitoreo y cumplimiento de las acciones de preparación, respuesta y rehabilitación previstas en el Plan aprobado.

ARTÍCULO TERCERO. - **DISPONER** la asignación y previsión de los recursos presupuestales necesarios para la implementación física del sistema provisional de conducción mediante tubería HDPE y el mantenimiento del stock estratégico de emergencia.

ARTÍCULO CUARTO. – **NOTIFICAR** la presente resolución a la Gerencia General, Gerencia de Operaciones, Gerencia de Asesoría Jurídica, SUNASS, OTASS y demás órganos estructurados de la EPS para los fines pertinentes, así como disponer su publicación en el portal institucional.

Regístrese, Comuníquese, Cúmplase y Publíquese.

Ing. Mirko Jaraño Dueñas
GERENTE GENERAL
EPS SEDA HUÁNUCO S.A.



PLAN DE GESTIÓN REACTIVA ANTE EMERGENCIAS POR INTERRUPCIÓN Y COLAPSO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN QUE ABASTECE A LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CABRITOPAMPA I Y II

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	11
1. CAPÍTULO I	13
INFORMACIÓN GENERAL	13
1.1. ANTECEDENTES	13
1.2. INFORMACIÓN GENERAL	13
1.3. FINALIDAD	13
1.4. ALCANCE	13
1.5. ÁREA DE INFLUENCIA	14
1.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA	14
1.7. OBJETIVOS DEL PLAN	14
1.7.1. Objetivo General	14
1.7.2. Objetivos Específicos	14
2. CAPÍTULO II	15
BASE LEGAL	15
2.1. GENERALIDADES	15
2.2. MARCO NORMATIVO	15
2.3. ARTICULACIÓN INSTITUCIONAL	16
3. CAPÍTULO III	17
OBJETIVOS	17
3.1. OBJETIVO GENERAL	17
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3.3. Alcance de los Objetivos	17
4. CAPÍTULO IV	18
INFORMACIÓN SOBRE LOS ESCENARIOS DE RIESGO	18
4.1. GENERALIDADES	18
4.2. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS	18
4.3. IDENTIFICACIÓN DE VULNERABILIDADES	18
4.4. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS	19
4.5. ESCENARIOS DE RIESGO PARA LA RESPUESTA	19
4.6. ESCENARIOS PARA LA REHABILITACIÓN	19
4.7. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGO	20
5. CAPÍTULO V	21
PREPARACIÓN	21
5.1. GENERALIDADES	21
5.2. DIAGNÓSTICO DE LAS CAPACIDADES PARA LA RESPUESTA Y REHABILITACIÓN	21
5.3. ACTIVIDADES, INVERSIONES Y METAS	21



5.4.	NECESIDADES NO CUBIERTAS.....	22
5.5.	PRESUPUESTO REFERENCIAL.....	22
5.6.	CONCLUSIONES DE LA FASE DE PREPARACIÓN	23
6.	CAPÍTULO VI.....	24
	RESPUESTA Y REHABILITACIÓN.....	24
6.1.	GENERALIDADES.....	24
6.2.	ORGANIZACIÓN PARA LA RESPUESTA	24
6.3.	NIVELES DE EMERGENCIA Y ACTIVACIÓN DEL PLAN.....	24
6.4.	PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTANDARIZADOS (POE).....	24
6.5.	COMUNICACIONES, COORDINACIÓN Y CADENA DE LLAMADAS.....	25
6.6.	PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN.....	25
6.7.	RECURSOS, LOGÍSTICA Y SEGURIDAD.....	25
6.8.	ABASTECIMIENTO ALTERNATIVO DE AGUA POTABLE	25
6.9.	RECURSOS HUMANOS MÍNIMOS.....	25
6.10.	REHABILITACIÓN DEL SISTEMA.....	26
6.10.1.	Objetivo	26
6.10.2.	Acciones de Rehabilitación	26
6.10.3.	Criterios para el Retorno a la Operación Normal.....	26
6.11.	CIERRE DE LA EMERGENCIA	26
7.	CAPÍTULO VII.....	27
	EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO	27
7.1.	GENERALIDADES.....	27
7.2.	MONITOREO DEL PLAN.....	27
7.3.	INDICADORES DE DESEMPEÑO	27
7.4.	PROGRAMA DE SIMULACROS.....	28
7.5.	EVALUACIÓN POSTERIOR A LA EMERGENCIA.....	28
7.6.	ACTUALIZACIÓN DEL PLAN	28
7.7.	MEJORA CONTINUA.....	29
7.8.	REGISTROS Y ARCHIVO	29
8.	CAPÍTULO VIII.....	29
	INSPECCIÓN TÉCNICA DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE	29
8.1.	UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	29
8.2.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN	31
8.3.	METODOLOGÍA DE LA INSPECCIÓN TÉCNICA.....	33
8.3.1.	Revisión de información técnica existente	33
8.3.2.	Reconocimiento de campo.....	33
8.3.3.	Levantamiento de información especializada	34
8.3.4.	Georreferenciación de los puntos de inspección.....	34
8.3.5.	Procesamiento y análisis de la información	34



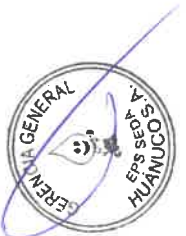


8.4.	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE CAMPO	35
8.5.	REGISTRO FOTOGRÁFICO	37
8.6.	EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN	46
8.7.	IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS	48
8.7.1.	Patologías geotécnicas.....	49
8.7.2.	Patologías hidráulicas	49
8.7.3.	Patologías estructurales	50
8.7.4.	Patologías por erosión y socavación	50
8.7.5.	Patologías derivadas de intervenciones antrópicas	50
8.7.6.	Interacción entre patologías	51
8.8.	IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS	52
8.8.1.	Localización de los puntos críticos.....	52
8.8.2.	Descripción técnica de los puntos críticos.....	53
8.8.3.	Priorización de intervención.....	54
8.9.	IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS NATURALES.....	55
8.9.1.	Precipitaciones intensas	55
8.9.2.	Movimientos en masa	55
8.9.3.	Erosión hídrica.....	56
8.9.4.	Saturación del terreno	56
8.9.5.	Sismos	56
8.9.6.	Caída de rocas.....	56
8.9.7.	Interacción de amenazas naturales	57
8.9.8.	Matriz de amenazas naturales.....	57
8.10.	DIAGNÓSTICO PRELIMINAR	57
9.	CAPÍTULO IX.....	60
	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL CANAL DE CONDUCCIÓN	60
9.1.	CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES	60
9.1.1.	Configuración estructural	60
9.1.2.	Sistema resistente	60
9.1.3.	Geometría estructural	61
9.1.4.	Condiciones de cimentación	61
9.1.5.	Antigüedad y evolución de la infraestructura	61
9.1.6.	Elementos estructurales complementarios	62



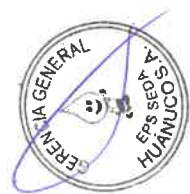


9.1.7.	Comportamiento estructural observado	62
9.2.	MATERIALES	62
9.2.1.	Concreto estructural del canal	63
9.2.2.	Evaluación mediante ensayos esclerométricos	63
9.2.3.	Terreno de fundación como material estructural	64
9.2.4.	Evaluación integrada del comportamiento de los materiales	64
9.3.	CARGAS ACTUANTES	65
9.3.1.	Cargas permanentes	65
9.3.2.	Cargas hidráulicas	65
9.3.3.	Acciones geotécnicas	66
9.3.4.	Acciones hidrometeorológicas	66
9.3.5.	Acciones sísmicas	67
9.3.6.	Interacción de las cargas actuantes	67
9.4.	CONDICIONES DE SERVICIO	68
9.5.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL	69
9.5.1.	Criterios y alcance del análisis	69
9.5.2.	Modelo estructural del canal	71
3.5.3.	Caracterización de materiales	74
3.5.4.	Acciones actuantes	77
3.5.5.	Verificación estructural de los muros	80
3.5.6.	Verificación de la losa de fondo	83
3.5.7.	Verificación de tapas de concreto armado	91
3.5.8.	Interacción suelo-estructura	92
3.5.9.	Evaluación por escenarios	92
3.5.10.	Síntesis del comportamiento estructural	93
3.6.	VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD	94
3.7.	IDENTIFICACIÓN DE MECANISMOS DE FALLA	95
3.8.	DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL	96
3.9.	SIMULACION DE POSIBLES COLAPSOS EN LOS PUNTOS CRITICOS	97
4.	CAPÍTULO X	99
	MODELAMIENTO Y VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL	100
4.5.	CRITERIOS DE DISEÑO	100
4.6.	PARÁMETROS DE MODELAMIENTO	100
4.7.	MODELAMIENTO ESPECIALIZADO	100





4.7.2.	Configuración estructural del canal.....	101
4.7.3.	Propiedades mecánicas del concreto.....	102
4.7.4.	Propiedades geométricas de la losa de fondo	102
4.7.5.	Determinación de las cargas del canal	103
4.7.6.	Condiciones de modelamiento	103
4.7.7.	Resultados del análisis por pérdida de apoyo.....	104
4.7.8.	Determinación del momento de fisuración	104
4.7.9.	Interpretación del comportamiento estructural.....	105
4.7.10.	Modelamiento del sistema temporal de tubería HDPE	106
4.7.11.	Modelamiento de columnas metálicas	106
4.7.12.	Modelamiento de cunas, placas y pernos	107
4.7.13.	Resumen de resultados.....	108
4.8.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS.....	108
4.8.2.	Resultados del análisis del canal existente	109
4.8.3.	Momento de fisuración.....	110
4.8.4.	Comportamiento estructural de la losa	110
4.8.5.	Comportamiento del sistema tipo cajón	110
4.8.6.	Resultados del sistema temporal de conducción	111
4.8.7.	Resultados del análisis de columnas metálicas	111
4.8.8.	Evaluación comparativa de escenarios.....	112
4.8.9.	Interpretación de los resultados.....	112
5.	CAPÍTULO XI.....	113
	DISEÑO DEL SISTEMA PROVISIONAL.....	113
5.5.	OBJETO DEL DISEÑO PROVISIONAL.....	113
5.6.	CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO	113
5.6.2.	Condición hidráulica crítica	114
5.6.3.	Carga hidráulica.....	114
5.6.4.	Carácter temporal.....	114
5.6.5.	Compatibilidad con la topografía	114
5.6.6.	Apoyo de las conexiones	114
5.7.	CONFIGURACIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	114
5.8.	DISEÑO HIDRÁULICO DE LA TUBERÍA	115
5.8.2.	Geometría hidráulica.....	115





5.8.3.	Velocidad de flujo	115
5.8.4.	Pérdidas de carga.....	115
5.9.	PRESIÓN INTERIOR Y EMPUJE HIDRÁULICO.....	116
5.10.	VERIFICACIÓN DE LA TUBERÍA HDPE.....	116
5.10.2.	Cargas verticales	116
5.10.3.	Flexión	117
5.10.4.	Deformación	117
5.10.5.	Movimiento térmico	117
5.11.	DISEÑO DE CUNAS METÁLICAS.....	118
5.12.	DISEÑO DE COLUMNAS METÁLICAS.....	118
5.13.	ESTRUCTURA DE TRANSICIÓN.....	119
5.14.	DISEÑO DE PLACAS METÁLICAS.....	119
5.14.2.	Placa frontal	119
5.14.3.	Placas laterales y superior	120
5.15.	PERNOS PASANTES	120
5.16.	SOLDADURAS.....	121
5.17.	ACOPLE MECÁNICO.....	121
5.18.	DADOS DE CONCRETO Y CIMENTACIÓN	121
5.19.	MEJORAMIENTO Y PROTECCIÓN DEL TERRENO	122
5.20.	COMPATIBILIDAD CON EL CANAL EXISTENTE	122
5.21.	SECUENCIA DE EJECUCIÓN.....	123
5.22.	CONTROL DE CALIDAD Y PUESTA EN SERVICIO	124
5.23.	CONDICIONES DE VALIDEZ DEL DISEÑO	124
5.24.	CONCLUSIÓN DEL DISEÑO PROVISIONAL	125
6.	CAPÍTULO XII	126
	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....	126
6.5.	SECUENCIA CONSTRUCTIVA	126
6.5.2.	Actividades preliminares	126
6.5.3.	Levantamiento topográfico y replanteo.....	126
6.5.4.	Inspección del canal existente	127
6.5.5.	Detección de armaduras	127
6.5.6.	Preparación y mejoramiento del terreno	128
6.5.7.	Ejecución de dados de concreto	128
6.5.8.	Montaje de columnas y arriostramientos	129
6.5.9.	Instalación de cunas y neopreno.....	129
6.5.10.	Montaje de tuberías	129





6.5.11.	Ejecución de transiciones.....	130
6.5.12.	Instalación de acoples	130
6.5.13.	Prueba hidráulica y puesta en servicio	130
6.6.	PROCEDIMIENTO DE MONTAJE.....	131
6.6.2.	Recepción de materiales	131
6.6.3.	Acopio	131
6.6.4.	Izaje de tuberías.....	131
6.6.5.	Montaje de columnas.....	132
6.6.6.	Montaje de cunas.....	132
6.6.7.	Colocación de la tubería.....	132
6.6.8.	Instalación de pernos pasantes	132
6.6.9.	Montaje del acople.....	133
6.6.10.	Protección anticorrosiva.....	133
6.7.	PROCEDIMIENTO DE DESMONTAJE	133
6.7.2.	Planificación.....	133
6.7.3.	Secuencia de desmontaje	134
6.7.4.	Retiro de tuberías.....	134
6.7.5.	Retiro de pernos y placas.....	134
6.7.6.	Recuperación de componentes	134
6.8.	RECURSOS HUMANOS.....	135
6.8.2.	Personal profesional	135
6.8.3.	Mano de obra.....	135
6.9.	EQUIPAMIENTO MÍNIMO	135
6.10.	MAQUINARIA.....	136
6.11.	HERRAMIENTAS	137
6.12.	LOGÍSTICA	137
6.12.2.	Plan de abastecimiento	137
6.12.3.	Transporte	138
6.12.4.	Almacenamiento	138
6.12.5.	Continuidad de suministro	138
6.13.	SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	139
6.13.2.	Identificación de peligros.....	139
6.13.3.	Documentación de seguridad	139





6.13.4.	Equipos de protección personal.....	140
6.13.5.	Trabajos de izaje	140
6.13.6.	Trabajos en caliente	140
6.13.7.	Trabajos en taludes y zonas erosionadas	140
6.13.8.	Prueba hidráulica.....	141
6.14.	CONTROL DE CALIDAD	141
6.14.2.	Control de materiales.....	141
6.14.3.	Control geométrico	141
6.14.4.	Control del concreto	142
6.14.5.	Control de soldaduras	142
6.14.6.	Control de pernos	142
6.14.7.	Control de la tubería.....	143
6.14.8.	Control de acoples.....	143
6.14.9.	Prueba y monitoreo	143
7.	CAPÍTULO XIII.....	144
GESTIÓN REACTIVA ANTE INTERRUPCIÓN Y EL COLAPSO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN		144
7.5.	OBJETIVO, ALCANCE Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	144
7.5.2.	Objetivo general.....	144
7.5.3.	Objetivos específicos	144
7.5.4.	Alcance.....	145
7.5.5.	Ámbito de aplicación	145
7.5.6.	Organización para la respuesta	145
7.6.	MARCO NORMATIVO Y ARTICULACIÓN INSTITUCIONAL	145
7.7.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y ESCENARIO DE EMERGENCIA	146
7.7.2.	Escenario Operativo de Emergencia	147
7.8.	IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y AMENAZAS.....	147
7.8.2.	Peligros geotécnicos	147
7.8.3.	Peligros estructurales.....	148
7.8.4.	Peligros hidráulicos	148
7.8.5.	Peligros naturales	148
7.8.6.	Peligros operativos	148
7.8.7.	Peligros durante la respuesta	149



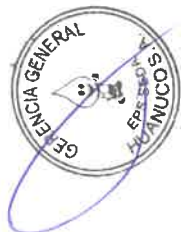


7.9.	EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD	149
7.9.2.	Vulnerabilidad física y estructural	149
7.9.3.	Vulnerabilidad geotécnica	149
7.9.4.	Vulnerabilidad hidráulica	150
7.9.5.	Vulnerabilidad operativa	150
7.9.6.	Vulnerabilidad logística	150
7.9.7.	Vulnerabilidad del servicio	150
7.10.	DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO	151
7.11.	ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE RIESGOS	151
7.12.	EVALUACIÓN Y MATRIZ DE RIESGOS	152
7.12.2.	Articulación entre los puntos críticos y la gestión reactiva	154
7.12.3.	Criterios de aplicación y Actualización	156
7.13.	NIVELES DE EMERGENCIA Y ACTIVACIÓN DEL PLAN	156
7.13.2.	Generalidades	156
7.13.3.	Criterios para la activación del plan	157
7.13.4.	Autoridad para la Activación	157
7.13.5.	Desactivación del plan	158
7.13.6.	Escenarios operativos de respuesta	158
7.14.	ORGANIZACIÓN PARA LA RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS	159
7.14.2.	Generalidades	159
7.14.3.	Organización del comité de emergencia	160
7.14.4.	Cadena de mando	160
7.14.5.	Funciones y responsabilidades	161
7.14.6.	Coordinación interinstitucional	162
7.14.7.	Organización operativa de la respuesta	162
7.15.	PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTANDARIZADOS (POE)	162
7.15.2.	Generalidades	162
7.15.3.	Estructura de los procedimientos operativos	163
7.15.4.	POE-0: Respuesta ante erosión superficial y deficiencia de drenaje	163
7.15.5.	POE-02: Respuesta ante filtraciones y pérdida localizada del terreno de apoyo	164
7.15.6.	POE-03: Respuesta ante deslizamiento de taludes	166



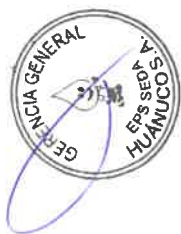


7.15.7.	POE-04: Respuesta ante pérdida del apoyo estructural del canal	168
7.15.8.	POE-05: Respuesta ante el colapso del canal de conducción.....	170
7.15.9.	POE-06: Monitoreo y seguimiento posterior a la emergencia	173
7.15.10.	POE-07: Restablecimiento definitivo del servicio y cierre de la emergencia	175
7.16.	COMUNICACIONES, COORDINACIÓN Y CADENA DE LLAMADAS.....	176
7.16.2.	Generalidades	176
7.16.3.	Contenido del Reporte Inicial.....	177
7.16.4.	Puesto de Comando de Campo (PCC)	178
7.16.5.	Tiempos Máximos de Comunicación	178
7.16.6.	Coordinación Interinstitucional.....	178
7.16.7.	Comunicación a la Población Usaria	179
7.16.8.	Registro y Control de las Comunicaciones	179
7.17.	PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN INMEDIATA.....	180
7.17.2.	Generalidades	180
7.17.3.	Protocolo de Actuación ante Filtraciones o Procesos de Erosión .	180
7.17.4.	Protocolo de Actuación ante Colapso Parcial del Canal.....	180
7.17.5.	Protocolo de Actuación ante Interrupción Total del Servicio	180
7.17.6.	Protocolo de Actuación ante Falla del Sistema Provisional.....	181
7.17.7.	Protocolo de Actuación ante Deslizamientos	181
7.17.8.	Protocolo de Actuación ante Accidentes del Personal	181
7.17.9.	Relación con los Procedimientos Operativos Estandarizados.....	181
7.18.	RECURSOS, LOGÍSTICA Y SEGURIDAD PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS.....	182
7.18.2.	Generalidades	182
7.18.3.	Recursos Humanos.....	182
7.18.4.	Maquinaria y Equipos	183
7.18.5.	Logística para la Atención de Emergencias	183
7.18.6.	Seguridad durante la Atención de Emergencias.....	184
7.18.7.	Control y Reposición de Recursos	184
7.19.	PLAN DE ABASTECIMIENTO ALTERNATIVO DE AGUA POTABLE	184
7.19.2.	Generalidades	184
7.19.3.	Objetivos.....	185





7.19.4.	Priorización de la Atención	185
7.19.5.	Modalidades de Abastecimiento	185
7.19.6.	Determinación de la Demanda de Emergencia.....	185
7.19.7.	Procedimiento para la Distribución del Agua	186
7.19.8.	Control Sanitario.....	186
7.19.9.	Registro y Control Operativo	186
7.19.10.	Restablecimiento del Servicio	187
7.20.	RECURSOS HUMANOS MÍNIMOS.....	187
7.20.2.	Generalidades	187
7.20.3.	Organización del Personal	187
7.20.4.	Disponibilidad del Personal	187
7.21.	EQUIPAMIENTO ESTRATÉGICO	188
7.22.	MATERIALES ESTRATÉGICOS Y STOCK DE EMERGENCIA	188
7.23.	LOGÍSTICA DE EMERGENCIA.....	189
7.24.	FLUJOGRAMA DE ACTIVACIÓN E INTERVENCIÓN	190
7.25.	PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN Y CONTINUIDAD DEL SERVICIO 191	
7.25.2.	Evaluación inicial.....	191
7.25.3.	Aislamiento del tramo	191
7.25.4.	Preparación de apoyos	191
7.25.5.	Instalación de la tubería	191
7.25.6.	Prueba	191
7.25.7.	Restablecimiento progresivo.....	192
7.26.	ACCIONES DE REHABILITACIÓN.....	192
7.27.	MONITOREO DURANTE LA OPERACIÓN PROVISIONAL	192
7.28.	CIERRE DE LA EMERGENCIA Y RETORNO A LA NORMALIDAD.....	193
7.29.	EVALUACIÓN POSTERIOR Y LECCIONES APRENDIDAS	193
7.30.	CAPACITACIÓN, SIMULACROS Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN.....	194
7.30.2.	Capacitación	194
7.30.3.	Simulacros	194
7.30.4.	Actualización.....	195
8.	CAPÍTULO XIV	196
	CONCLUSIONES	196
9.	CAPÍTULO IX.....	198
	RECOMENDACIONES.....	198





RESUMEN EJECUTIVO

El presente Informe Técnico Final ha sido elaborado en el marco del Servicio de Consultoría para la Formulación del Plan de Gestión Reactiva ante Emergencias por Interrupción y Colapso del Canal de Conducción que Abastece a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II, contratado por la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento SEDA Huánuco S.A., con el propósito de evaluar integralmente las condiciones actuales del sistema de conducción de agua cruda, determinar las causas técnicas que originaron el colapso ocurrido en el sector Pucuchinche y formular una solución temporal que garantice la continuidad del abastecimiento de agua potable, complementada con un Plan de Gestión Reactiva para la atención de futuras emergencias.

Como parte del desarrollo de la consultoría se ejecutó el reconocimiento integral del corredor hidráulico comprendido entre la captación del sector Canchan y las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II, efectuándose inspecciones técnicas, levantamientos topográficos de precisión, estudios fotogramétricos mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV), ensayos esclerométricos, evaluaciones hidrológicas, hidráulicas, estructurales y geotécnicas, así como el registro georreferenciado de los sectores críticos identificados durante el trabajo de campo.

La evaluación permitió establecer que el sistema de conducción constituye una infraestructura estratégica para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Huánuco, desarrollándose a lo largo de aproximadamente seis kilómetros sobre un corredor con elevada complejidad geológica y geotécnica, caracterizado por pendientes pronunciadas, depósitos coluviales, procesos erosivos, infiltraciones y movimientos de masa, condiciones que incrementan significativamente su vulnerabilidad frente a fenómenos hidrometeorológicos extremos.

El diagnóstico integral determinó que el colapso ocurrido en el sector Pucuchinche no fue consecuencia de una falla por insuficiencia resistente del concreto estructural, sino del deterioro progresivo del terreno de fundación ocasionado por la acción combinada de precipitaciones intensas, infiltración, saturación del suelo, erosión, socavación y pérdida de soporte estructural. Esta condición modificó el comportamiento resistente del canal, generando deformaciones diferenciales y esfuerzos adicionales de flexión que finalmente produjeron el colapso del tramo afectado. Asimismo, se identificaron siete sectores críticos distribuidos a lo largo del corredor hidráulico que presentan diferentes niveles de vulnerabilidad y requieren intervenciones preventivas y correctivas para reducir el riesgo de futuras interrupciones del servicio.

La evaluación estructural incluyó la caracterización de los materiales, la determinación de las acciones actuantes, la verificación del comportamiento de la losa de fondo, muros laterales y estructura del canal, así como el análisis de los mecanismos de falla asociados a la pérdida de apoyo del terreno. Los resultados obtenidos demuestran que, mientras la infraestructura mantiene apoyo continuo sobre el terreno natural, las solicitaciones estructurales permanecen dentro de condiciones compatibles con su funcionamiento. Sin embargo, la pérdida parcial o total del soporte inferior modifica significativamente el comportamiento resistente de la estructura, incrementando los esfuerzos de flexión y reduciendo su margen de seguridad.

Como alternativa de respuesta inmediata ante futuras emergencias, la consultoría desarrolla el diseño de un sistema provisional de conducción mediante tubería de polietileno de





alta densidad (HDPE), apoyada sobre estructuras metálicas temporales y cimentaciones de concreto, cuya configuración fue verificada mediante memorias de cálculo estructural e hidráulica, estableciéndose los criterios de diseño, especificaciones técnicas, procedimiento constructivo, condiciones de operación y recomendaciones para su implementación segura.

De manera complementaria, se formuló un Plan de Gestión Reactiva ante Emergencias, estructurado conforme a los lineamientos del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), el cual comprende la identificación de amenazas, evaluación de vulnerabilidades, análisis de riesgos, organización para la respuesta, protocolos de actuación, procedimientos de recuperación del servicio, logística de emergencia, monitoreo de la infraestructura y criterios para la rehabilitación progresiva del sistema.

Finalmente, el presente Informe Técnico constituye el sustento técnico para la implementación de medidas inmediatas orientadas a garantizar la continuidad del abastecimiento de agua potable y proporciona los criterios de ingeniería necesarios para el desarrollo de las futuras intervenciones definitivas sobre el corredor hidráulico. Asimismo, establece una estrategia integral basada en la estabilización geotécnica, rehabilitación estructural, control del drenaje superficial, monitoreo permanente y gestión del riesgo, con el propósito de incrementar la seguridad, resiliencia y sostenibilidad del sistema de conducción de agua cruda de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento SEDA Huánuco S.A.





CAPÍTULO I

INFORMACIÓN GENERAL

1.1. ANTECEDENTES

La Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento SEDA Huánuco S.A. opera el sistema de captación, conducción, tratamiento y distribución de agua potable que abastece a la ciudad de Huánuco y su área de influencia. El sistema de conducción de agua cruda constituye una infraestructura estratégica para garantizar la continuidad del servicio, por lo que cualquier afectación a sus componentes puede generar la interrupción parcial o total del abastecimiento hacia las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II.

Como consecuencia de los procesos de erosión, socavación, inestabilidad de taludes y pérdida del terreno de apoyo identificados durante las inspecciones técnicas efectuadas en el corredor hidráulico, se evidenció la necesidad de establecer medidas de preparación, respuesta y rehabilitación que permitan reducir los impactos derivados de una eventual emergencia.

En ese contexto, SEDA Huánuco S.A. dispone la formulación del presente Plan de Gestión Reactiva, con la finalidad de fortalecer su capacidad de respuesta institucional y garantizar la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable mediante procedimientos técnicos, organizacionales y operativos previamente establecidos.



1.2. INFORMACIÓN GENERAL

Ítem	Descripción
Empresa Prestadora	EPS SEDA Huánuco S.A.
Documento	Plan de Gestión Reactiva
Infraestructura	Sistema de conducción de agua cruda
Ubicación	Provincia de Huánuco, departamento de Huánuco
Plantas abastecidas	PTAP Cabritopampa I y PTAP Cabritopampa II
Elaborado por	Consultoría especializada
Año	2026



1.3. FINALIDAD

El presente Plan tiene por finalidad establecer la organización, procedimientos, recursos y mecanismos de coordinación necesarios para responder de manera oportuna, segura y eficiente frente a emergencias que afecten el sistema de conducción de agua cruda, garantizando la protección de las personas, la infraestructura y la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.



1.4. ALCANCE

El presente Plan comprende todas las actividades relacionadas con la preparación, respuesta y rehabilitación frente a emergencias que puedan afectar el sistema de conducción de agua cruda, incluyendo:

- Canal de conducción.
- Estructuras de transición.
- Tramos críticos identificados.





- Taludes y plataformas de apoyo.
- Sistema provisional de conducción mediante tubería HDPE.
- Plantas de Tratamiento Cabritopampa I y II.
- Personal operativo y administrativo involucrado en la atención de emergencias.

1.5. ÁREA DE INFLUENCIA

El ámbito de aplicación del presente Plan comprende el corredor hidráulico del sistema de conducción de agua cruda que abastece a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II, incluyendo los sectores identificados como puntos críticos durante la evaluación técnica y las áreas potencialmente afectadas por la interrupción del servicio.

Asimismo, comprende las instalaciones operativas, los accesos, las estructuras auxiliares y los sectores poblacionales cuya continuidad del abastecimiento depende del adecuado funcionamiento del sistema de conducción.

1.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El sistema de conducción de agua cruda está conformado por un canal cerrado de concreto armado que transporta el recurso hídrico desde la captación hacia las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II.

Durante la evaluación técnica se identificaron procesos de erosión superficial, socavación, infiltraciones, pérdida del terreno de apoyo e inestabilidad de taludes, condiciones que incrementan la probabilidad de fallas estructurales y la interrupción del servicio.

Como medida de respuesta, el presente Plan contempla la implementación de un sistema provisional de conducción mediante tubería de polietileno de alta densidad (HDPE), diseñado para mantener la continuidad del abastecimiento mientras se ejecutan las acciones de rehabilitación de la infraestructura afectada.

1.7. OBJETIVOS DEL PLAN

1.7.1. Objetivo General

Establecer los lineamientos técnicos, organizacionales y operativos que permitan a la EPS SEDA Huánuco S.A. responder de manera eficiente frente a emergencias que afecten el sistema de conducción de agua cruda, garantizando la continuidad del servicio y la protección de las personas, la infraestructura y el ambiente.

1.7.2. Objetivos Específicos

- a) Identificar los escenarios de riesgo que puedan comprometer la continuidad del servicio.
- b) Establecer la organización institucional para la atención de emergencias.
- c) Definir los procedimientos operativos para la respuesta y rehabilitación.
- d) Determinar los recursos humanos, materiales y logísticos necesarios.
- e) Establecer mecanismos de comunicación, coordinación y seguimiento.
- f) Garantizar el abastecimiento alternativo de agua potable durante la emergencia.



CAPÍTULO II

BASE LEGAL

2.1. GENERALIDADES

El presente Plan de Gestión Reactiva se formula en cumplimiento del marco normativo vigente aplicable a la Gestión del Riesgo de Desastres, la prestación de los servicios de saneamiento y la continuidad operativa de la infraestructura hidráulica administrada por la EPS SEDA Huánuco S.A.

La base legal establece las competencias, responsabilidades y obligaciones de las entidades involucradas en la preparación, respuesta y rehabilitación frente a emergencias que puedan afectar el sistema de conducción de agua cruda y la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.

2.2. MARCO NORMATIVO

El presente Plan se sustenta en las siguientes disposiciones legales:

a) Constitución Política del Perú

Establece la obligación del Estado de proteger a la población frente a situaciones de riesgo y garantizar la prestación de los servicios públicos esenciales.

b) Ley N° 29664 – Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)

Establece los principios, procesos, instrumentos y responsabilidades para la gestión prospectiva, correctiva y reactiva del riesgo de desastres, disponiendo que las entidades públicas implementen mecanismos de preparación, respuesta y rehabilitación frente a situaciones de emergencia.

c) Decreto Supremo N° 048-2011-PCM

Aprueba el Reglamento de la Ley N° 29664, desarrollando la organización, funciones y procedimientos del SINAGERD, así como las responsabilidades de las entidades públicas en los procesos de preparación, respuesta, rehabilitación y reconstrucción.

d) Decreto Legislativo N° 1280 – Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento

Establece las obligaciones de las empresas prestadoras para garantizar la continuidad, calidad y sostenibilidad de los servicios de agua potable y saneamiento.

e) Reglamento del Decreto Legislativo N° 1280

Desarrolla las disposiciones aplicables a la prestación de los servicios de saneamiento, incluyendo la continuidad del servicio y la gestión de riesgos operacionales.

f) Lineamientos para la Formulación del Plan de Gestión Reactiva

Documento técnico que establece la estructura, contenido mínimo y criterios para la elaboración, implementación, seguimiento y actualización de los Planes de Gestión Reactiva de las entidades públicas y empresas prestadoras de servicios.

g) Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)

En particular las normas técnicas relacionadas con el diseño, evaluación y seguridad de





estructuras, geotecnia y obras hidráulicas que resultan aplicables a la infraestructura objeto del presente Plan.

h) Ley N° 29783 – Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo

Establece las obligaciones del empleador para proteger la integridad física y la salud de los trabajadores durante la ejecución de actividades ordinarias y de emergencia.

i) Reglamento de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo

Aprobado mediante Decreto Supremo N° 005-2012-TR y sus modificatorias.

j) Normativa interna de EPS SEDA Huánuco S.A.

- Reglamento Interno.
- Plan de Continuidad Operativa.
- Procedimientos Operativos.
- Manuales de operación y mantenimiento.
- Protocolos institucionales de emergencia.

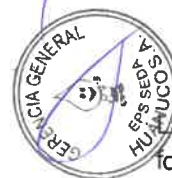
2.3. ARTICULACIÓN INSTITUCIONAL

La implementación del presente Plan de Gestión Reactiva se desarrollará en coordinación con las entidades que integran el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), así como con las instituciones competentes en la prestación de los servicios de saneamiento y atención de emergencias.

Según la naturaleza y magnitud del evento, la EPS SEDA Huánuco S.A. podrá coordinar acciones con:

- Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS).
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).
- Gobierno Regional de Huánuco.
- Municipalidad Provincial de Huánuco y gobiernos locales involucrados.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- Policía Nacional del Perú.
- Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú.
- Establecimientos de salud.
- Empresas prestadoras de servicios básicos.
- Contratistas y proveedores estratégicos.

La coordinación interinstitucional permitirá optimizar el empleo de los recursos disponibles, fortalecer la capacidad de respuesta y facilitar la rehabilitación de la infraestructura afectada, garantizando la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable





CAPÍTULO III

OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer los lineamientos técnicos, organizacionales y operativos que permitan a la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento SEDA Huánuco S.A. responder de manera oportuna, eficiente y segura ante situaciones de emergencia que afecten el sistema de conducción de agua cruda, garantizando la protección de las personas, la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable y la rehabilitación progresiva de la infraestructura afectada.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El presente Plan de Gestión Reactiva tiene los siguientes objetivos específicos:

- a) Identificar y evaluar los escenarios de riesgo que puedan comprometer la estabilidad del sistema de conducción de agua cruda y la continuidad del servicio.
- b) Establecer la organización institucional y la estructura operativa para la preparación, respuesta y rehabilitación frente a emergencias.
- c) Definir los procedimientos operativos estandarizados para la atención de eventos que afecten la infraestructura hidráulica, garantizando una respuesta rápida, coordinada y segura.
- d) Determinar los recursos humanos, materiales, logísticos y financieros necesarios para la atención de emergencias y la rehabilitación de la infraestructura afectada.
- e) Establecer los mecanismos de comunicación, coordinación y articulación institucional entre las dependencias de la EPS SEDA Huánuco S.A. y las entidades que integran el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).
- f) Garantizar la continuidad del abastecimiento de agua potable mediante la implementación de sistemas provisionales de conducción y mecanismos de abastecimiento alternativo durante la atención de la emergencia.
- g) Establecer criterios para el monitoreo, seguimiento, evaluación y actualización permanente del presente Plan de Gestión Reactiva, promoviendo la mejora continua de la capacidad institucional de respuesta.

3.3. Alcance de los Objetivos

Los objetivos establecidos en el presente capítulo serán aplicables a todas las fases de la gestión reactiva comprendidas en este Plan, incluyendo la preparación, respuesta inmediata, rehabilitación inicial y evaluación posterior a la emergencia.

Su cumplimiento permitirá fortalecer la capacidad operativa de la EPS SEDA Huánuco S.A., optimizar el empleo de los recursos disponibles y reducir los impactos derivados de eventos que afecten el sistema de conducción de agua cruda.





CAPÍTULO IV

INFORMACIÓN SOBRE LOS ESCENARIOS DE RIESGO

4.1. GENERALIDADES

El presente capítulo desarrolla la identificación y evaluación de los escenarios de riesgo que pueden afectar la continuidad del sistema de conducción de agua cruda administrado por la EPS SEDA Huánuco S.A. La información presentada se sustenta en las inspecciones de campo, levantamientos topográficos, evaluaciones estructurales, hidráulicas y geotécnicas, ensayos especializados y análisis técnico realizados durante la elaboración del presente Plan de Gestión Reactiva.

La evaluación permitió identificar las amenazas, vulnerabilidades y puntos críticos existentes a lo largo del corredor hidráulico, determinando los escenarios de riesgo que podrían comprometer la estabilidad de la infraestructura, la continuidad del abastecimiento de agua potable y la seguridad del personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema.

La identificación de estos escenarios constituye la base para la formulación de las acciones de preparación, respuesta y rehabilitación contempladas en los capítulos siguientes.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS

Durante la evaluación técnica se identificaron las principales amenazas naturales y antrópicas que pueden afectar el sistema de conducción de agua cruda.

Las amenazas identificadas corresponden principalmente a procesos de erosión, socavación, inestabilidad geotécnica y fallas estructurales que presentan diferente nivel de incidencia sobre la infraestructura hidráulica.

TABLA 4.2-1. AMENAZAS IDENTIFICADAS

Amenaza	Origen	Consecuencia
Erosión superficial	Hidrológico	Pérdida progresiva del terreno
Socavación	Hidráulico	Pérdida del apoyo estructural
Infiltraciones	Hidrogeológico	Saturación del terreno
Deslizamientos	Geotécnico	Inestabilidad de taludes
Sismos	Natural	Daños estructurales
Lluvias extraordinarias	Hidrometeorológico	Incremento de erosión y caudales
Colapso estructural	Estructural	Interrupción del servicio

4.3. IDENTIFICACIÓN DE VULNERABILIDADES

El análisis técnico permitió identificar las principales condiciones de vulnerabilidad presentes en el sistema de conducción.

Las vulnerabilidades comprenden aspectos estructurales, geotécnicos, hidráulicos y operativos que incrementan la probabilidad de ocurrencia de daños durante eventos adversos.





Se identificaron, entre otras, las siguientes:

1. Pérdida progresiva del terreno de apoyo;
2. Socavación bajo la losa de fondo;
3. Infiltraciones permanentes;
4. Procesos activos de erosión;
5. Inestabilidad de taludes;
6. Fisuración localizada;
7. Dificultad de acceso para maquinaria;
8. Ausencia de rutas alternas en determinados sectores.

4.4. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS

Como resultado de la evaluación integral del corredor hidráulico se identificaron siete (07) puntos críticos cuya condición requiere medidas de monitoreo permanente y acciones de respuesta específicas.

Cada punto crítico presenta diferentes niveles de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, los cuales fueron considerados para la formulación de los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE) y de los niveles de emergencia establecidos en el presente Plan.

4.5. ESCENARIOS DE RIESGO PARA LA RESPUESTA

Con base en la evaluación técnica realizada, se definieron los siguientes escenarios de riesgo para la fase de respuesta:

Escenario I

Procesos de erosión superficial e infiltraciones localizadas sin afectación inmediata de la continuidad del servicio.

Nivel de emergencia:

Verde

Escenario II

Pérdida parcial del terreno de apoyo, incremento de infiltraciones y aparición de asentamientos diferenciales.

Nivel de emergencia:

Amarillo

Escenario III

Socavación activa bajo la losa de fondo, deformaciones estructurales e inestabilidad del terreno.

Nivel de emergencia:

Rojo

Escenario IV

Colapso parcial o total del canal de conducción con interrupción del abastecimiento.

Nivel de emergencia:

Rojo

4.6. ESCENARIOS PARA LA REHABILITACIÓN

Luego del control de la emergencia podrán presentarse diferentes escenarios para la rehabilitación de la infraestructura.





Las acciones comprenderán:

- Estabilización geotécnica;
- Reposición del terreno de apoyo;
- Reconstrucción del canal;
- Rehabilitación de drenajes;
- Retiro del sistema provisional;
- Restitución del servicio.

La selección de las medidas de rehabilitación dependerá de la magnitud de los daños identificados durante la evaluación posterior a la emergencia.

4.7. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGO

Del análisis efectuado se concluye que la principal condición de riesgo corresponde a la pérdida progresiva del terreno de apoyo del canal de conducción, producto de procesos de erosión, infiltración y socavación, situación que puede ocasionar la interrupción parcial o total del abastecimiento de agua potable hacia las Plantas de Tratamiento Cabritopampa I y II.

La implementación del presente Plan de Gestión Reactiva permitirá fortalecer la capacidad institucional para responder de manera organizada y eficiente frente a estos escenarios, reduciendo los impactos sobre la población usuaria y facilitando la rehabilitación de la infraestructura afectada.





CAPÍTULO V

PREPARACIÓN

Este capítulo desarrolla las acciones que la EPS SEDA Huánuco S.A. deberá implementar antes de que ocurra una emergencia, con el propósito de fortalecer su capacidad de respuesta y rehabilitación.

5.1. GENERALIDADES

La fase de preparación comprende el conjunto de acciones orientadas a fortalecer la capacidad institucional para responder de manera eficiente ante situaciones de emergencia que afecten el sistema de conducción de agua cruda.

Estas acciones incluyen el fortalecimiento de los recursos humanos, la disponibilidad de equipos y materiales, la planificación logística, la capacitación del personal, la programación de simulacros y la identificación de las necesidades institucionales para garantizar la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.

La preparación constituye un proceso permanente que deberá ser actualizado periódicamente en función de las modificaciones de la infraestructura, los resultados de las inspecciones técnicas y las lecciones aprendidas durante la atención de emergencias reales o simuladas.

5.2. DIAGNÓSTICO DE LAS CAPACIDADES PARA LA RESPUESTA Y REHABILITACIÓN

La evaluación institucional permitió identificar las capacidades actualmente disponibles para la atención de emergencias relacionadas con el sistema de conducción de agua cruda.

El diagnóstico comprende los recursos humanos, equipos, maquinaria, materiales, sistemas de comunicación y organización institucional requeridos para ejecutar las acciones previstas en el presente Plan de Gestión Reactiva.

TABLA 5.2-1. DIAGNÓSTICO DE CAPACIDADES INSTITUCIONALES

Componente	Situación actual	Observación
Organización institucional	Disponible	Comité de Emergencia conformado.
Personal técnico	Disponible	Personal especializado según requerimiento.
Equipos topográficos	Disponible	Para monitoreo y replanteo.
Equipos de comunicación	Disponible	Radios y telefonía móvil.
Maquinaria pesada	Parcial	Requiere apoyo de terceros según magnitud del evento.
Sistema provisional HDPE	Previsto	Se implementará conforme al presente Plan.
Materiales estratégicos	Parcial	Requieren reposición y actualización periódica.

5.3. ACTIVIDADES, INVERSIONES Y METAS

Con el propósito de fortalecer la capacidad institucional de respuesta, la EPS SEDA Huánuco





S.A. implementará un programa permanente de actividades preventivas.

TABLA 5.3-1. PROGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Responsable	Frecuencia	Meta
Inspección de puntos críticos	Área de Operaciones	Mensual	100 %
Monitoreo topográfico	Área Técnica	Trimestral	100 %
Capacitación del personal	Recursos Humanos	Semestral	100 % del personal involucrado
Simulacros	Comité de Emergencia	Semestral	2 simulacros por año
Actualización del Plan	Gerencia General	Anual	1 actualización anual
Inventario de recursos	Logística	Trimestral	100 % actualizado

5.4. NECESIDADES NO CUBIERTAS

Como resultado del diagnóstico institucional se identificaron necesidades que deberán ser atendidas progresivamente para fortalecer la capacidad de respuesta.

Entre las principales necesidades se identifican:

- Fortalecer el stock estratégico de materiales para emergencias.
- Incrementar la disponibilidad de equipos especializados para monitoreo estructural y geotécnico.
- Consolidar convenios con proveedores de maquinaria pesada y transporte especializado.
- Fortalecer la capacitación permanente del personal técnico y operativo.
- Implementar un sistema permanente de monitoreo de los puntos críticos.
- Actualizar periódicamente el inventario institucional de recursos.

La atención de estas necesidades permitirá reducir los tiempos de respuesta y mejorar la capacidad operativa durante la atención de emergencias.

5.5. PRESUPUESTO REFERENCIAL

La implementación del presente Plan de Gestión Reactiva requerirá la asignación de recursos económicos destinados al fortalecimiento de la capacidad institucional, mantenimiento de equipos, capacitación del personal y atención de emergencias.

TABLA 5.5-1. PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

Concepto	Unidad	Observación
Capacitación del personal	Global	Según programación anual
Simulacros	Global	Según cronograma institucional
Equipos de comunicación	Global	Reposición y mantenimiento
Equipos topográficos	Global	Mantenimiento y calibración
Materiales estratégicos	Global	Reposición periódica



Equipos de protección personal	Global	Renovación permanente
Contingencias	Global	Atención de emergencias

Nota: El presupuesto definitivo deberá ser determinado por la EPS SEDA Huánuco S.A. durante la programación anual de recursos, considerando la disponibilidad presupuestal, las prioridades institucionales y las necesidades identificadas en el presente Plan.

5.6. CONCLUSIONES DE LA FASE DE PREPARACIÓN

La preparación constituye un proceso permanente orientado a fortalecer las capacidades institucionales para responder de manera oportuna frente a emergencias que afecten el sistema de conducción de agua cruda.

La implementación de las acciones previstas en el presente capítulo permitirá optimizar la disponibilidad de recursos humanos, materiales y logísticos, mejorar la coordinación institucional y reducir los tiempos de respuesta durante la atención de emergencias, contribuyendo a garantizar la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.





CAPÍTULO VI

RESPUESTA Y REHABILITACIÓN

6.1. GENERALIDADES

La fase de respuesta comprende el conjunto de acciones inmediatas orientadas a proteger la vida y la salud de las personas, controlar los efectos de la emergencia, reducir los daños sobre la infraestructura hidráulica y garantizar, en el menor tiempo posible, la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.

Por su parte, la fase de rehabilitación comprende las acciones técnicas, operativas y administrativas destinadas a restablecer progresivamente las condiciones de funcionamiento del sistema de conducción de agua cruda mediante soluciones provisionales y definitivas, asegurando la recuperación de la infraestructura afectada y el retorno seguro a la operación normal.

Las acciones previstas en el presente capítulo se desarrollarán de manera articulada con los escenarios de riesgo identificados en el Capítulo IV y conforme a la organización institucional establecida para la atención de emergencias.

6.2. ORGANIZACIÓN PARA LA RESPUESTA

La respuesta institucional será ejecutada conforme a la estructura organizacional establecida por la EPS SEDA Huánuco S.A., mediante la activación del Comité de Emergencia, el Coordinador de Emergencia y las brigadas operativas responsables de la evaluación, control, estabilización, montaje del sistema provisional, abastecimiento alternativo, comunicaciones y seguridad.

La organización, funciones, responsabilidades y estructura operativa se desarrollan en el numeral correspondiente del presente Plan, constituyendo la base para la coordinación de todas las acciones de respuesta y rehabilitación.

6.3. NIVELES DE EMERGENCIA Y ACTIVACIÓN DEL PLAN

La activación del presente Plan se efectuará de acuerdo con los niveles de emergencia definidos a partir de la evaluación de la magnitud del evento, el grado de afectación de la infraestructura, el riesgo para las personas y la continuidad del servicio.

Los niveles de emergencia, criterios de activación, autoridades responsables y mecanismos para la desactivación del Plan se encuentran desarrollados en el numeral correspondiente del presente documento y deberán aplicarse conforme a la evolución del evento.

6.4. PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTANDARIZADOS (POE)

La atención de las emergencias se realizará mediante la aplicación de los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE), elaborados para cada uno de los escenarios identificados durante la evaluación técnica del sistema de conducción.

Los POE establecen las actividades específicas, responsables, recursos, tiempos de respuesta y medidas de seguridad que deberán ejecutarse durante la atención de cada evento,





garantizando una respuesta técnica, organizada y uniforme.

6.5. COMUNICACIONES, COORDINACIÓN Y CADENA DE LLAMADAS

La comunicación durante la emergencia deberá efectuarse de manera inmediata, continua y coordinada entre el personal operativo, el Comité de Emergencia y las entidades externas involucradas en la atención del evento.

La cadena de llamadas, los medios de comunicación, los procedimientos de reporte y los mecanismos de coordinación institucional forman parte del sistema de comunicaciones establecido en el presente Plan y deberán mantenerse permanentemente actualizados.

6.6. PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN

Los protocolos de actuación constituyen la guía operativa para la atención inicial de los eventos que puedan afectar el sistema de conducción de agua cruda.

Estos protocolos establecen las acciones inmediatas para escenarios de filtraciones, erosión, colapso parcial, interrupción del servicio, fallas del sistema provisional, deslizamientos y accidentes del personal, complementándose con los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE) correspondientes.

6.7. RECURSOS, LOGÍSTICA Y SEGURIDAD

La atención de emergencias requerirá la disponibilidad de recursos humanos, materiales, maquinaria, equipos, sistemas de comunicación y medios logísticos suficientes para ejecutar las acciones previstas en el presente Plan.

La planificación logística comprenderá la administración de los recursos estratégicos, el transporte de equipos y materiales, la coordinación con proveedores y contratistas, así como la implementación de medidas de seguridad y salud en el trabajo durante todas las fases de la emergencia.

6.8. ABASTECIMIENTO ALTERNATIVO DE AGUA POTABLE

Cuando la emergencia produzca la interrupción parcial o total del servicio de abastecimiento de agua potable, la EPS SEDA Huánuco S.A. implementará un sistema de abastecimiento alternativo que garantice el suministro temporal de agua a la población afectada.

El abastecimiento alternativo comprenderá la priorización de usuarios, la distribución mediante camiones cisterna u otros medios autorizados, el control sanitario, el registro de las entregas y el seguimiento permanente hasta el restablecimiento del servicio.

6.9. RECURSOS HUMANOS MÍNIMOS

La ejecución de las actividades de respuesta y rehabilitación requerirá la participación del personal profesional, técnico y operativo definido en el presente Plan, organizado en brigadas especializadas de acuerdo con la magnitud de la emergencia.

La relación del personal mínimo, sus funciones y criterios para la ampliación de recursos humanos se desarrolla en el numeral correspondiente del presente documento.





6.10. REHABILITACIÓN DEL SISTEMA

6.10.1. *Objetivo*

La rehabilitación tiene por finalidad restablecer las condiciones de estabilidad, seguridad y funcionamiento del sistema de conducción de agua cruda, mediante la ejecución de las acciones técnicas necesarias para recuperar la infraestructura afectada y garantizar la continuidad del servicio.

6.10.2. *Acciones de Rehabilitación*

Las acciones de rehabilitación comprenderán, según la magnitud del evento:

- Evaluación estructural de los elementos afectados.
- Evaluación geotécnica del terreno de apoyo y taludes.
- Retiro del material inestable y limpieza del área afectada.
- Reconformación y estabilización del terreno.
- Reconstrucción o reparación del canal y estructuras auxiliares.
- Rehabilitación de drenajes y obras de protección.
- Desmontaje del sistema provisional de conducción.
- Restitución progresiva del sistema definitivo.
- Verificación técnica del funcionamiento hidráulico.

6.10.3. *Criterios para el Retorno a la Operación Normal*

El sistema podrá retornar a su operación normal cuando se verifique:

- La estabilidad estructural de la infraestructura rehabilitada.
- La estabilidad geotécnica del terreno de apoyo.
- El funcionamiento hidráulico adecuado del sistema.
- La ausencia de fugas o deformaciones.
- El cumplimiento de los parámetros operativos establecidos.
- La conformidad técnica emitida por el Comité de Emergencia.

6.11. CIERRE DE LA EMERGENCIA

La emergencia será declarada concluida cuando se hayan eliminado o controlado las causas que la originaron, se haya restablecido la continuidad del servicio y se verifique que la infraestructura opera en condiciones seguras.

El cierre comprenderá:

- La desactivación formal del Comité de Emergencia.
- La emisión del informe técnico final.
- La evaluación de las acciones ejecutadas.
- El registro de recursos utilizados.
- La identificación de lecciones aprendidas.
- La formulación de recomendaciones para fortalecer la capacidad institucional de respuesta.





CAPÍTULO VII

EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO

7.1. GENERALIDADES

El presente Plan de Gestión Reactiva constituye un instrumento de gestión dinámica que deberá ser objeto de seguimiento, evaluación y actualización permanente, con la finalidad de garantizar su eficacia frente a situaciones de emergencia que afecten el sistema de conducción de agua cruda de la EPS SEDA Huánuco S.A.

La evaluación periódica permitirá verificar el cumplimiento de los objetivos del Plan, medir la capacidad institucional de respuesta, identificar oportunidades de mejora y fortalecer los procedimientos establecidos para la preparación, respuesta y rehabilitación de la infraestructura. Las actividades de seguimiento estarán a cargo del Comité de Emergencia, bajo la coordinación de la Gerencia General y del Coordinador de Emergencia.

7.2. MONITOREO DEL PLAN

El monitoreo comprenderá la verificación permanente de los siguientes aspectos:

- Estado de conservación de los puntos críticos.
- Condiciones estructurales del canal de conducción.
- Estabilidad geotécnica del terreno y taludes.
- Operatividad del sistema provisional de conducción.
- Disponibilidad de recursos humanos y logísticos.
- Estado del inventario de materiales estratégicos.
- Funcionamiento de los sistemas de comunicación.
- Cumplimiento de los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE).
- Ejecución de las actividades de preparación programadas.

Los resultados del monitoreo deberán registrarse y servirán como insumo para la actualización del presente Plan.

7.3. INDICADORES DE DESEMPEÑO

La eficacia del Plan será evaluada mediante indicadores que permitan medir el desempeño institucional durante la preparación, respuesta y rehabilitación.

TABLA 7.3-1. INDICADORES DE DESEMPEÑO

Indicador	Unidad	Meta
Tiempo de activación del Comité de Emergencia	Minutos	≤ 20
Tiempo de movilización de brigadas	Minutos	≤ 30
Tiempo de inicio de las acciones de respuesta	Horas	≤ 2
Disponibilidad de recursos estratégicos	%	≥ 95 %
Operatividad de equipos	%	100 %
Cumplimiento del programa de simulacros	%	100 %
Personal capacitado	%	≥ 90 %
Actualización anual del Plan	Cumplimiento	100 %





7.4. PROGRAMA DE SIMULACROS

La EPS SEDA Huánuco S.A. desarrollará simulacros periódicos con el propósito de evaluar la eficacia del presente Plan y fortalecer las capacidades de respuesta del personal involucrado. Como mínimo se ejecutarán los siguientes ejercicios:

TABLA 7.4-1. PROGRAMA REFERENCIAL DE SIMULACROS

Tipo de simulacro	Frecuencia
Simulación de escritorio	Trimestral
Simulacro operativo parcial	Semestral
Simulacro integral	Anual

Los simulacros deberán evaluar la activación del Comité de Emergencia, la aplicación de los Procedimientos Operativos Estandarizados, el funcionamiento del sistema de comunicaciones, la movilización de recursos y la implementación del sistema provisional de conducción.

7.5. EVALUACIÓN POSTERIOR A LA EMERGENCIA

Concluida cada emergencia o simulacro, el Comité de Emergencia realizará una evaluación integral que considere, como mínimo:

- Cumplimiento de los procedimientos establecidos.
- Tiempo de respuesta institucional.
- Funcionamiento de la cadena de comunicaciones.
- Disponibilidad y utilización de recursos.
- Eficacia de las medidas implementadas.
- Dificultades presentadas durante la atención.
- Daños registrados.
- Costos asociados a la emergencia.
- Recomendaciones para mejorar la respuesta.

Los resultados deberán incorporarse en un informe técnico de cierre y servirán como base para la actualización del presente Plan.

7.6. ACTUALIZACIÓN DEL PLAN

El presente Plan deberá actualizarse cuando ocurra cualquiera de las siguientes situaciones:

- Modificaciones significativas de la infraestructura.
- Incorporación de nuevos puntos críticos.
- Cambios en la organización institucional.
- Actualización del marco normativo.
- Resultados de simulacros.
- Lecciones aprendidas durante emergencias reales.
- Incorporación de nuevas tecnologías.
- Variación en la disponibilidad de recursos.

En cualquier caso, el Plan será revisado y actualizado como mínimo una vez al año.





7.7. MEJORA CONTINUA

La EPS SEDA Huánuco S.A. promoverá la mejora continua del presente Plan mediante la incorporación sistemática de las lecciones aprendidas, la implementación de acciones correctivas y preventivas, el fortalecimiento de las capacidades institucionales y la optimización de los procedimientos operativos.

Las recomendaciones derivadas de las evaluaciones posteriores a las emergencias y simulacros deberán incorporarse en las actualizaciones del Plan, garantizando su vigencia y eficacia frente a nuevos escenarios de riesgo.

7.8. REGISTROS Y ARCHIVO

La EPS SEDA Huánuco S.A. mantendrá un archivo técnico que contenga la documentación generada durante la implementación del presente Plan, incluyendo:

- Actas de activación y desactivación del Plan.
- Informes técnicos de evaluación.
- Registros de inspecciones.
- Reportes fotográficos.
- Registros topográficos.
- Informes de monitoreo.
- Registros de distribución de agua potable.
- Inventario de recursos utilizados.
- Informes de simulacros.
- Versiones actualizadas del Plan de Gestión Reactiva.

La conservación de esta información permitirá asegurar la trazabilidad de las acciones ejecutadas y facilitar los procesos de evaluación, auditoría y mejora continua.

CAPÍTULO VIII

INSPECCIÓN TÉCNICA DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE

8.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO.

El presente servicio de consultoría se desarrolla en cumplimiento de la Orden de Servicio emitida por la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento SEDA HUÁNUCO S.A., teniendo como ámbito de intervención la infraestructura correspondiente al sistema de conducción de agua cruda que forma parte del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Huánuco. Esta infraestructura hidráulica tiene como función conducir el recurso hídrico desde la captación ubicada en el sector Canchán hasta las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y Cabritopampa II, donde se realiza el proceso de potabilización para su posterior distribución a la población.

El sistema de conducción presenta una longitud aproximada de 6,0 km y transporta un caudal de diseño cercano a 240 L/s, desarrollándose a lo largo de un corredor hidráulico que atraviesa laderas naturales y sectores adyacentes a la carretera La Unión – Huánuco, constituyéndose en una infraestructura estratégica para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Huánuco.





Desde el punto de vista político-administrativo, el proyecto se ubica en el distrito de Huánuco, provincia de Huánuco y departamento de Huánuco, comprendiendo el corredor hidráulico existente entre la planta de sedimentadores de Canchán y la Planta de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa. El acceso a los diferentes sectores evaluados se realiza principalmente mediante la carretera asfaltada La Unión – Huánuco, desde donde parten caminos de servicio y accesos peatonales que permiten ejecutar labores de inspección, mantenimiento y evaluación técnica de la infraestructura.

El corredor hidráulico se desarrolla sobre una topografía predominantemente montañosa, caracterizada por pendientes pronunciadas, laderas conformadas por depósitos coluviales y residuales, afloramientos rocosos y quebradas naturales que condicionan el comportamiento geotécnico del terreno. Estas características geomorfológicas hacen que la infraestructura sea susceptible a procesos de erosión superficial, socavación, deslizamientos, caída de rocas e inestabilidad de taludes, especialmente durante los periodos de precipitaciones intensas.

El ámbito principal de evaluación comprende el sector Pucuchinche, donde el 20 de mayo de 2026 ocurrió el colapso parcial de un tramo del canal de conducción, evento que originó la interrupción temporal del abastecimiento de agua potable y motivó la contratación del presente servicio especializado para evaluar las condiciones actuales de la infraestructura, identificar las causas que originaron la falla y plantear las medidas técnicas necesarias para garantizar la continuidad del servicio.

Como parte del desarrollo de la presente consultoría, se efectuó el reconocimiento integral del corredor hidráulico comprendido entre Canchán y Cabritopampa, verificándose no solamente el tramo afectado por el colapso, sino también otros sectores que presentan condiciones de vulnerabilidad relacionadas con la estabilidad de taludes, drenaje superficial, procesos erosivos, intervenciones antrópicas y ocupación de la franja de influencia del canal. Esta evaluación permitió identificar diversos sectores que requieren medidas de intervención preventiva para reducir el riesgo de futuras afectaciones.

Para el desarrollo del presente informe se ejecutaron levantamientos topográficos de precisión, estudios fotogramétricos mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV), inspecciones estructurales, ensayos esclerométricos, evaluaciones hidrológicas e hidráulicas, así como recorridos de inspección técnica de toda la infraestructura existente. Asimismo, como parte de los antecedentes técnicos del servicio, se revisó la documentación proporcionada por la EPS SEDA HUÁNUCO S.A., incluyendo informes técnicos elaborados con anterioridad, entre ellos el informe de asistencia técnica emitido por el Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS), el cual fue considerado como información referencial y complementaria para la caracterización del sistema, sin sustituir las evaluaciones y verificaciones realizadas durante la presente consultoría.

Finalmente, debe precisarse que el sistema evaluado corresponde a una infraestructura hidráulica con más de setenta años de funcionamiento, cuya exposición permanente a fenómenos naturales y a intervenciones antrópicas ha originado un deterioro progresivo de algunos de sus componentes. En ese contexto, el ámbito del presente estudio comprende la totalidad del corredor hidráulico objeto de evaluación, constituyendo la base para el diagnóstico técnico, el diseño del sistema provisional de conducción y la formulación del Plan de Gestión Reactiva ante Emergencias, conforme a los alcances establecidos en la Orden de Servicio.

Figura 2.1. Ubicación general del sistema de conducción de agua cruda de la EPS SEDA HUÁNUCO S.A., comprendido entre la captación del sector Canchán y las Plantas de





Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y Cabritopampa II.

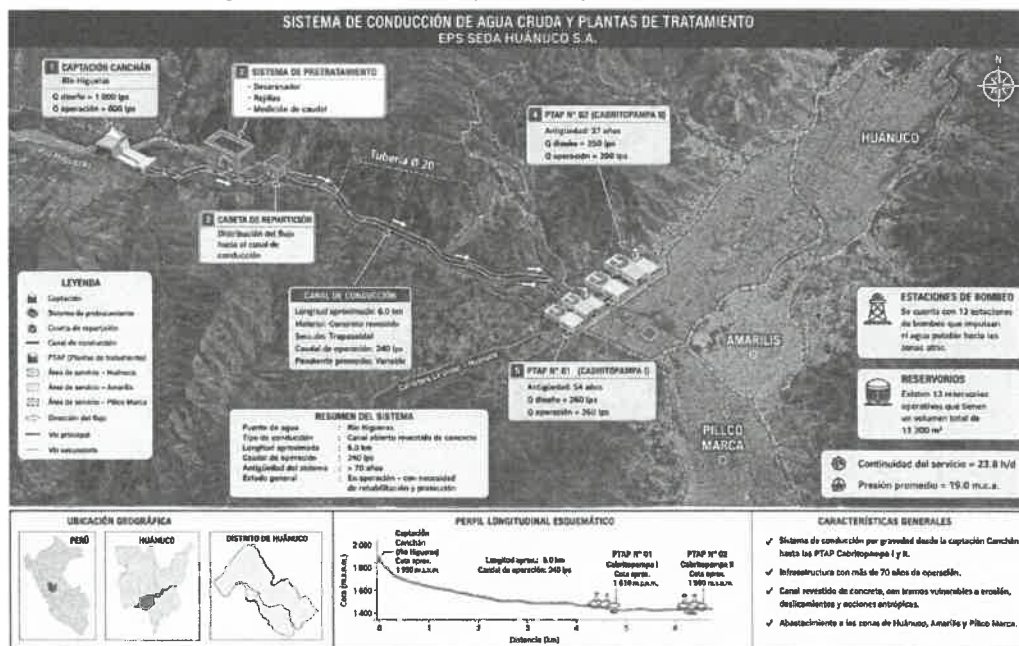


Figura 2.2. Localización del tramo colapsado en el sector Pucuchinche y de los sectores críticos evaluados en el corredor hidráulico del sistema de conducción.

8.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN

El sistema de conducción de agua cruda de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento SEDA HUÁNUCO S.A. constituye uno de los componentes fundamentales del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Huánuco, al permitir el transporte continuo del recurso hídrico desde la captación superficial ubicada en el sector Canchán hasta las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y Cabritopampa II, donde se desarrollan los procesos de potabilización para su posterior distribución a la población.

La infraestructura existente opera mediante conducción por gravedad, aprovechando el desnivel natural del terreno para transportar el agua sin requerir bombeo durante esta etapa del





proceso. Este principio hidráulico permite reducir los costos de operación; sin embargo, hace que el sistema dependa directamente de la estabilidad geomorfológica del corredor por donde se desarrolla la conducción, siendo particularmente sensible a fenómenos de erosión, deslizamientos, asentamientos diferenciales y otros procesos que puedan alterar la continuidad del canal.

De acuerdo con la información técnica proporcionada por la EPS SEDA HUÁNUCO S.A. y verificada durante el desarrollo de la presente consultoría, la línea de conducción presenta una longitud aproximada de 6,00 km, transportando un caudal de operación del orden de 240 L/s, constituyendo la principal fuente de abastecimiento de agua cruda hacia las plantas de tratamiento. Esta infraestructura forma parte de un sistema hidráulico integrado que comprende la captación, estructuras de pretratamiento, caseta de repartición, canal de conducción, estructuras complementarias de control hidráulico y las plantas de tratamiento de agua potable.

El inicio del sistema corresponde a la captación superficial ubicada sobre el río Higueras, en el sector Canchán, donde el recurso hídrico es derivado mediante obras hidráulicas hacia el sistema de pretratamiento. En esta etapa se realiza la remoción de materiales gruesos y sedimentos de mayor tamaño, reduciendo el ingreso de sólidos al canal de conducción y mejorando las condiciones de operación del sistema.

Posteriormente, el agua es conducida hacia la caseta de repartición, estructura que permite regular el ingreso del caudal al sistema de conducción y distribuir adecuadamente el flujo hacia las diferentes unidades hidráulicas. A partir de este punto se desarrolla el canal de conducción de agua cruda, el cual discurre paralelamente a la carretera La Unión – Huánuco, atravesando terrenos agrícolas, laderas naturales y sectores parcialmente urbanizados hasta llegar a las instalaciones de tratamiento.

La conducción está conformada predominantemente por un canal revestido de concreto, construido hace más de setenta años, cuya geometría y configuración estructural presentan variaciones en función de las condiciones topográficas existentes y de las diversas intervenciones efectuadas durante su vida útil. En determinados sectores se observan obras complementarias destinadas a proteger la infraestructura frente a procesos de erosión, controlar el drenaje superficial y mantener la estabilidad de la plataforma de apoyo del canal.

A lo largo del recorrido, la infraestructura atraviesa zonas con características geológicas y geotécnicas variables, donde predominan depósitos coluviales, materiales residuales, afloramientos rocosos y taludes de elevada pendiente. Estas condiciones naturales, sumadas a la acción permanente de las precipitaciones y a las intervenciones antrópicas desarrolladas dentro de la franja de influencia del canal, generan diferentes niveles de vulnerabilidad que afectan el comportamiento estructural de la infraestructura y condicionan sus requerimientos de mantenimiento.

Como parte de la presente consultoría se verificó que, además del tramo que sufrió el colapso en el sector Pucuchinche, existen otros sectores que presentan condiciones de riesgo relacionadas con procesos de erosión, pérdida de estabilidad de taludes, drenaje superficial inadecuado, presencia de filtraciones, ocupación de la franja de servidumbre y modificaciones del terreno natural efectuadas por terceros. Estas condiciones evidencian que la problemática del sistema no se limita a un único punto, sino que responde al comportamiento integral del corredor hidráulico.





Asimismo, durante la inspección técnica se constató que algunos sectores han sido objeto de intervenciones de emergencia y trabajos de mantenimiento ejecutados por la EPS SEDA HUÁNUCO S.A. para garantizar la continuidad del servicio, incluyendo reposiciones parciales de estructuras, estabilización provisional de taludes y la implementación de soluciones temporales de conducción. No obstante, dichas intervenciones responden principalmente a la atención inmediata de eventos específicos y no constituyen soluciones definitivas para las condiciones de vulnerabilidad existentes.

En ese contexto, la presente consultoría considera al sistema de conducción como una infraestructura hidráulica integral, cuyo adecuado funcionamiento depende no solo de las condiciones estructurales del canal, sino también de la estabilidad geotécnica del terreno, el comportamiento hidrológico de la cuenca, el control del drenaje superficial, el estado de conservación de las obras complementarias y la adecuada gestión de la franja de servidumbre. Bajo este enfoque se desarrollan los análisis contenidos en los capítulos siguientes, orientados a establecer el diagnóstico técnico de la infraestructura, evaluar los factores que comprometen su estabilidad y formular las medidas necesarias para garantizar la continuidad y seguridad del servicio de abastecimiento de agua potable.

8.3. METODOLOGÍA DE LA INSPECCIÓN TÉCNICA

La inspección técnica de la infraestructura existente se desarrolló en cumplimiento de los alcances establecidos en la Orden de Servicio emitida por la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento SEDA HUÁNUCO S.A., con el propósito de obtener información técnica confiable que permita evaluar las condiciones actuales del sistema de conducción de agua cruda, identificar los factores que comprometen su estabilidad y establecer los criterios necesarios para el desarrollo del diagnóstico y la formulación de las alternativas de intervención.

La metodología aplicada comprendió actividades de recopilación de información técnica, reconocimiento de campo, levantamientos especializados y evaluación de la infraestructura existente, integrando información documental proporcionada por la EPS con los resultados obtenidos durante el desarrollo de la presente consultoría. Este procedimiento permitió contar con una caracterización integral del sistema de conducción, considerando aspectos hidráulicos, estructurales, topográficos, geotécnicos y ambientales.

8.3.1. Revisión de información técnica existente

Como etapa inicial se efectuó la recopilación y revisión de la documentación técnica relacionada con la infraestructura objeto de estudio, incluyendo planos disponibles, antecedentes de mantenimiento, informes técnicos, registros de emergencias, información topográfica, estudios complementarios y demás documentación proporcionada por la EPS SEDA HUÁNUCO S.A. Asimismo, se revisaron informes técnicos elaborados previamente por otras instituciones como antecedentes de referencia, con la finalidad de conocer la evolución de la problemática y complementar el análisis desarrollado durante la presente consultoría.

Esta revisión permitió identificar los principales eventos que han afectado la infraestructura, reconocer las intervenciones ejecutadas con anterioridad y establecer los sectores que requerían una evaluación detallada durante las inspecciones de campo.

8.3.2. Reconocimiento de campo

Posteriormente se realizó el reconocimiento integral del corredor hidráulico comprendido entre la captación ubicada en el sector Canchán y las Plantas de Tratamiento de Agua Potable





Cabritopampa I y II, recorriendo la totalidad de la infraestructura objeto de evaluación.

Durante el recorrido se efectuó una inspección visual sistemática del canal de conducción y de sus estructuras complementarias, verificándose el estado físico de la infraestructura, la estabilidad de los taludes, las condiciones del drenaje superficial, la presencia de procesos erosivos, asentamientos, fisuras, filtraciones, socavaciones, deformaciones, obstrucciones y demás patologías que pudieran comprometer la seguridad estructural y la continuidad del servicio.

De igual manera, se evaluó la interacción existente entre la infraestructura hidráulica y el entorno, identificándose sectores con ocupación de la franja de servidumbre, modificaciones del terreno natural, construcciones cercanas al canal y otras intervenciones antrópicas que incrementan la vulnerabilidad del sistema.

8.3.3. Levantamiento de información especializada

Con la finalidad de obtener información técnica de mayor precisión, la inspección fue complementada mediante la ejecución de levantamientos especializados que permitieron caracterizar adecuadamente las condiciones de la infraestructura existente.

Entre las actividades desarrolladas destacan:

- Levantamiento topográfico de precisión del corredor hidráulico.
- Levantamiento fotogramétrico mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV).
- Registro fotográfico georreferenciado de las condiciones observadas.
- Inspección estructural de los elementos de concreto.
- Ensayos esclerométricos para la evaluación no destructiva del concreto.
- Evaluación hidrológica e hidráulica del sistema.
- Identificación y georreferenciación de los sectores críticos.

La integración de estas actividades permitió disponer de información planimétrica, altimétrica y estructural suficiente para el análisis técnico desarrollado en los capítulos posteriores del presente informe.

8.3.4. Georreferenciación de los puntos de inspección

Todos los sectores inspeccionados fueron registrados mediante dispositivos de posicionamiento geográfico, permitiendo obtener la localización precisa de los puntos críticos identificados durante el trabajo de campo.

La información geográfica fue organizada bajo el sistema de referencia WGS 84 / UTM Zona 18 Sur, facilitando posteriormente su incorporación a los planos temáticos, ortofotos, modelos digitales del terreno y demás productos cartográficos elaborados durante la consultoría.

La georreferenciación de los puntos inspeccionados permitió establecer la distribución espacial de las zonas críticas, relacionar las condiciones observadas con las características topográficas del terreno y evaluar la influencia de los factores naturales y antrópicos sobre el comportamiento de la infraestructura.

8.3.5. Procesamiento y análisis de la información

Concluidas las actividades de campo, la información obtenida fue procesada, organizada





y analizada mediante herramientas de ingeniería y sistemas de información geográfica, integrando los resultados de los levantamientos topográficos, fotogramétricos, inspecciones estructurales, ensayos de campo y evaluaciones hidráulicas.

Este proceso permitió elaborar los planos temáticos, ortomosaicos, modelos digitales del terreno, perfiles longitudinales y transversales, cuadros de coordenadas, registro fotográfico georreferenciado y demás productos técnicos que sustentan el diagnóstico de la infraestructura existente.

Finalmente, toda la información recopilada fue integrada para establecer el estado actual del sistema de conducción, identificar las condiciones de vulnerabilidad presentes en el corredor hidráulico y definir los criterios técnicos que sustentan las propuestas de intervención desarrolladas en los capítulos siguientes del presente Informe Técnico Final.

8.4. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE CAMPO

El levantamiento de información de campo constituyó una de las actividades fundamentales de la presente consultoría, permitiendo obtener información técnica actualizada sobre las condiciones físicas, estructurales, hidráulicas y geotécnicas del sistema de conducción de agua cruda de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento SEDA HUÁNUCO S.A. Esta etapa tuvo como finalidad recopilar información primaria que sirviera de base para el diagnóstico integral de la infraestructura y para el desarrollo de las propuestas técnicas contempladas en la Orden de Servicio.

Las actividades de campo se desarrollaron mediante recorridos sistemáticos a lo largo del corredor hidráulico comprendido entre la captación ubicada en el sector Canchán y las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II, efectuándose inspecciones directas en los diferentes componentes del sistema de conducción y en las áreas adyacentes que pudieran influir en su comportamiento estructural y funcional.

Durante el reconocimiento de campo se efectuó el registro detallado de las condiciones físicas del canal de conducción, verificándose el estado de conservación de la infraestructura, las características geométricas del canal, las condiciones de los elementos de concreto, la estabilidad de los taludes, las obras de drenaje existentes y las intervenciones ejecutadas anteriormente para la atención de emergencias o labores de mantenimiento.

Paralelamente, se realizó el levantamiento de información topográfica mediante equipos de precisión, obteniéndose la geometría del corredor hidráulico, cotas de terreno, pendientes longitudinales, secciones transversales y ubicación planimétrica de las principales estructuras hidráulicas. Esta información permitió elaborar la cartografía base del proyecto y sirvió como sustento para el desarrollo de los análisis hidráulicos y geotécnicos contenidos en el presente informe.

Como complemento al levantamiento topográfico, se ejecutó un reconocimiento fotogramétrico utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV), mediante el cual se obtuvieron ortomosaicos georreferenciados, modelos digitales del terreno y registros fotográficos de alta resolución. Estos productos permitieron analizar el comportamiento superficial del terreno, identificar procesos erosivos, evaluar la configuración de los taludes y establecer con mayor precisión la localización espacial de los sectores críticos.





Durante el trabajo de campo también se efectuó el registro fotográfico georreferenciado de todos los puntos inspeccionados, documentando las condiciones observadas en la infraestructura y su entorno inmediato. Cada registro fue asociado a su respectiva ubicación geográfica mediante coordenadas obtenidas en campo, permitiendo organizar la información de acuerdo con los diferentes sectores evaluados y facilitar posteriormente su representación en planos temáticos y paneles fotográficos.

Asimismo, se realizaron inspecciones visuales especializadas orientadas a identificar manifestaciones patológicas presentes en la infraestructura, tales como fisuras, agrietamientos, pérdida de material, procesos de erosión, filtraciones, asentamientos diferenciales, deformaciones, socavaciones, exposición de elementos estructurales y afectaciones ocasionadas por procesos naturales o por intervenciones antrópicas. Estas observaciones fueron registradas en fichas técnicas de inspección, constituyendo uno de los principales insumos para la evaluación del estado de conservación del sistema.

Con el propósito de verificar la calidad superficial del concreto existente, se ejecutaron ensayos esclerométricos en diferentes elementos estructurales representativos del canal de conducción. Los resultados obtenidos permitieron complementar la evaluación visual y disponer de información objetiva para valorar las condiciones mecánicas del concreto, cuyos resultados son desarrollados en el capítulo correspondiente.

Durante las actividades de campo también se efectuó la georreferenciación de los principales sectores de interés mediante el sistema de referencia WGS 84 / UTM Zona 18 Sur, permitiendo establecer la ubicación precisa de los puntos críticos identificados a lo largo del corredor hidráulico. Como resultado de este procedimiento se definieron los siguientes puntos de control, que constituyen la referencia espacial para el desarrollo de la presente consultoría.

TABLA 7.1. COORDENADAS UTM DE LOS PUNTOS CRÍTICOS IDENTIFICADOS DURANTE EL LEVANTAMIENTO DE CAMPO

PUNTO CRÍTICO	ESTE (m)	NORTE (m)
PC-01	357449	8902994
PC-02	358418	8902839
PC-03 Y 04	358873	8902839
PC-05	358880	8902597
PC-06	359663	8902233
PC-07	359942	8902075

La distribución espacial de estos puntos permitió reconocer los sectores con mayor nivel de vulnerabilidad y establecer la relación existente entre las condiciones geomorfológicas del terreno, las características constructivas del canal y las amenazas que afectan la estabilidad de la infraestructura. Esta información constituye la base para la elaboración de los planos de ubicación, la identificación de zonas críticas y el análisis técnico desarrollado en los numerales siguientes.





Finalmente, toda la información recopilada durante el levantamiento de campo fue procesada y organizada mediante herramientas de ingeniería y sistemas de información geográfica, permitiendo integrar la información topográfica, fotogramétrica, estructural e hidráulica en una única base de datos técnica. Este proceso facilitó la elaboración de planos temáticos, orto mosaicos, perfiles longitudinales y transversales, paneles fotográficos y demás productos técnicos que sustentan el diagnóstico integral de la infraestructura existente.

8.5. REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figura 7.5.1 Mapa de ubicación de los puntos críticos identificados en el corredor hidráulico del sistema de conducción de agua cruda de la EPS SEDA Huánuco S.A.

PUNTO CRITICO N° 01:

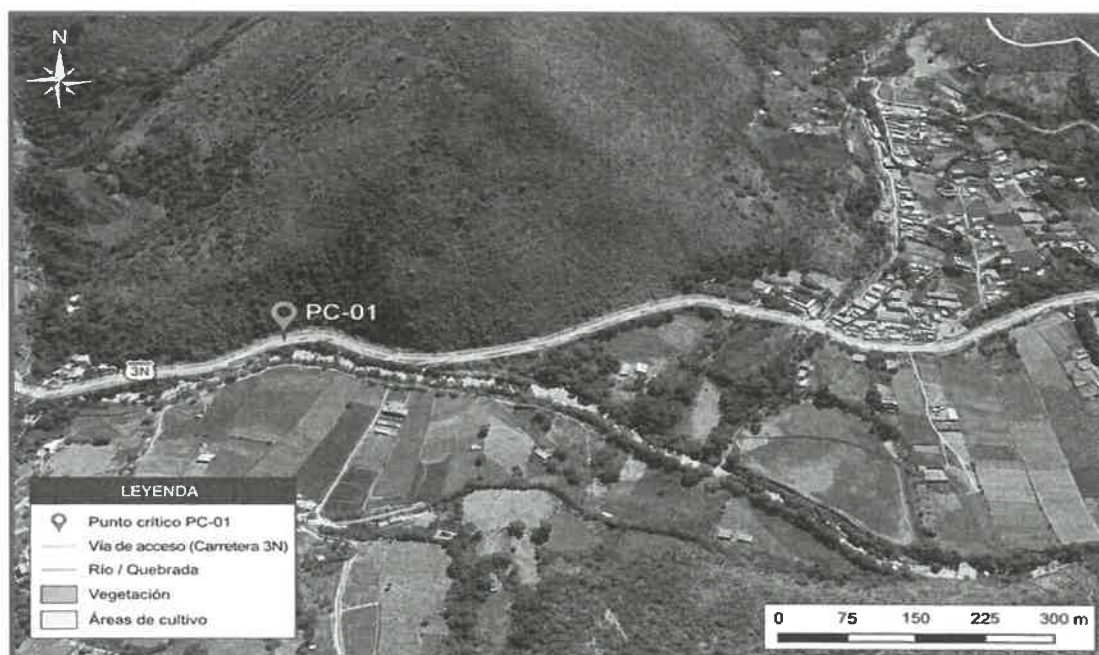




Figura 7.5.2. Punto Crítico PC-01. Vista aérea georreferenciada del Punto Crítico PC-01, ubicado en el tramo inicial del corredor hidráulico del canal de conducción. Se observa la localización del punto crítico respecto a la infraestructura vial y las áreas agrícolas adyacentes, identificándose como un sector con vulnerabilidad geotécnica que requiere monitoreo permanente y mantenimiento preventivo.



Figura 7.5.3. Punto Crítico PC-01. Vista del sector correspondiente al Punto Crítico PC-01, donde se observa el deterioro del revestimiento de concreto del canal de conducción, evidenciado por el desplazamiento y desprendimiento parcial de las losas de protección, producto de procesos de erosión superficial, pérdida de soporte del terreno y movimientos localizados del talud de corte. Asimismo, se aprecia la acumulación de material desprendido sobre la plataforma de circulación, condición que reduce la estabilidad del corredor hidráulico y evidencia la necesidad de ejecutar trabajos de estabilización del talud, rehabilitación del revestimiento y control del drenaje superficial para prevenir la progresión del deterioro.

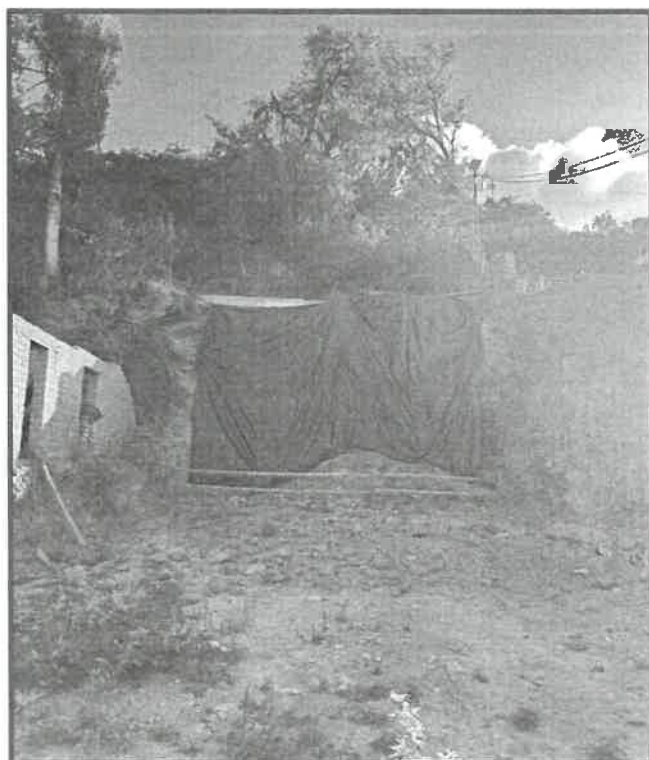


Figura 7.5.6. Punto Crítico PC-02. Vista del talud adyacente al canal de conducción, donde se observa un sector protegido temporalmente mediante cobertura plástica, evidenciando la ocurrencia de un deslizamiento superficial y la exposición del terreno. Esta condición refleja la inestabilidad del talud y la necesidad de implementar obras permanentes de estabilización, drenaje y protección para evitar la progresión del proceso erosivo y la afectación de la infraestructura hidráulica.





Figura 7.5.4. Punto Crítico PC-01. Detalle de las patologías estructurales identificadas en el revestimiento de concreto del canal de conducción, donde se observa la presencia de fisuras longitudinales y transversales, separación entre paños, desplazamiento de elementos de concreto y pérdida de continuidad estructural, asociados a deformaciones diferenciales originadas por la inestabilidad del terreno de fundación. Asimismo, se aprecia el desprendimiento de fragmentos de concreto y la acumulación de material producto de procesos de erosión y socavación en la base del talud, evidenciando un estado avanzado de deterioro que compromete la estabilidad del revestimiento y requiere la ejecución de obras de estabilización geotécnica, rehabilitación estructural y control integral del drenaje superficial.

PUNTO CRÍTICO N° 02:

PUNTO CRÍTICO PC-02 SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUA CRUDA - PLANTAS DE TRATAMIENTO CABRITOPAMPA I Y II

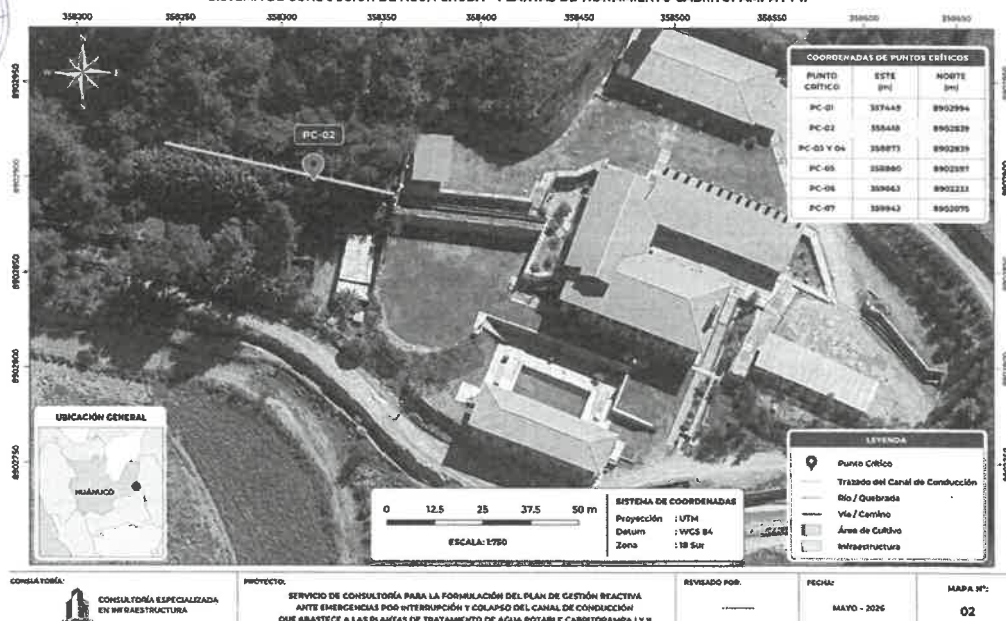


Figura 7.5.5. Punto Crítico PC-02. Vista aérea del Punto Crítico PC-02, donde se observa el trazado del canal de conducción próximo a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II. Este sector presenta condiciones de vulnerabilidad asociadas al drenaje superficial y a la influencia de actividades antrópicas, por lo que requiere monitoreo y mantenimiento preventivo.

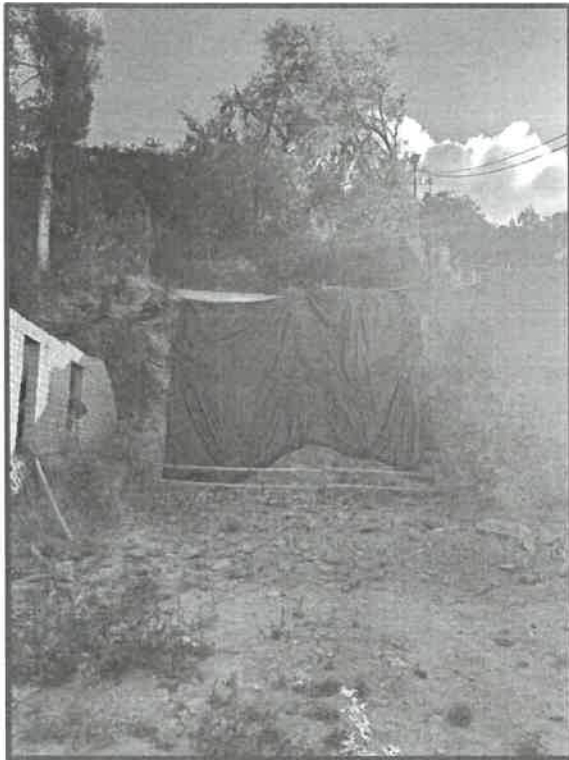
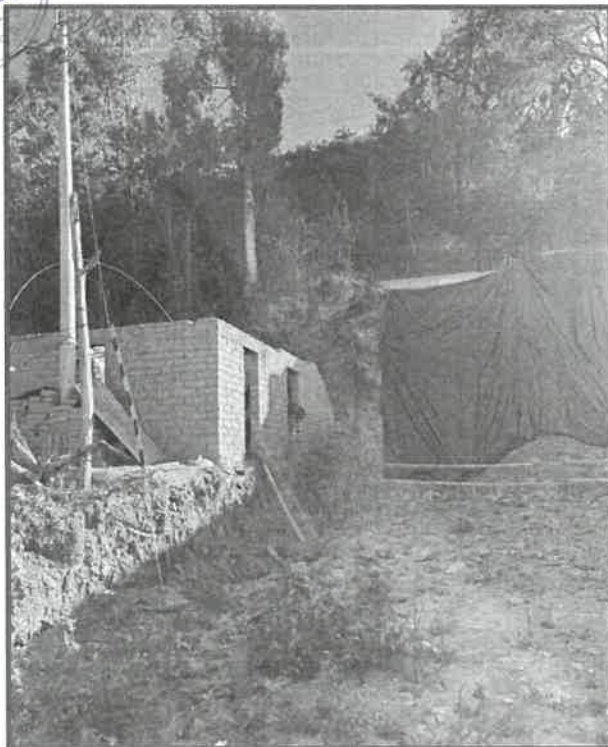
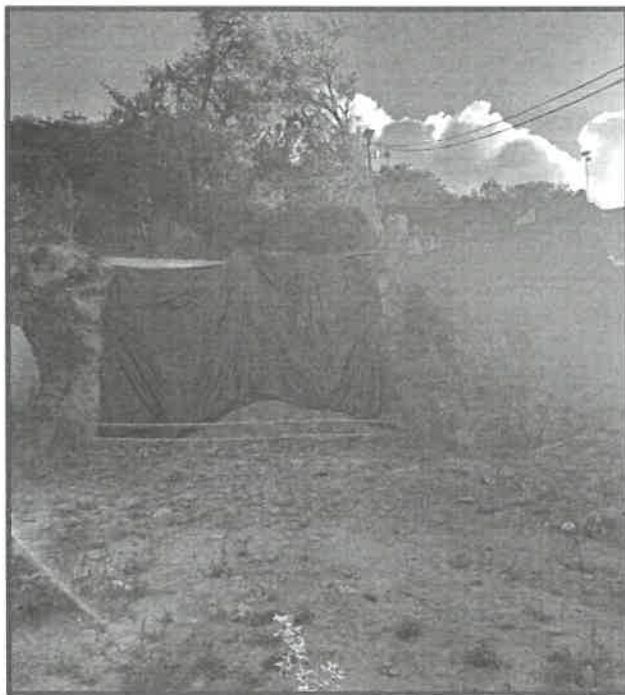


Figura 7.5.6. Punto Crítico PC-02. Vista del talud adyacente al canal de conducción, donde se observa un sector protegido temporalmente mediante cobertura plástica, evidenciando la ocurrencia de un deslizamiento superficial y la exposición del terreno. Esta condición refleja la inestabilidad del talud y la necesidad de implementar obras permanentes de estabilización, drenaje y protección para evitar la progresión del proceso erosivo y la afectación de la infraestructura hidráulica.



Figuras 7.5.7 y 7.5.8 Punto Crítico PC-02. Vistas del sector correspondiente al Punto Crítico PC-02, donde se observa un deslizamiento superficial del talud adyacente al canal de conducción, el cual ha sido protegido provisionalmente mediante una cobertura impermeable para reducir la infiltración de aguas pluviales. Asimismo, se aprecia la presencia de viviendas próximas al área afectada y la alteración de la estabilidad del talud, condiciones que incrementan el riesgo de nuevos movimientos de masa y hacen necesaria la ejecución de obras permanentes de estabilización geotécnica y control del drenaje superficial.





PUNTO CRITICO N° 03 y 04:

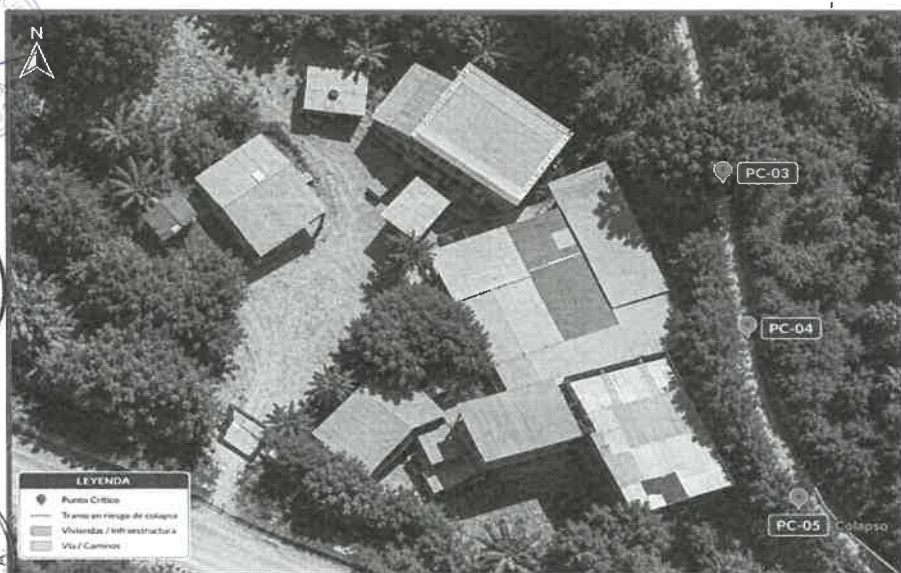


Figura 7.5.9. Vista aérea georreferenciada de los Puntos Críticos PC-03, PC-04 y PC-05, correspondientes al tramo del canal de conducción con mayor vulnerabilidad geotécnica. En este sector se localiza el PC-05, donde ocurrió el colapso del canal, mientras que los PC-03 y PC-04 presentan condiciones de inestabilidad del terreno que requieren monitoreo y medidas de estabilización para prevenir futuras afectaciones a la infraestructura hidráulica.



Figura 7.5.10. Puntos Críticos PC-03 y PC-04. Vista del talud ubicado aguas arriba del canal de conducción, donde se observa un deslizamiento superficial desarrollado detrás de las viviendas existentes. La pérdida de estabilidad del terreno evidencia procesos de erosión e infiltración que incrementan el riesgo de afectación al canal de conducción y a las edificaciones colindantes, requiriéndose medidas de estabilización geotécnica y control del drenaje superficial.



PUNTO CRITICO N° 05:

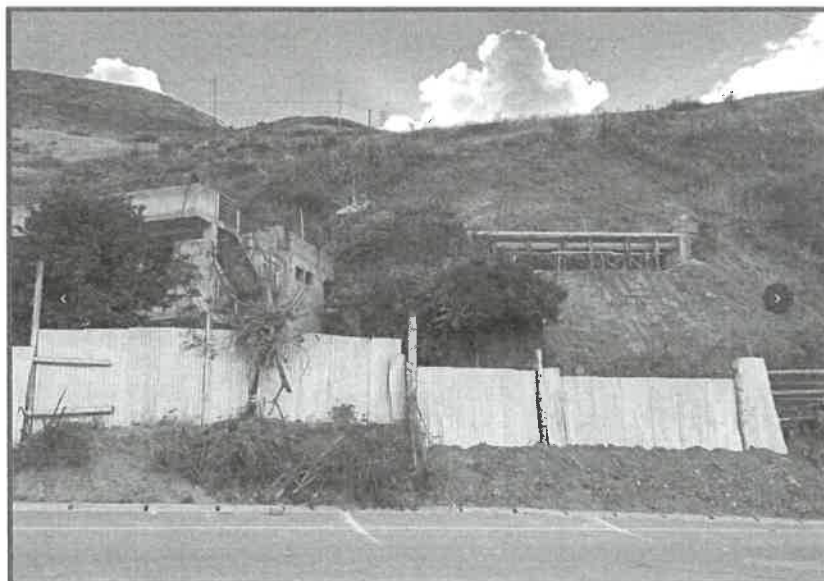


Figura 7.5.11. Punto Crítico PC-05. Vista del sector correspondiente al Punto Crítico PC-05, donde se ejecutaron trabajos de reparación tras el colapso del canal de conducción. Se observa la estabilización parcial del talud y las obras provisionales implementadas, identificándose este sector como el más adecuado para la instalación de la propuesta del sistema provisional





(eventual) de conducción, debido a las condiciones de accesibilidad, espacio disponible y proximidad al tramo afectado.

PUNTO CRITICO N° 06:



Figura 7.5.12. Punto Crítico PC-06. Vista aérea georreferenciada del Punto Crítico PC-06, ubicado en las inmediaciones del Centro Arqueológico de Kotosh. La inspección técnica identificó este tramo como un sector con vulnerabilidad geotécnica debido a las condiciones del terreno y la cobertura vegetal, recomendándose su monitoreo permanente y la implementación de medidas preventivas para preservar la estabilidad del canal de conducción.

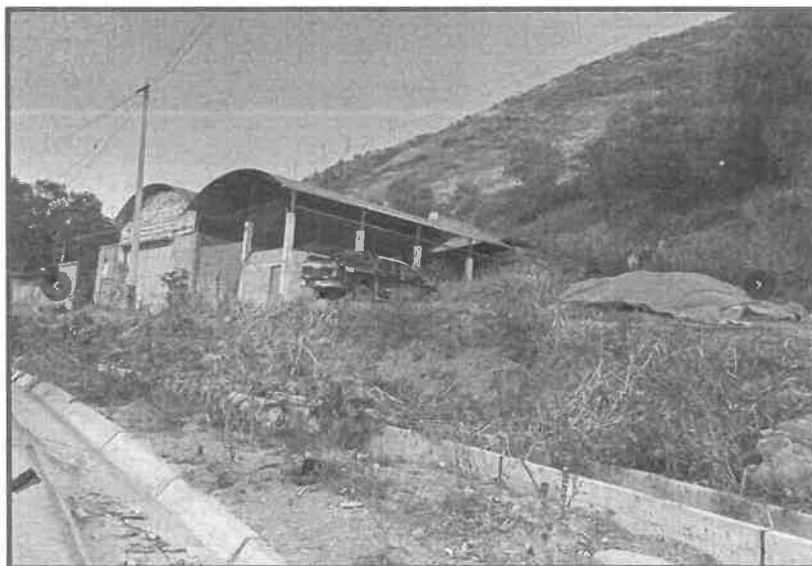


Figura 7.5.13. Punto Crítico PC-06. Vista del Punto Crítico PC-06, donde se observa el talud adyacente al canal de conducción con cobertura vegetal y evidencias de intervenciones antrópicas en su entorno inmediato. Estas condiciones pueden favorecer procesos de erosión e infiltración, por lo que se recomienda el monitoreo permanente y la implementación de medidas preventivas para preservar la estabilidad del canal.



Figura 7.5.14. Punto Crítico PC-06. Vista del Punto Crítico PC-06, donde se aprecia un talud con cobertura vegetal y evidencias de excavaciones e intervenciones antrópicas en su base. Estas condiciones podrían favorecer procesos de erosión e inestabilidad del terreno, por lo que se recomienda implementar medidas de estabilización y un monitoreo periódico para prevenir afectaciones al canal de conducción.



Figura 7.5.15. Punto Crítico PC-06. Vista del Punto Crítico PC-06, donde se observan excavaciones y edificaciones en ejecución sobre la ladera, así como zonas con suelo expuesto y evidencia de erosión superficial. Estas intervenciones modifican las condiciones naturales del talud y podrían comprometer su estabilidad, por lo que se recomienda implementar medidas de estabilización geotécnica, control del drenaje y monitoreo permanente para prevenir afectaciones al canal de conducción





PUNTO CRITICO N° 07:

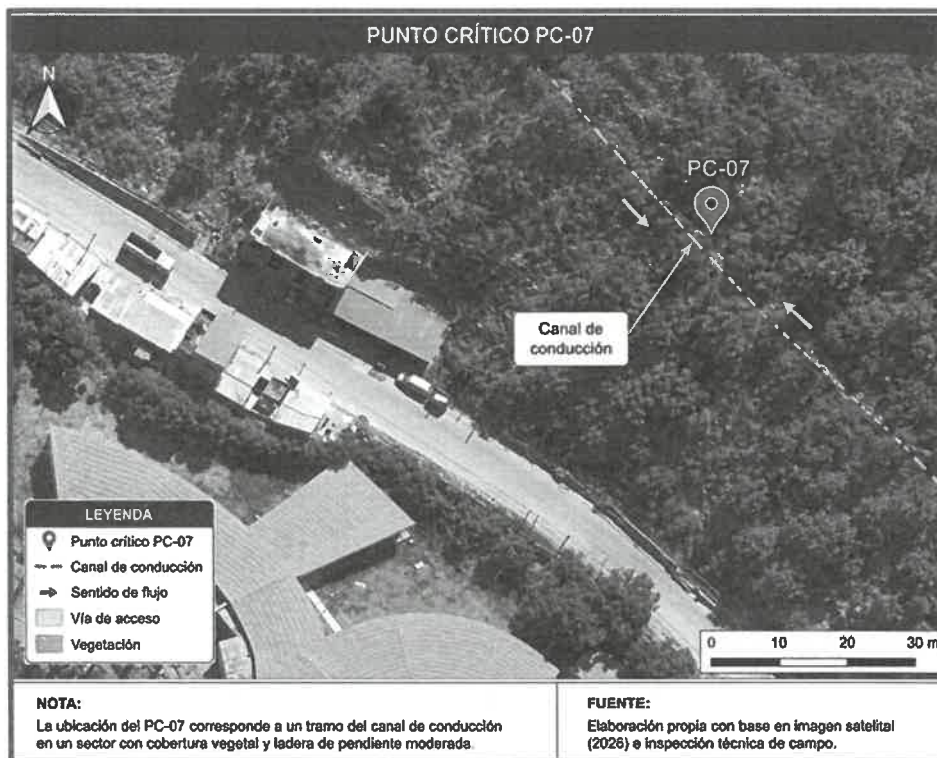


Figura 7.5.16. Punto Crítico PC-07. Vista aérea georreferenciada del Punto Crítico PC-07, correspondiente a un tramo del canal de conducción ubicado en una ladera con cobertura vegetal. La inspección técnica identificó este sector como una zona con vulnerabilidad geotécnica, recomendándose el monitoreo permanente y el mantenimiento preventivo para preservar la estabilidad del canal y reducir el riesgo de futuras afectaciones.



Figura 7.5.17. Punto Crítico PC-07. Vista del Punto Crítico PC-07, donde se observa un talud de fuerte pendiente con evidencias de erosión superficial y formación de una cárcava, producto de la escorrentía de aguas pluviales. Estas condiciones favorecen la pérdida progresiva de material y podrían comprometer la estabilidad del terreno y del canal de conducción, por lo que se recomienda la ejecución de obras de estabilización y control del drenaje superficial.





Figura 7.5.18. Punto Crítico PC-07. Vista del Punto Crítico PC-07, donde se observa un talud de fuerte pendiente con procesos activos de erosión superficial, desprendimiento de material y formación de cárcavas ocasionadas por la escorrentía de aguas pluviales. Estas condiciones evidencian la inestabilidad del terreno y representan un riesgo potencial para la estabilidad del canal de conducción, por lo que se recomienda la ejecución de obras de estabilización geotécnica, protección contra la erosión y control del drenaje superficial.

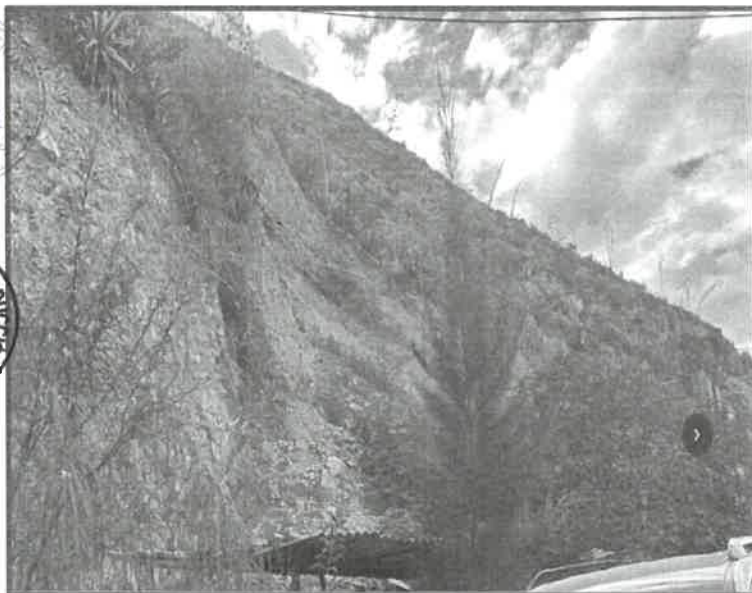


Figura 7.5.19. Punto Crítico PC-07. Vista detallada del Punto Crítico PC-07, donde se observa un proceso activo de erosión en el talud, evidenciado por la formación de cárcavas, desprendimiento de material y acumulación de sedimentos en la parte inferior de la ladera. Estas condiciones reflejan la pérdida progresiva de estabilidad del terreno y representan un riesgo potencial para el canal de conducción y las edificaciones ubicadas en su entorno, por lo que se recomienda implementar obras de estabilización geotécnica y control del drenaje superficial.

8.6. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN

La evaluación del estado de conservación de la infraestructura del sistema de conducción de agua cruda tuvo como finalidad determinar el nivel de integridad física, funcional y estructural de cada uno de los componentes que conforman el corredor hidráulico objeto de la presente consultoría, estableciendo las condiciones actuales de servicio, los mecanismos de deterioro existentes y el grado de vulnerabilidad frente a futuras solicitaciones naturales y antrópicas.





La evaluación se desarrolló considerando de manera integrada los resultados obtenidos durante el reconocimiento de campo, el levantamiento topográfico, el estudio fotogramétrico mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV), la inspección estructural de los elementos de concreto, los ensayos esclerométricos, el análisis hidrológico e hidráulico y la información histórica proporcionada por la EPS SEDA HUÁNUCO S.A. Este procedimiento permitió valorar no solamente el estado físico del canal de conducción, sino también las condiciones geotécnicas del terreno de fundación y la interacción existente entre la infraestructura y su entorno inmediato.

Desde el punto de vista estructural, se verificó que la infraestructura conserva su configuración hidráulica original en la mayor parte del corredor de conducción, manteniendo la continuidad del servicio gracias a las labores de operación y mantenimiento ejecutadas periódicamente por la EPS. Sin embargo, la antigüedad de la infraestructura, superior a setenta años, ha favorecido la aparición de procesos naturales de degradación asociados al envejecimiento de los materiales, ciclos sucesivos de humedad y secado, acciones mecánicas derivadas de la operación continua y efectos producidos por la exposición permanente a condiciones ambientales propias de la zona de emplazamiento.

Durante la inspección se constató que el grado de conservación no es uniforme a lo largo del sistema, identificándose sectores que presentan un adecuado comportamiento estructural y otros donde las condiciones de estabilidad se encuentran comprometidas por la acción combinada de factores geológicos, hidrológicos, geotécnicos y antrópicos. Estas diferencias responden principalmente a la variabilidad geomorfológica del terreno, a las características del material de fundación, al comportamiento del drenaje superficial y a las intervenciones realizadas por terceros dentro de la franja de influencia del canal.

Respecto al terreno de fundación, la evaluación evidenció que la infraestructura se desarrolla sobre laderas con pendientes variables, conformadas por depósitos coluviales, materiales residuales y afloramientos rocosos, donde la acción permanente de las precipitaciones favorece procesos de infiltración, incremento del contenido de humedad y reducción de la resistencia al corte del suelo. Estas condiciones incrementan la susceptibilidad a movimientos de masa, erosión superficial, socavación y asentamientos diferenciales, comprometiendo progresivamente la estabilidad de la plataforma de apoyo del canal.

Desde el punto de vista hidráulico, se verificó que la capacidad de conducción del sistema continúa siendo funcional; sin embargo, en determinados sectores se observaron condiciones que podrían afectar su desempeño operativo, tales como drenajes superficiales insuficientes, escorrentías no controladas, obstrucciones parciales, procesos de erosión localizados y modificaciones del relieve natural que alteran el comportamiento hidráulico del entorno inmediato.

La evaluación estructural permitió identificar intervenciones de mantenimiento ejecutadas en diferentes periodos, consistentes en reposición de elementos de concreto, reconstrucción parcial de estructuras, estabilización localizada de taludes y soluciones temporales implementadas como respuesta a eventos de emergencia. Si bien estas intervenciones han permitido mantener la operatividad del sistema, en algunos casos corresponden a soluciones puntuales que requieren complementarse mediante obras permanentes orientadas a garantizar la estabilidad integral del corredor hidráulico.

Un aspecto de especial importancia corresponde al sector Pucuchinche, donde ocurrió el colapso parcial del canal de conducción. La evaluación técnica permitió establecer que dicho evento no constituye un fenómeno aislado, sino la consecuencia de un proceso progresivo de





degradación asociado a la pérdida de estabilidad del terreno de fundación, favorecido por precipitaciones extraordinarias, saturación del suelo, incremento de las presiones de poros y disminución de la capacidad resistente del material de apoyo. Este comportamiento evidencia la necesidad de abordar la problemática desde una perspectiva integral, considerando simultáneamente la infraestructura hidráulica y las condiciones geotécnicas del entorno.

Asimismo, durante el reconocimiento del corredor hidráulico se identificaron otros sectores que presentan condiciones similares de vulnerabilidad, caracterizadas por alteraciones del terreno natural, cortes de taludes, presencia de viviendas próximas a la infraestructura, drenajes superficiales deficientes y actividades antrópicas que modifican las condiciones originales de estabilidad. Estas condiciones no representan necesariamente una falla estructural inmediata; sin embargo, constituyen factores que incrementan significativamente la probabilidad de ocurrencia de eventos similares al registrado en el sector Pucuchinche si no se implementan medidas correctivas oportunas.

De manera complementaria, los ensayos esclerométricos y la inspección visual permitieron evaluar el comportamiento superficial de los elementos de concreto existentes, verificándose que, en términos generales, la infraestructura conserva condiciones compatibles con su funcionamiento hidráulico; no obstante, se identificaron sectores con deterioro superficial, desgaste localizado y manifestaciones propias del envejecimiento de los materiales, cuyos resultados específicos se desarrollan en el capítulo correspondiente a la evaluación estructural.

Como resultado del análisis integral efectuado durante la presente consultoría, el estado de conservación del sistema de conducción puede calificarse como regular con sectores localizados en condición deficiente, debido a que, si bien la infraestructura mantiene actualmente su funcionalidad hidráulica, existen tramos donde las condiciones estructurales y geotécnicas requieren intervenciones de rehabilitación, estabilización y protección para garantizar la continuidad y seguridad del servicio. En consecuencia, la conservación futura del sistema dependerá de la implementación de medidas orientadas al control del drenaje superficial, estabilización de taludes, protección de la plataforma de apoyo, mantenimiento preventivo de la infraestructura y recuperación de la franja de influencia del canal, aspectos que son desarrollados en los capítulos posteriores del presente Informe Técnico Final.

Al finalizar este numeral sugiero incorporar una tabla resumen, por ejemplo:

TABLA 7.2. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN

COMPONENTE	ESTADO	OBSERVACIÓN
Canal de concreto	Regular	Operativo con deterioro localizado
Taludes	Deficiente	Sectores con inestabilidad
Plataforma de apoyo	Regular	Vulnerable en zonas críticas
Drenaje superficial	Deficiente	Escorrentías sin control
Obras de protección	Regular	Requieren rehabilitación
Intervenciones de emergencia	Regular	Soluciones temporales
Funcionamiento hidráulico	Bueno	Mantiene continuidad del servicio

8.7. IDENTIFICACIÓN DE PATOLOGÍAS

La inspección técnica realizada sobre el sistema de conducción de agua cruda permitió identificar un conjunto de patologías que afectan tanto a la infraestructura hidráulica como al





medio físico sobre el cual se encuentra emplazada. Estas patologías corresponden a procesos de deterioro de origen geotécnico, hidráulico, estructural y antrópico, cuya interacción ha condicionado la pérdida progresiva de estabilidad del corredor hidráulico y ha incrementado el nivel de vulnerabilidad del sistema.

Debe señalarse que las patologías identificadas no actúan de manera independiente. Por el contrario, responden a un comportamiento sistémico en el que la alteración de uno de los componentes del medio físico genera efectos sobre los demás, produciendo mecanismos de deterioro progresivo que, de no ser intervenidos oportunamente, pueden evolucionar hasta ocasionar fallas parciales o colapsos localizados, como el ocurrido en el sector Pucuchinche.

El reconocimiento de campo permitió clasificar las patologías observadas en función de su naturaleza y del componente afectado, diferenciándose aquellas asociadas al terreno de fundación, a la infraestructura hidráulica y a las condiciones del entorno.

8.7.1. *Patologías geotécnicas*

Las patologías geotécnicas constituyen el principal factor de riesgo para la estabilidad del sistema de conducción, debido a que la mayor parte del canal se desarrolla sobre laderas naturales con pendientes variables, materiales coluviales y depósitos residuales susceptibles a procesos de saturación y pérdida de resistencia.

Durante la inspección se identificaron procesos de inestabilidad caracterizados por deslizamientos superficiales, pérdida de confinamiento lateral, erosión del terreno de apoyo y deformaciones localizadas del terreno natural. En diversos sectores se observaron grietas de tracción en coronación de taludes, desprendimiento de material suelto, evidencia de reptación del terreno y acumulación de material coluvial al pie de las pendientes, manifestaciones típicas de movimientos de masa de evolución lenta.

Asimismo, se verificó que la infiltración de agua proveniente de las precipitaciones y de escorrentías superficiales incrementa el contenido de humedad del terreno, reduciendo la resistencia al corte del suelo e incrementando las presiones intersticiales, condiciones que favorecen la ocurrencia de deslizamientos y asentamientos diferenciales.

Estas patologías afectan directamente la estabilidad de la plataforma sobre la cual se apoya el canal de conducción, constituyendo el mecanismo predominante de deterioro identificado durante la presente consultoría.

8.7.2. *Patologías hidráulicas*

La evaluación permitió identificar diversas alteraciones relacionadas con el comportamiento hidráulico del sistema y con el manejo inadecuado de las aguas superficiales.

Se observaron sectores donde el drenaje natural ha sido modificado por intervenciones antrópicas, provocando la concentración de escorrentías sobre los taludes y favoreciendo procesos de erosión localizada. Del mismo modo, se identificaron cunetas y estructuras de drenaje parcialmente obstruidas o con capacidad insuficiente para evacuar los caudales generados durante eventos de lluvia intensa.

Estas condiciones producen infiltraciones continuas hacia el terreno de fundación, acelerando los procesos de degradación geotécnica y disminuyendo progresivamente la





estabilidad de la infraestructura.

En algunos sectores también se verificó la presencia de erosión hidráulica en las proximidades del canal, asociada al flujo concentrado de aguas superficiales, situación que favorece la socavación de la plataforma de apoyo y compromete la estabilidad del revestimiento de concreto.

8.7.3. *Patologías estructurales*

La inspección visual y la evaluación estructural permitieron identificar manifestaciones propias del envejecimiento de la infraestructura y de las solicitaciones acumuladas durante su vida útil.

Entre las principales patologías observadas destacan:

- Fisuración superficial del concreto;
- Desgaste por abrasión;
- Pérdida localizada de recubrimiento;
- Desprendimiento parcial de mortero;
- Deterioro superficial por exposición ambiental;
- Deformaciones localizadas originadas por movimientos diferenciales del terreno.

Si bien estas manifestaciones no evidencian un deterioro estructural generalizado del canal, sí constituyen indicadores de envejecimiento que requieren mantenimiento preventivo y seguimiento periódico para evitar su evolución hacia estados más severos.

Los resultados obtenidos mediante los ensayos esclerométricos complementan esta evaluación y permiten estimar el comportamiento mecánico superficial del concreto existente.

8.7.4. *Patologías por erosión y socavación*

Uno de los procesos más recurrentes identificados durante la inspección corresponde a la erosión del terreno natural.

Se verificó la presencia de erosión laminar, erosión en surcos y procesos de socavación localizados que afectan principalmente los pies de talud y las plataformas de apoyo del canal. Estas patologías se encuentran directamente relacionadas con la ausencia o deficiencia de sistemas adecuados de drenaje superficial, la concentración de escorrentías y la elevada pendiente natural del terreno.

La pérdida progresiva del material de fundación disminuye la capacidad portante del terreno y genera vacíos bajo la infraestructura, incrementando significativamente el riesgo de deformaciones y fallas estructurales.

8.7.5. *Patologías derivadas de intervenciones antrópicas*

Durante el reconocimiento del corredor hidráulico también se identificaron diversas afectaciones originadas por actividades humanas desarrolladas dentro de la franja de influencia del sistema.





Entre ellas destacan:

- Cortes de taludes para habilitación de terrenos;
- Construcción de viviendas próximas al canal;
- Modificación del drenaje natural;
- Apertura de accesos;
- Disposición inadecuada de materiales de excavación;
- Actividades agrícolas desarrolladas sobre áreas sensibles.

Estas intervenciones alteran el equilibrio natural del terreno, modifican el régimen hidráulico superficial e incrementan las cargas sobre los taludes, favoreciendo la aparición de procesos de inestabilidad.

8.7.6. Interacción entre patologías

El análisis efectuado evidencia que las patologías identificadas no corresponden a eventos aislados, sino a un proceso de deterioro progresivo donde los factores geotécnicos, hidráulicos, estructurales y antrópicos actúan de manera simultánea.

Las precipitaciones generan infiltración y saturación del terreno; la saturación reduce la resistencia del suelo; la pérdida de resistencia favorece la aparición de movimientos de masa; estos movimientos producen deformaciones y asentamientos del canal; finalmente, dichas deformaciones originan daños estructurales y pérdida de estabilidad de la infraestructura.

Esta secuencia de deterioro explica técnicamente la ocurrencia del colapso registrado en el sector Pucuchinche y permite comprender que otros sectores del corredor hidráulico presentan condiciones similares de vulnerabilidad.

En consecuencia, las patologías identificadas deben abordarse mediante una estrategia integral que combine la estabilización geotécnica de taludes, el mejoramiento del drenaje superficial, la rehabilitación de las estructuras hidráulicas, la recuperación de la franja de protección del canal y la implementación de un programa permanente de monitoreo y mantenimiento preventivo. Este enfoque permitirá reducir el riesgo de nuevas fallas y garantizar la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.

TABLA 7.3. CLASIFICACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS IDENTIFICADAS

PATOLOGÍA	CAUSA PRINCIPAL	CONSECUENCIA	NIVEL DE INCIDENCIA
Inestabilidad de taludes	Saturación del terreno y pendientes pronunciadas	Pérdida de soporte del canal	Alto
Erosión superficial	Escorrentía no controlada	Pérdida de suelo	Alto
Socavación	Concentración de flujos	Descalce de la plataforma	Alto
Filtraciones	Drenaje deficiente e infiltración	Reducción de la resistencia del suelo	Alto
Fisuración del concreto	Envejecimiento y movimientos diferenciales	Deterioro estructural localizado	Medio
Desgaste	Acción hidráulica y	Pérdida de	Medio





superficial	exposición ambiental	recubrimiento	
Intervenciones antrópicas	Cortes de talud y ocupación de la franja	Incremento de la vulnerabilidad	Alto

8.8. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS

Como resultado del reconocimiento integral del corredor hidráulico, la evaluación del estado de conservación, el análisis de las patologías identificadas y la integración de la información topográfica, fotogramétrica, estructural, geotécnica e hidráulica, se determinaron los sectores que presentan las mayores condiciones de vulnerabilidad dentro del sistema de conducción de agua cruda de la EPS SEDA HUÁNUCO S.A.

La identificación de puntos críticos constituye un proceso de priorización técnica mediante el cual se localizan aquellos sectores donde convergen uno o más factores de riesgo capaces de comprometer la estabilidad de la infraestructura, afectar la continuidad del servicio o incrementar la probabilidad de ocurrencia de fallas durante eventos extraordinarios.

Para la presente consultoría, la identificación de los puntos críticos se efectuó considerando los siguientes criterios técnicos:

- Estado de conservación de la infraestructura hidráulica.
- Magnitud y severidad de las patologías observadas.
- Condiciones geológicas y geotécnicas del terreno.
- Estabilidad de taludes naturales y artificiales.
- Evidencia de procesos de erosión, socavación e infiltración.
- Comportamiento del drenaje superficial.
- Existencia de antecedentes de fallas o intervenciones de emergencia.
- Influencia de actividades antrópicas dentro de la franja de protección del canal.
- Nivel de afectación sobre la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.



Como resultado del análisis se identificaron siete (07) puntos críticos, distribuidos a lo largo del corredor hidráulico comprendido entre la captación Canchán y las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II. Estos sectores fueron georreferenciados durante el trabajo de campo y constituyen la base para la formulación de las medidas de intervención desarrolladas en los capítulos posteriores.



8.8.1. Localización de los puntos críticos

La ubicación de los puntos críticos fue determinada mediante levantamiento topográfico y georreferenciación en coordenadas UTM (WGS 84 – Zona 18 Sur), permitiendo su representación cartográfica y su incorporación en el Sistema de Información Geográfica (SIG) del proyecto.



TABLA 2.4. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS IDENTIFICADOS

PUNTO CRÍTICO	COORDENADA ESTE (M)	COORDENADA NORTE (M)	CARACTERÍSTICA PREDOMINANTE
PC-01	357449	8902994	Erosión superficial y deterioro del talud
PC-02	358418	8902839	Alteración del drenaje e intervención antrópica
PC-03	358873	8902839	Inestabilidad de talud
PC-04	358873	8902839	Sector contiguo con procesos de





			deformación del terreno
PC-05	358880	8902597	Colapso del canal de conducción
PC-06	359663	8902233	Erosión activa y pérdida de estabilidad
PC-07	359942	8902075	Alteración geomorfológica y drenaje superficial

Fuente: Elaboración propia con base en el levantamiento topográfico y georreferenciación de campo.

8.8.2. Descripción técnica de los puntos críticos

PUNTO CRÍTICO N° 01 (PC-01)

Corresponde a un sector donde se identificó erosión superficial del terreno y deterioro progresivo del talud que soporta la plataforma del canal. La presencia de escorrentías superficiales y la pérdida de cobertura vegetal favorecen la remoción de material fino, reduciendo progresivamente la estabilidad del terreno.

Aunque la infraestructura mantiene actualmente condiciones operativas, el avance continuo de los procesos erosivos podría comprometer la estabilidad de la plataforma si no se implementan medidas de protección y control del drenaje.

PUNTO CRÍTICO N° 02 (PC-02)

En este sector se identificó la alteración del drenaje natural ocasionada por intervenciones antrópicas y modificaciones de la superficie del terreno. Estas condiciones generan concentraciones de escorrentía que incrementan los procesos de infiltración y erosión en la zona de influencia del canal.

La proximidad de actividades humanas hace recomendable implementar medidas de control y recuperación de la franja de protección de la infraestructura.

PUNTOS CRÍTICOS N.ºS 03 Y 04 (PC-03 Y PC-04)

Estos dos puntos corresponden a un mismo sector geotécnico, donde se evidencian procesos de inestabilidad del talud, deformaciones del terreno y alteraciones del drenaje superficial.

Durante la inspección se observaron indicios de movimientos lentos de masa, pérdida localizada de material y condiciones que podrían evolucionar hacia procesos de mayor magnitud durante periodos de lluvias intensas. Debido a su proximidad y al comportamiento homogéneo del terreno, ambos puntos deben analizarse de manera conjunta para el diseño de las medidas de estabilización.

PUNTO CRÍTICO N° 05 (PC-05)

Este sector corresponde al tramo donde ocurrió el colapso parcial del canal de conducción, constituyendo el punto de mayor criticidad identificado durante la presente consultoría.

La evaluación técnica determinó que la falla fue consecuencia de un proceso progresivo de pérdida de estabilidad del terreno de fundación, asociado a la saturación del suelo, procesos erosivos, alteración del drenaje superficial y reducción de la resistencia geotécnica del material de apoyo. Debido a su importancia para la continuidad del





abastecimiento de agua potable, este sector requiere una intervención integral que considere tanto la reconstrucción de la infraestructura hidráulica como la estabilización definitiva del talud.

PUNTO CRÍTICO N° 06 (PC-06)

En este tramo se identificaron procesos erosivos activos que afectan la estabilidad del terreno y generan pérdida progresiva de material en la plataforma de apoyo del canal. La ausencia de medidas de control hidráulico favorece el avance de la erosión, incrementando el riesgo de afectación futura sobre la infraestructura.

PUNTO CRÍTICO N° 07 (PC-07)

Corresponde al sector final del corredor evaluado, donde se verificó la presencia de alteraciones geomorfológicas y deficiencias en el manejo del drenaje superficial.

Aunque las afectaciones observadas presentan menor magnitud respecto a otros sectores, las condiciones existentes justifican la implementación de medidas preventivas para evitar la evolución de los procesos de deterioro.

8.8.3. Priorización de intervención

Con base en el análisis de la información obtenida durante la inspección, los puntos críticos fueron jerarquizados según el nivel de riesgo asociado a la estabilidad de la infraestructura y a la continuidad del servicio.

TABLA 2.5. PRIORIZACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS

Punto crítico	Nivel de riesgo	Prioridad de intervención
PC-05	Muy Alto	Inmediata
PC-03 – PC-04	Alto	Muy Alta
PC-06	Alto	Alta
PC-02	Medio	Programada
PC-01	Medio	Programada
PC-07	Medio	Preventiva

La priorización establecida en la presente sección se vincula directamente con la Matriz de Articulación entre Puntos Críticos y Respuesta Operativa desarrollada en el numeral 7.8.1 del Plan de Gestión Reactiva, en la cual se determinan los niveles iniciales de alerta, acciones inmediatas, responsables y procedimientos aplicables para cada sector identificado.

La priorización precedente permitirá orientar la programación de las intervenciones propuestas, optimizando la asignación de recursos hacia los sectores que presentan mayor probabilidad de falla y mayor impacto sobre la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.

Finalmente, la identificación y caracterización de estos siete puntos críticos demuestra que la problemática del sistema de conducción no se limita al tramo colapsado en el sector Pucuchinche. Por el contrario, responde a un proceso de deterioro distribuido a lo largo del corredor hidráulico, en el que convergen factores geotécnicos, hidráulicos, estructurales y antrópicos. Esta condición sustenta la necesidad de implementar una





estrategia integral de gestión del riesgo, basada en la estabilización de taludes, el control del drenaje superficial, la rehabilitación de la infraestructura existente y el establecimiento de un programa permanente de monitoreo y mantenimiento preventivo. Este diagnóstico constituye el fundamento técnico para el desarrollo del siguiente numeral, referido a la identificación de amenazas naturales.

8.9. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS NATURALES

La estabilidad y funcionalidad del sistema de conducción de agua cruda de la EPS SEDA HUÁNUCO S.A. se encuentran condicionadas por diversos factores naturales propios del entorno geográfico donde se desarrolla la infraestructura. La combinación de condiciones topográficas, geológicas, geotécnicas, hidrológicas y climáticas determina un escenario de amenaza permanente que incrementa la probabilidad de ocurrencia de procesos de inestabilidad y afecta directamente la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.

La identificación de amenazas naturales desarrollada durante la presente consultoría tuvo como finalidad reconocer los fenómenos físicos capaces de generar daños sobre la infraestructura hidráulica, establecer su influencia sobre los sectores críticos identificados y proporcionar criterios técnicos para la formulación de medidas de prevención, reducción del riesgo y respuesta ante emergencias.

El análisis fue realizado integrando la información obtenida durante las inspecciones de campo, el levantamiento topográfico, la fotogrametría mediante UAV, la evaluación geológica y geotécnica, la revisión de antecedentes técnicos y la interpretación de las condiciones geomorfológicas presentes a lo largo del corredor hidráulico.

Del análisis efectuado se determinó que las amenazas predominantes corresponden a procesos de origen hidrometeorológico y geodinámico, cuya interacción constituye el principal factor de riesgo para la infraestructura.

8.9.1. Precipitaciones intensas

El área de estudio se encuentra expuesta a precipitaciones de intensidad variable, particularmente durante la temporada de lluvias, generando incrementos importantes en la infiltración del agua hacia los taludes y el terreno de fundación del canal.

La infiltración progresiva produce el aumento del contenido de humedad del suelo, disminuye la resistencia al corte de los materiales y favorece el desarrollo de procesos de deformación e inestabilidad. Asimismo, el incremento de la escorrentía superficial acelera los procesos erosivos y afecta las obras de drenaje existentes.

Las lluvias intensas constituyen el principal agente desencadenante de las fallas identificadas durante la presente evaluación.

8.9.2. Movimientos en masa

Las condiciones geomorfológicas del corredor hidráulico evidencian la existencia de laderas con pendientes pronunciadas y materiales geológicamente susceptibles a procesos de inestabilidad.

Durante la inspección se identificaron evidencias de deslizamientos superficiales, reptación del terreno, desprendimiento de material y deformaciones localizadas, lo que





confirma la presencia de procesos de movimientos en masa activos o potencialmente activos.

Estos fenómenos representan la amenaza natural de mayor incidencia sobre la infraestructura debido a que pueden provocar pérdida de soporte del canal, deformaciones estructurales e incluso colapsos parciales del sistema de conducción.

8.9.3. Erosión hídrica

La erosión ocasionada por la acción del agua constituye otra amenaza permanente para la estabilidad del corredor hidráulico.

La concentración de escorrentías sobre taludes naturales, la ausencia de protección superficial y las deficiencias del drenaje favorecen la remoción progresiva del material de fundación, generando cárcavas, erosión laminar y procesos de socavación que afectan directamente la plataforma donde se apoya el canal.

Aunque este fenómeno presenta un desarrollo gradual, su efecto acumulativo reduce significativamente la estabilidad del sistema.

8.9.4. Saturación del terreno

La infiltración continua de agua proveniente de las precipitaciones, de escorrentías superficiales y, en algunos sectores, de actividades agrícolas, incrementa el grado de saturación del terreno.

La saturación provoca el aumento de las presiones de poros y la disminución de la resistencia efectiva del suelo, reduciendo su capacidad portante y favoreciendo la aparición de asentamientos diferenciales y procesos de falla del terreno.

Esta amenaza actúa como un factor condicionante que incrementa la susceptibilidad frente a otras amenazas naturales.

8.9.5. Sismos

El área donde se emplaza el sistema de conducción se localiza dentro de una región de elevada actividad sísmica, propia del territorio peruano, debido a la interacción entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana.

La ocurrencia de movimientos sísmicos puede generar deformaciones del terreno, reactivación de deslizamientos existentes, agrietamientos del revestimiento del canal y pérdida de estabilidad en sectores con condiciones geotécnicas desfavorables.

Si bien durante la presente evaluación no se identificaron daños atribuibles a eventos sísmicos recientes, esta amenaza debe ser considerada en el diseño de las obras permanentes y en las medidas de estabilización propuestas.

8.9.6. Caída de rocas

En algunos sectores del corredor hidráulico se identificaron afloramientos rocosos y taludes con bloques parcialmente fracturados, los cuales presentan potencial de desprendimiento como consecuencia de la meteorización, las precipitaciones intensas y la





acción sísmica.

La caída de rocas representa una amenaza localizada que puede afectar directamente el canal de conducción, las estructuras complementarias y las actividades de operación y mantenimiento.

8.9.7. Interacción de amenazas naturales

El análisis efectuado demuestra que las amenazas naturales presentes en el área de estudio no actúan de forma independiente. La ocurrencia de precipitaciones intensas incrementa la infiltración y la saturación del terreno; la saturación disminuye la resistencia del suelo; la pérdida de resistencia favorece los movimientos en masa; estos generan deformaciones del terreno, erosión y pérdida de soporte de la infraestructura hidráulica.

Este comportamiento explica la evolución de los procesos observados durante la inspección y evidencia que la ocurrencia del colapso registrado en el sector Pucuchinche fue consecuencia de la interacción de diversos factores naturales actuando sobre una infraestructura desarrollada en un entorno de alta susceptibilidad geotécnica.

Por ello, las medidas de mitigación no deben orientarse únicamente a la reconstrucción del canal, sino también al control integral de las amenazas naturales mediante la estabilización de taludes, el manejo adecuado del drenaje superficial, la protección contra la erosión, la recuperación de la cobertura vegetal, la implementación de sistemas de monitoreo geotécnico y el mantenimiento preventivo de la infraestructura.

8.9.8. Matriz de amenazas naturales

Como resultado del análisis realizado, se elaboró la siguiente matriz de amenazas, donde se resume la incidencia de los principales fenómenos identificados sobre el sistema de conducción.

TABLA 7.6. EVALUACIÓN DE AMENAZAS NATURALES

AMENAZA NATURAL	PROBABILIDAD	IMPACTO SOBRE EL SISTEMA	NIVEL DE RIESGO
Precipitaciones intensas	Alta	Muy Alto	Muy Alto
Movimientos en masa	Alta	Muy Alto	Muy Alto
Saturación del terreno	Alta	Alto	Alto
Erosión hídrica	Alta	Alto	Alto
Socavación	Media	Alto	Alto
Caída de rocas	Media	Medio	Medio
Sismos	Media	Muy Alto	Alto

Fuente: Elaboración propia con base en la inspección técnica, el levantamiento de campo y el análisis geotécnico desarrollado durante la presente consultoría.

8.10. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

La evaluación integral desarrollada durante la presente consultoría permitió establecer un diagnóstico preliminar del estado actual del sistema de conducción de agua cruda de la EPS SEDA HUÁNUCO S.A., considerando de manera conjunta la información recopilada durante el levantamiento de campo, la inspección técnica de la infraestructura, los estudios topográficos, fotogramétricos, estructurales, geotécnicos e hidráulicos, así como el análisis de las condiciones





ambientales y geomorfológicas del corredor hidráulico.

El análisis efectuado evidencia que la infraestructura mantiene actualmente su capacidad funcional para conducir el caudal requerido hacia las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y Cabritopampa II; sin embargo, dicha operatividad depende de intervenciones permanentes de mantenimiento y de acciones correctivas implementadas por la EPS para atender los efectos ocasionados por los procesos de deterioro que afectan distintos sectores del sistema.

Desde el punto de vista estructural, se verificó que el canal de conducción conserva, en términos generales, la configuración hidráulica para la cual fue concebido. No obstante, la antigüedad de la infraestructura, sumada a la acción continua de los agentes ambientales y a las condiciones propias del terreno, ha originado manifestaciones de deterioro superficial, desgaste localizado y afectaciones que requieren intervenciones de rehabilitación y conservación para asegurar su funcionamiento en el mediano y largo plazo.

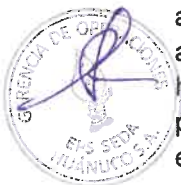
El componente de mayor incidencia sobre la estabilidad del sistema corresponde a las condiciones geológicas y geotécnicas del corredor hidráulico. La infraestructura se desarrolla sobre laderas naturales con pendientes variables, donde predominan depósitos coluviales, materiales residuales y sectores con afloramientos rocosos. Estas características, combinadas con la infiltración de agua, la acción de las precipitaciones y la deficiencia de algunos sistemas de drenaje superficial, favorecen la disminución de la resistencia del terreno y la ocurrencia de procesos de inestabilidad que comprometen la plataforma de apoyo del canal.

Durante la inspección se identificaron diversas patologías asociadas a erosión superficial, socavación, movimientos en masa, infiltraciones, asentamientos diferenciales y alteraciones del drenaje natural, las cuales evidencian que el deterioro observado no responde a un único mecanismo de falla, sino a la interacción permanente de factores geotécnicos, hidráulicos, estructurales y antrópicos. La presencia simultánea de estos procesos incrementa progresivamente la vulnerabilidad del sistema y reduce su capacidad de respuesta frente a eventos hidrometeorológicos extremos.

La evaluación permitió identificar siete (07) puntos críticos distribuidos a lo largo del corredor hidráulico, los cuales presentan diferentes niveles de vulnerabilidad y requieren intervenciones diferenciadas según el grado de riesgo asociado. Entre ellos destaca el Punto Crítico N° 05, correspondiente al sector Pucuchinche, donde ocurrió el colapso parcial del canal de conducción. El análisis técnico realizado permitió establecer que este evento constituye la manifestación más severa de un proceso progresivo de pérdida de estabilidad del terreno de fundación, influenciado por la acción conjunta de las precipitaciones, la saturación del suelo, la erosión y la alteración del drenaje superficial.

No obstante, la evaluación integral demuestra que las condiciones que originaron dicho evento no son exclusivas de este sector. Se identificaron otros tramos que presentan características geológicas, geomorfológicas e hidráulicas similares, por lo que existe la posibilidad de que, bajo condiciones ambientales desfavorables o ante eventos extraordinarios, se desarrollen procesos de inestabilidad de características semejantes si no se ejecutan oportunamente las medidas de mitigación correspondientes.

Desde la perspectiva de la gestión del riesgo, el sistema de conducción presenta una vulnerabilidad alta frente a amenazas hidrometeorológicas y geodinámicas, debido a la convergencia de precipitaciones intensas, infiltración, erosión, movimientos en masa y actividad





sísmica propia de la región. Estas amenazas actúan sobre una infraestructura estratégica para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Huánuco, por lo que cualquier interrupción en su funcionamiento tendría repercusiones directas en la continuidad del servicio y en la calidad de vida de la población usuaria.

En consecuencia, el diagnóstico preliminar permite concluir que la problemática identificada trasciende la reparación puntual del tramo colapsado y debe abordarse mediante una estrategia integral de intervención sobre el corredor hidráulico. Esta estrategia deberá considerar la estabilización geotécnica de taludes, el mejoramiento del sistema de drenaje superficial y subterráneo, la rehabilitación de los elementos estructurales deteriorados, la protección contra procesos erosivos, la recuperación de la franja de seguridad del canal y la implementación de un programa permanente de monitoreo y mantenimiento preventivo.

Finalmente, los resultados obtenidos durante esta etapa constituyen la base técnica para el desarrollo de los capítulos siguientes del presente Informe Técnico Final, en los cuales se presentan el análisis especializado de la infraestructura existente, la evaluación de alternativas de solución, el diseño del sistema provisional de conducción, el Plan de Gestión Reactiva ante Emergencias y las recomendaciones técnicas orientadas a garantizar la seguridad, funcionalidad y sostenibilidad del sistema de conducción de agua cruda de la EPS SEDA HUÁNUCO S.A.





CAPÍTULO IX

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL CANAL DE CONDUCCIÓN

9.1. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

La evaluación estructural del canal de conducción de agua cruda se desarrolló considerando que esta infraestructura constituye el elemento principal del sistema de transporte por gravedad que abastece de agua a las Plantas de Tratamiento Cabritopampa I y II. El análisis comprendió la identificación de sus características geométricas, configuración estructural, materiales constitutivos, sistema de apoyo y comportamiento mecánico, con la finalidad de establecer las condiciones actuales de resistencia y servicio de la estructura.

La información utilizada en el presente numeral proviene de la integración del levantamiento topográfico, estudio fotogramétrico, inspección estructural, evaluación esclerométrica y reconocimiento de campo realizados durante la consultoría. Estos estudios permitieron caracterizar la infraestructura existente desde el punto de vista estructural, identificando tanto sus condiciones originales como las modificaciones producidas por el envejecimiento, las acciones ambientales y los eventos geodinámicos ocurridos en el corredor hidráulico.

9.1.1. Configuración estructural

El sistema de conducción corresponde a un canal abierto revestido de concreto, diseñado para transportar agua cruda mediante flujo por gravedad desde la captación ubicada en el sector Canchán hasta las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II.

Desde el punto de vista estructural, el canal puede considerarse como una estructura lineal continua apoyada sobre un terreno natural de características variables. Su comportamiento resistente depende de la interacción entre los elementos de concreto y el suelo de fundación, por lo que cualquier alteración en las condiciones geotécnicas repercute directamente sobre la estabilidad del sistema.

A lo largo del corredor hidráulico se identifican diferentes configuraciones de emplazamiento, entre ellas:

- Tramos apoyados directamente sobre terreno natural.
- Tramos desarrollados sobre laderas de pendiente moderada a fuerte.
- Sectores con estructuras de protección y obras complementarias.
- Tramos intervenidos mediante reparaciones y reconstrucciones parciales.

Esta variabilidad condiciona el comportamiento estructural del canal, ya que los esfuerzos inducidos no dependen únicamente de las cargas hidráulicas, sino también de las deformaciones del terreno donde se encuentra cimentado.

9.1.2. Sistema resistente

El canal desarrolla su capacidad resistente mediante la acción conjunta de:

- La losa de fondo;
- Los muros laterales;
- El terreno de fundación;





- El confinamiento lateral proporcionado por el macizo de suelo.

En condiciones normales de operación, las cargas hidráulicas son transmitidas hacia el terreno a través de la losa de fondo, mientras que los empujes laterales son equilibrados por los muros del canal y por el material de relleno circundante.

Sin embargo, cuando el terreno pierde estabilidad debido a procesos de infiltración, erosión o movimientos de masa, el sistema resistente se modifica significativamente, apareciendo esfuerzos adicionales de flexión, corte y torsión que no fueron considerados en las condiciones originales de funcionamiento.

9.1.3. Geometría estructural

Las dimensiones del canal presentan variaciones menores a lo largo del recorrido, propias de las diferentes etapas constructivas y de las intervenciones ejecutadas durante su vida útil.

No obstante, desde el punto de vista funcional, la infraestructura mantiene una sección hidráulica uniforme que permite conducir el caudal de diseño hacia las plantas de tratamiento.

La geometría del canal fue verificada mediante el levantamiento topográfico de precisión y complementada con el modelo tridimensional obtenido a partir del levantamiento fotogramétrico, permitiendo establecer con exactitud la ubicación de las estructuras, los cambios de alineamiento y las zonas donde existen deformaciones o pérdidas de estabilidad del terreno.

9.1.4. Condiciones de cimentación

Uno de los aspectos más importantes de la evaluación estructural corresponde al sistema de apoyo del canal.

A diferencia de otras estructuras hidráulicas cimentadas sobre fundaciones rígidas, el canal desarrolla la mayor parte de su recorrido apoyado directamente sobre el terreno natural, por lo que su estabilidad depende de la capacidad portante y del comportamiento geotécnico del suelo.

La investigación geotécnica permitió identificar la presencia de materiales residuales, depósitos coluviales y sectores con afloramientos rocosos, evidenciando una marcada variabilidad de las condiciones del terreno a lo largo del corredor hidráulico. Estas diferencias generan respuestas estructurales distintas frente a las acciones hidráulicas y ambientales, incrementando la susceptibilidad a deformaciones diferenciales en determinados sectores.

9.1.5. Antigüedad y evolución de la infraestructura

La infraestructura presenta una antigüedad aproximada superior a siete décadas, periodo durante el cual ha permanecido en operación continua como componente principal del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Huánuco.

Durante su vida útil se han ejecutado labores periódicas de mantenimiento, reconstrucciones parciales y obras de emergencia destinadas a restituir la continuidad del servicio. Estas intervenciones han permitido mantener la funcionalidad hidráulica del canal; sin embargo, también evidencian que determinados sectores han experimentado procesos repetitivos de deterioro asociados principalmente a las condiciones del terreno y no exclusivamente al envejecimiento del concreto.





9.1.6. Elementos estructurales complementarios

Durante la inspección técnica se verificó la existencia de diversas estructuras asociadas al funcionamiento del sistema de conducción, entre ellas:

- Estructuras de captación;
- Pre-sedimentadores;
- Caseta de repartición;
- Obras de drenaje;
- Muros de protección;
- Estructuras de transición;
- Obras de mantenimiento ejecutadas en diferentes periodos.

Estos elementos forman parte del sistema estructural del canal y contribuyen a su funcionamiento hidráulico y a la estabilidad del corredor de conducción. Su estado de conservación fue considerado dentro de la evaluación integral desarrollada en la presente consultoría.

9.1.7. Comportamiento estructural observado

El reconocimiento de campo permitió establecer que el canal conserva, en términos generales, la continuidad estructural necesaria para mantener el transporte del agua cruda. Sin embargo, el comportamiento observado evidencia que las principales sollicitaciones que afectan la infraestructura no provienen de la capacidad resistente del concreto, sino de las deformaciones inducidas por el terreno de fundación.

En los sectores donde el suelo mantiene condiciones adecuadas de estabilidad, la estructura presenta un comportamiento satisfactorio y conserva su funcionalidad hidráulica. En contraste, en las zonas afectadas por movimientos de masa, erosión e infiltración se observaron deformaciones diferenciales, pérdida parcial de apoyo y alteraciones geométricas que modifican el estado de esfuerzos del canal y reducen su margen de seguridad.

Este comportamiento confirma que la evaluación estructural del sistema no puede realizarse de manera aislada, sino considerando la interacción permanente entre la estructura, el suelo de fundación y las acciones hidrológicas que actúan sobre el corredor hidráulico. Bajo esta premisa se desarrollan los numerales siguientes, en los cuales se analizan los materiales constitutivos, las cargas actuantes, las condiciones de servicio y los mecanismos de falla que condicionan la estabilidad del canal.

9.2. MATERIALES

La evaluación estructural del canal de conducción de agua cruda comprende el análisis de las propiedades mecánicas y del estado de conservación de los materiales que conforman la infraestructura, considerando que el comportamiento resistente del sistema depende tanto de las características del concreto como de las condiciones del terreno de fundación sobre el cual se encuentra apoyado. En consecuencia, la caracterización de los materiales constituye un componente esencial de la evaluación estructural, al permitir determinar la capacidad resistente de la infraestructura, identificar los mecanismos de deterioro existentes y establecer las causas que condicionan su comportamiento durante las condiciones normales de operación y frente a eventos extraordinarios.





Como parte de la presente consultoría se efectuó una evaluación integral del concreto estructural mediante inspección visual especializada y ensayos no destructivos con esclerómetro de rebote, complementándose esta información con los resultados del estudio geotécnico y del reconocimiento de campo. Esta metodología permitió valorar las condiciones mecánicas superficiales del concreto sin alterar la integridad de la infraestructura y establecer la interacción existente entre la estructura y el terreno de fundación.

9.2.1. Concreto estructural del canal

El canal de conducción está construido predominantemente en concreto simple, material que conforma la losa de fondo y los muros laterales responsables de resistir las acciones hidráulicas, gravitacionales y geotécnicas que actúan durante la operación del sistema.

Debido a su prolongado periodo de servicio, el concreto ha permanecido expuesto a condiciones ambientales propias de una infraestructura hidráulica a cielo abierto, caracterizadas por ciclos continuos de humedecimiento y secado, abrasión ocasionada por el flujo de agua, variaciones térmicas y procesos naturales de envejecimiento.

La inspección visual permitió verificar que el concreto presenta un comportamiento heterogéneo a lo largo del corredor hidráulico. Se identificaron sectores con adecuado estado superficial y otros donde existen manifestaciones localizadas de desgaste, pérdida parcial de mortero, fisuración superficial y reparaciones ejecutadas durante labores de mantenimiento. Sin embargo, estas evidencias corresponden principalmente a deterioros superficiales localizados y no representan, por sí mismas, una pérdida generalizada de la capacidad resistente del material.

Las condiciones observadas indican que el concreto conserva, en términos generales, un comportamiento compatible con las exigencias de servicio del sistema de conducción, siendo las alteraciones del terreno de fundación las que ejercen una mayor influencia sobre el desempeño estructural del canal.

9.2.2. Evaluación mediante ensayos esclerométricos

Con el propósito de determinar el comportamiento mecánico superficial del concreto existente, se desarrolló un programa de evaluación mediante ensayos esclerométricos utilizando un martillo de rebote conforme a la ASTM C805, la Norma Técnica Peruana NTP 339.181 y el Método MTC E-725, procedimientos que permiten estimar indirectamente la resistencia a compresión del concreto endurecido mediante métodos no destructivos.

El procedimiento comprendió la preparación de la superficie mediante piedra abrasiva, la ejecución de múltiples impactos en cada estación de ensayo, el procesamiento estadístico de los índices de rebote y la correlación de dichos valores con la resistencia estimada del concreto. Este procedimiento permitió obtener información representativa sobre la uniformidad y el estado superficial del material sin afectar la integridad de la estructura.

Como parte de la evaluación se ejecutaron dieciséis (16) estaciones de ensayo distribuidas estratégicamente a lo largo del corredor hidráulico, permitiendo caracterizar la variabilidad del concreto en diferentes sectores de la infraestructura.



**TABLA 3.2. ESTACIONES DE EVALUACIÓN ESCLEROMÉTRICA DEL CANAL DE CONDUCCIÓN**

Ensayo	Punto	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m s.n.m.)	Elemento evaluado
01	P-01	359852	8902149	1861	Canal de concreto
02	P-02	357043	8902947	1986	Canal de concreto
03	P-03	357129	8903008	1987	Canal de concreto
04	P-04	357459	8902996	1989	Canal de concreto
05	P-05	358540	8902799	1997	Canal de concreto
06	P-06	358522	8902814	1997	Canal de concreto
07	P-07	358751	8902656	2004	Canal de concreto
08	P-08	358760	8902652	2004	Canal de concreto
09	P-09	359256	8902463	2024	Canal de concreto
10	P-10	359569	8902271	2028	Canal de concreto
11	P-11	359784	8902198	2029	Canal de concreto
12	P-12	360394	8901819	2032	Canal de concreto
13	P-13	360578	8901717	2031	Canal de concreto
14	P-14	360667	8901682	2031	Canal de concreto
15	P-15	361000	8901598	2028	Canal de concreto
16	P-16	361681	8901338	2023	Canal de concreto

Fuente: Elaboración propia con base en el Informe de Ensayo Esclerométrico.

Los resultados obtenidos evidencian que el concreto mantiene una calidad superficial compatible con las condiciones actuales de servicio. Las variaciones registradas entre las estaciones evaluadas se encuentran asociadas principalmente a diferencias en el grado de exposición ambiental, presencia de humedad permanente, intervenciones de mantenimiento y condiciones superficiales del material, sin que ello represente una pérdida generalizada de la capacidad resistente de la infraestructura.

9.2.3. Terreno de fundación como material estructural

Desde el punto de vista estructural, el terreno de fundación constituye un componente esencial del sistema resistente, debido a que el canal desarrolla la mayor parte de su recorrido apoyado directamente sobre el suelo natural.

La investigación geotécnica permitió identificar la presencia de depósitos coluviales, materiales residuales y sectores con afloramientos rocosos, evidenciando una marcada variabilidad en las condiciones de apoyo de la infraestructura. Esta heterogeneidad influye directamente sobre la capacidad portante del terreno, la distribución de esfuerzos y la respuesta deformacional del canal frente a las cargas actuantes.

Asimismo, durante el reconocimiento de campo se verificó la presencia de procesos de infiltración, saturación y erosión que modifican las propiedades mecánicas del suelo, reduciendo su resistencia al corte y favoreciendo el desarrollo de asentamientos diferenciales y movimientos de masa. Estas condiciones constituyen el principal factor que condiciona la estabilidad estructural del sistema de conducción.

9.2.4. Evaluación integrada del comportamiento de los materiales

La integración de los resultados obtenidos mediante la inspección estructural, los ensayos esclerométricos y la investigación geotécnica permite establecer que el concreto conserva, en términos generales, una capacidad resistente compatible con las condiciones actuales de operación del sistema. No se identificaron evidencias que permitan atribuir el colapso ocurrido en el sector Pucuchinche a una pérdida generalizada de resistencia del material.





Por el contrario, el análisis evidencia que el comportamiento estructural del canal está controlado principalmente por la interacción entre la estructura y el terreno de fundación. La degradación progresiva de las condiciones geotécnicas, asociada a procesos de infiltración, erosión, saturación y movimientos de masa, modifica el estado de esfuerzos de la infraestructura, generando deformaciones diferenciales, pérdida parcial del apoyo estructural y concentraciones de esfuerzos que incrementan la vulnerabilidad del sistema.

En consecuencia, desde el punto de vista de la ingeniería estructural, la problemática del canal no debe interpretarse como una falla inherente del concreto, sino como el resultado de la interacción entre una estructura que conserva condiciones mecánicas adecuadas y un terreno de fundación cuya estabilidad se ha visto progresivamente afectada por factores geotécnicos e hidrológicos. Esta conclusión constituye la base técnica para el desarrollo de los numerales siguientes, referidos a las cargas actuantes, el análisis estructural, la verificación de estabilidad y la identificación de los mecanismos de falla.

9.3. CARGAS ACTUANTES

La estabilidad estructural del canal de conducción de agua cruda depende de la acción simultánea de diversas cargas y sollicitaciones que actúan durante toda su vida útil. A diferencia de otras estructuras hidráulicas, el canal constituye un sistema lineal apoyado directamente sobre el terreno natural, razón por la cual su comportamiento no está condicionado únicamente por las acciones gravitacionales e hidráulicas, sino también por las deformaciones inducidas por el terreno de fundación y por los fenómenos geodinámicos que afectan al corredor hidráulico.

En la presente evaluación estructural se identificaron las principales acciones que intervienen sobre la infraestructura, clasificándolas en cargas permanentes, cargas hidráulicas, acciones ambientales, acciones geotécnicas y acciones extraordinarias. Esta clasificación permitió evaluar la influencia de cada una de ellas sobre el comportamiento resistente del canal y establecer los mecanismos mediante los cuales contribuyen al deterioro progresivo de la infraestructura.

9.3.1. Cargas permanentes

Las cargas permanentes corresponden a aquellas que permanecen actuando durante toda la vida útil de la infraestructura y cuya magnitud puede considerarse prácticamente constante. Dentro de este grupo se incluyen:

- Peso propio del concreto que conforma la losa de fondo y los muros laterales.
- Peso del agua contenido en el canal durante las condiciones normales de operación.
- Peso de los elementos estructurales complementarios.
- Peso de los materiales de relleno que actúan lateralmente sobre la estructura.

Estas acciones generan esfuerzos permanentes de compresión y flexión que fueron considerados durante la evaluación estructural del canal. Debido a la configuración de la infraestructura, dichas cargas son transmitidas directamente al terreno de fundación, por lo que su comportamiento depende de la capacidad portante y de la rigidez del suelo existente.

9.3.2. Cargas hidráulicas

Las acciones hidráulicas corresponden a las sollicitaciones originadas por el flujo continuo del agua a través del canal.

Durante la operación del sistema actúan principalmente:





- Presión hidrostática sobre los muros laterales;
- Empuje hidráulico sobre cambios de dirección y estructuras especiales;
- Esfuerzos derivados del régimen de flujo;
- Acciones dinámicas asociadas a variaciones del caudal.

De acuerdo con el estudio hidrológico desarrollado durante la consultoría, el sistema de conducción fue evaluado considerando el régimen hidrológico de la cuenca y las condiciones operativas requeridas para garantizar el abastecimiento de agua hacia las Plantas de Tratamiento Cabritopampa I y II. Estos análisis permitieron establecer las condiciones de funcionamiento hidráulico utilizadas como base para la evaluación estructural.

En condiciones normales de servicio, las cargas hidráulicas no representan una condición crítica para la estabilidad estructural del canal, debido a que la infraestructura fue concebida para soportar dichas solicitaciones. Sin embargo, su efecto se incrementa cuando existen deformaciones del terreno o pérdida parcial del apoyo estructural.

9.3.3. Acciones geotécnicas

Las acciones geotécnicas constituyen el principal conjunto de solicitaciones identificado durante la presente evaluación.

El estudio geotécnico permitió establecer que el canal se desarrolla sobre un corredor conformado por depósitos coluviales, materiales residuales y sectores con afloramientos rocosos, donde la capacidad portante y las condiciones de estabilidad presentan variaciones significativas a lo largo del recorrido.

Como consecuencia de estas condiciones, la estructura se encuentra sometida a acciones inducidas por:

- Asentamientos diferenciales;
- Pérdida localizada de capacidad portante;
- Deformaciones del terreno;
- Deslizamientos superficiales;
- Movimientos de masa;
- Erosión del material de fundación;
- Socavación de la plataforma de apoyo.

A diferencia de las cargas gravitacionales, estas acciones modifican directamente el esquema resistente del canal, generando esfuerzos adicionales de flexión, cortante y torsión que no forman parte del comportamiento hidráulico normal de la infraestructura.

9.3.4. Acciones hidrometeorológicas

El régimen climático del área de estudio constituye uno de los principales factores que condicionan la estabilidad del corredor hidráulico.

Las precipitaciones generan infiltración de agua hacia el terreno de fundación, incrementando el grado de saturación del suelo y reduciendo progresivamente su resistencia al corte. Paralelamente, la escorrentía superficial produce procesos erosivos que modifican la geometría de los taludes y favorecen la pérdida de material en la plataforma de apoyo del canal.





El estudio hidrológico y la estimación del riesgo desarrollados durante la consultoría permitieron identificar estos procesos como factores determinantes en la evolución del deterioro estructural observado durante la inspección.

9.3.5. Acciones sísmicas

El sistema de conducción se ubica dentro de una región con elevada actividad sísmica, condición que debe considerarse durante la evaluación estructural.

Los movimientos sísmicos generan aceleraciones que producen esfuerzos adicionales sobre el canal y pueden inducir deformaciones del terreno, reactivación de deslizamientos existentes y pérdida de estabilidad de taludes.

Aunque durante la inspección no se identificaron daños atribuibles directamente a eventos sísmicos recientes, esta acción representa una condición de diseño que debe incorporarse en las futuras intervenciones de rehabilitación y estabilización.

9.3.6. Interacción de las cargas actuantes

El análisis desarrollado evidencia que el comportamiento estructural del canal no está controlado por una única acción, sino por la interacción simultánea de las cargas permanentes, las acciones hidráulicas y las solicitaciones geotécnicas y ambientales.

Durante la operación normal, el canal responde adecuadamente a las cargas gravitacionales e hidráulicas para las cuales fue concebido. Sin embargo, cuando las precipitaciones incrementan la infiltración y la saturación del terreno, se produce una disminución de la resistencia del suelo, favoreciendo asentamientos diferenciales y movimientos de masa que alteran las condiciones de apoyo de la estructura. Como consecuencia, aparecen esfuerzos adicionales que incrementan las deformaciones del canal y reducen progresivamente su margen de seguridad estructural.

Este comportamiento explica técnicamente por qué la principal condición de vulnerabilidad del sistema no está asociada a la magnitud del caudal transportado ni a la resistencia del concreto, sino a la pérdida de estabilidad del terreno de fundación y a la modificación del esquema resistente original de la infraestructura.

TABLA 3.3. CARGAS ACTUANTES SOBRE EL CANAL DE CONDUCCIÓN

TIPO DE CARGA	ORIGEN	EFFECTO ESTRUCTURAL	NIVEL DE INCIDENCIA
Carga permanente	Peso propio del concreto	Compresión y flexión	Medio
Carga hidráulica	Agua en operación	Presión hidrostática y empujes	Medio
Empuje del terreno	Material lateral de apoyo	Compresión lateral	Medio
Asentamientos diferenciales	Variación de la capacidad portante	Flexión adicional y fisuración	Alto
Infiltración y saturación	Precipitaciones y drenaje deficiente	Reducción de la resistencia del suelo	Muy Alto
Erosión y socavación	Escorrentía superficial	Pérdida de apoyo estructural	Muy Alto





Movimientos en masa	Inestabilidad geotécnica	Desplazamientos y colapso	Muy Alto
Acción sísmica	Dinámica del terreno	Incremento de esfuerzos y deformaciones	Medio - Alto

Fuente: Elaboración propia con base en el análisis estructural, estudio hidrológico, estudio geotécnico y estimación del riesgo desarrollados durante la consultoría.

9.4. CONDICIONES DE SERVICIO

Las condiciones de servicio constituyen el conjunto de solicitaciones físicas, operativas y ambientales bajo las cuales la infraestructura hidráulica desarrolla su funcionamiento durante su vida útil. En el caso del canal de conducción de agua cruda hacia las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y Cabritopampa II, dichas condiciones están determinadas por la operación continua del sistema, la interacción permanente con el terreno natural y la exposición constante a los agentes climáticos propios de la zona de estudio.

Desde el punto de vista estructural, el canal fue concebido para conducir el caudal de diseño en régimen de flujo a superficie libre, garantizando la continuidad del abastecimiento de agua hacia las plantas de tratamiento sin interrupciones significativas. Durante su operación normal, la estructura debe soportar simultáneamente el peso propio del concreto, las cargas hidráulicas generadas por el flujo permanente del agua, las acciones derivadas del confinamiento lateral del terreno y las variaciones ambientales propias de un sistema ubicado en una ladera de topografía accidentada. Estas condiciones constituyen el estado de servicio para el cual la infraestructura fue originalmente proyectada.

La evaluación realizada durante la presente consultoría permitió establecer que las condiciones actuales de servicio difieren parcialmente de aquellas consideradas durante la etapa de diseño debido a la evolución natural del entorno geológico y a los procesos de degradación ocurridos a lo largo del tiempo. El canal opera actualmente sobre un corredor donde la estabilidad del terreno presenta variaciones importantes como consecuencia de procesos de meteorización, infiltración, erosión superficial y movimientos de masa, factores que modifican las condiciones de apoyo estructural y generan solicitaciones adicionales no previstas en el comportamiento hidráulico ordinario.

Asimismo, la inspección técnica evidenció que el canal continúa prestando servicio en la mayor parte de su recorrido; sin embargo, determinados sectores presentan manifestaciones de deterioro asociadas principalmente a deformaciones diferenciales del terreno, pérdida localizada del apoyo estructural, fisuración superficial y desplazamientos parciales de algunos elementos del canal. Estas condiciones no obedecen exclusivamente al envejecimiento del concreto, sino principalmente a la interacción entre la estructura y el medio geotécnico donde se encuentra emplazada.

Otro aspecto relevante corresponde a las condiciones hidrometeorológicas que caracterizan el área de estudio. La ocurrencia de precipitaciones intensas favorece la infiltración de agua en el terreno de fundación, incrementando el contenido de humedad y reduciendo progresivamente la resistencia al corte de los materiales naturales.

Paralelamente, la escorrentía superficial acelera los procesos erosivos y contribuye a la pérdida gradual del soporte lateral y de la plataforma de apoyo del canal. Estas condiciones modifican el comportamiento estructural de la infraestructura y constituyen uno de los principales factores de vulnerabilidad identificados durante la evaluación integral.





Desde el punto de vista operativo, el funcionamiento continuo del sistema impone restricciones para la ejecución de actividades de mantenimiento y rehabilitación, debido a que cualquier intervención debe compatibilizarse con la necesidad de mantener el suministro de agua hacia las plantas de tratamiento. Esta condición incrementa la importancia de implementar soluciones constructivas técnicamente viables que permitan conservar la continuidad del servicio durante las futuras etapas de intervención.

La evaluación estructural permitió establecer que, bajo condiciones normales de operación, la concreta conserva una capacidad resistente compatible con las exigencias de servicio del sistema. No obstante, cuando coinciden eventos de precipitación intensa, incremento de la saturación del terreno y pérdida localizada del apoyo estructural, las condiciones de servicio evolucionan hacia estados de mayor exigencia, generando esfuerzos adicionales de flexión, cortante y deformación que incrementan significativamente la vulnerabilidad del canal frente a procesos de inestabilidad geotécnica.

En consecuencia, las condiciones actuales de servicio del canal no deben evaluarse únicamente desde el punto de vista hidráulico, sino como el resultado de la interacción permanente entre la estructura de concreto, el terreno de fundación, el régimen hidrológico de la cuenca y las condiciones geodinámicas del entorno. Esta interacción constituye el principal condicionante del comportamiento estructural observado y representa el criterio fundamental para el desarrollo de las medidas de rehabilitación, estabilización y mitigación propuestas en los capítulos siguientes del presente informe.

9.5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

9.5.1. Criterios y alcance del análisis

El presente análisis estructural tiene por finalidad evaluar el comportamiento resistente del canal de conducción de agua cruda frente a las condiciones actuales de servicio, considerando el estado de conservación de los elementos estructurales, las características mecánicas del concreto, las condiciones geotécnicas del terreno de fundación, las acciones hidráulicas y los procesos de deterioro identificados durante la inspección técnica efectuada en el marco de la presente consultoría.

A diferencia de una evaluación basada únicamente en la descripción de patologías visibles, el presente análisis integra la información proveniente de los diferentes estudios especializados desarrollados para la consultoría, con el propósito de establecer el nivel de desempeño estructural del sistema hidráulico y determinar los mecanismos que originan las principales deficiencias observadas.

Para tal efecto, se han considerado de manera integrada los siguientes estudios técnicos:

- Estudio Topográfico, para la definición de la geometría real del canal, pendientes longitudinales, cotas de fondo y localización de los sectores críticos.
- Estudio Geotécnico, para determinar las características del terreno de fundación, capacidad portante, procesos de erosión, estabilidad de taludes y susceptibilidad a movimientos en masa.
- Estudio Hidrológico, para establecer las condiciones hidráulicas que actúan sobre la infraestructura y las solicitaciones generadas durante los eventos de avenida.
- Informe de Evaluación Estructural, correspondiente a la inspección visual sistemática de los elementos estructurales y registro de las patologías existentes.





- Informe de Ensayo Esclerométrico, utilizado para estimar la resistencia superficial del concreto mediante ensayos no destructivos realizados en dieciséis puntos representativos del canal.
- Estudio Fotogramétrico, empleado para complementar la evaluación geométrica y documentar deformaciones, asentamientos y condiciones superficiales de la infraestructura.
- Informe de Identificación de Conexiones Clandestinas, cuya información permite reconocer intervenciones antrópicas que modifican las condiciones originales de operación del canal.

El análisis estructural se desarrolla bajo el criterio de que el canal constituye una estructura hidráulica de concreto armado que trabaja de manera continua sobre un medio deformable, por lo que su comportamiento resistente depende no solamente de la capacidad mecánica de sus elementos de concreto, sino también de las condiciones del terreno que los soporta. En consecuencia, la respuesta estructural debe analizarse considerando la interacción suelo-estructura, la cual adquiere especial importancia debido a la presencia de procesos de erosión, infiltración, saturación del terreno, asentamientos diferenciales y deslizamientos identificados durante la evaluación de campo.

Desde el punto de vista mecánico, el canal ha sido considerado como un sistema estructural conformado por losa de fondo, muros laterales y tapas de concreto armado, trabajando de manera monolítica para resistir las acciones gravitacionales, hidráulicas y geotécnicas que actúan durante la operación normal del sistema. Asimismo, se reconoce que la pérdida parcial del apoyo del terreno modifica el esquema resistente originalmente previsto, generando redistribuciones de esfuerzos que pueden producir incrementos locales de momentos flectores, esfuerzos cortantes y deformaciones diferenciales.

En el presente análisis se consideran las siguientes acciones estructurales:

- Peso propio de los elementos de concreto.
- Presión hidrostática ejercida por el agua transportada.
- Empuje lateral del terreno sobre los muros del canal.
- Acciones derivadas de la infiltración y saturación del suelo.
- Efectos producidos por asentamientos diferenciales.
- Acciones sísmicas compatibles con la zonificación establecida por la Norma Técnica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Acciones extraordinarias asociadas a procesos de erosión, socavación y movimientos de masa.

Para la caracterización mecánica del concreto se emplearán los resultados obtenidos mediante los ensayos esclerométricos ejecutados durante la consultoría. Los dieciséis puntos evaluados presentan resistencias estimadas comprendidas entre 110 kg/cm² y 330 kg/cm², con un valor promedio aproximado de 221.94 kg/cm², lo que evidencia una variabilidad importante de las propiedades mecánicas del concreto existente.

Considerando dicha dispersión y atendiendo al principio de seguridad estructural aplicable a la evaluación de estructuras existentes, para las verificaciones globales se adoptará una resistencia conservadora de cálculo de $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$, mientras que para el análisis de los sectores más deteriorados se evaluará adicionalmente un escenario crítico con $f_c = 110 \text{ kg/cm}^2$, correspondiente al menor valor obtenido durante los ensayos esclerométricos. Este criterio permite representar de manera más realista el comportamiento de una estructura que presenta





distintos grados de deterioro y envejecimiento.

El alcance del presente análisis comprende la evaluación estructural de los principales componentes del canal, incluyendo la verificación de los muros laterales, la losa de fondo y las tapas de concreto armado; la estimación de las acciones actuantes; la interacción entre la estructura y el terreno; la estabilidad global frente a deslizamiento y volteo; la evaluación de las condiciones de fisuración y la interpretación del comportamiento resistente observado en campo.

No obstante, es importante precisar que el presente estudio corresponde a una evaluación estructural de una infraestructura existente, desarrollada con base en inspecciones de campo, ensayos no destructivos y estudios especializados de apoyo. En consecuencia, las verificaciones estructurales presentadas tienen como finalidad determinar el nivel de seguridad y el comportamiento esperado del canal bajo sus condiciones actuales de servicio, mas no reemplazan una memoria de cálculo de diseño ni constituyen una verificación detallada de cada elemento estructural conforme a un proyecto ejecutivo.

Finalmente, la integración de la información topográfica, geotécnica, hidráulica, estructural y de materiales permitirá desarrollar un diagnóstico estructural integral, identificando no solo las patologías visibles, sino también las causas que las originan y su influencia en la estabilidad y funcionalidad del sistema de conducción. Este enfoque multidisciplinario constituye la base técnica para establecer los mecanismos de falla, definir los niveles de vulnerabilidad y sustentar las propuestas de intervención que se desarrollan en los capítulos siguientes del presente informe.

9.5.2. Modelo estructural del canal

El modelo estructural adoptado para la presente evaluación tiene como finalidad representar, de manera simplificada pero técnicamente consistente, el comportamiento resistente del canal de conducción de agua cruda bajo las condiciones reales de operación observadas durante la inspección de campo.

Considerando la geometría de la infraestructura, el sistema constructivo existente y la información recopilada durante los trabajos de evaluación, el canal se modela como una estructura hidráulica lineal de concreto armado, constituida por una losa de fondo, muros laterales y tapas removibles de concreto armado, apoyada de manera continua sobre un terreno natural con comportamiento deformable.

A diferencia de un canal enterrado convencional, la infraestructura evaluada presenta numerosos sectores expuestos, apoyados directamente sobre depósitos naturales y, en algunos tramos, sobre laderas con pendientes pronunciadas. En consecuencia, el comportamiento estructural del sistema depende simultáneamente de la resistencia del concreto, de la capacidad portante del terreno y de la estabilidad geotécnica del corredor por donde se desarrolla el canal. Esta condición es consistente con las observaciones del estudio geotécnico, el levantamiento topográfico y la evaluación estructural realizados durante la consultoría.

3.5.2.1. Idealización estructural

Para efectos del análisis, el canal se idealiza como un sistema estructural continuo compuesto por los siguientes elementos resistentes:

- **Losa de fondo**, encargada de transmitir al terreno las cargas permanentes y variables provenientes del peso propio de la estructura y del agua transportada.





- **Muros laterales**, que resisten la presión hidrostática interior y las acciones laterales generadas por el terreno circundante cuando corresponda.
- **Tapas de concreto armado**, diseñadas para proteger el flujo, limitar la contaminación del agua y permitir labores de mantenimiento mediante módulos removibles.
- **Terreno de fundación**, considerado como un apoyo continuo cuya rigidez varía a lo largo del canal en función de las condiciones geotécnicas identificadas.

Desde el punto de vista resistente, la sección transversal trabaja como un conjunto integrado, donde los esfuerzos son redistribuidos entre la losa y los muros dependiendo de la magnitud de las cargas actuantes y de las condiciones del apoyo.

3.5.2.2. Geometría adoptada para el análisis

Con base en los planos de la infraestructura y el reconocimiento de campo, para las verificaciones estructurales se adopta la geometría representativa mostrada en la Figura correspondiente.

Los parámetros geométricos considerados son:

PARÁMETRO	VALOR
Ancho interior del canal	1.10 m
Tirante de agua de análisis	1.00 m
Espesor de muros	0.15 m
Ancho exterior aproximado	1.40 m
Longitud de módulo de tapa	0.50 m



Estas dimensiones constituyen la base para el cálculo del peso propio, las acciones hidráulicas, las presiones transmitidas al terreno y las verificaciones estructurales desarrolladas en los numerales siguientes.

3.5.2.3. Modelo resistente

Desde el punto de vista del análisis estructural, el canal se considera como una viga continua de sección constante apoyada sobre una fundación elástica.

Esta idealización permite representar adecuadamente el comportamiento observado durante las inspecciones de campo, donde el concreto mantiene continuidad estructural, mientras que el terreno presenta variaciones importantes en su capacidad de soporte debido a procesos de infiltración, erosión, saturación y movimientos de masa.

Bajo este modelo, el comportamiento resistente depende de dos sistemas complementarios:

Sistema resistente primario

Corresponde a los elementos de concreto armado:

- losa de fondo;
- muros laterales;
- tapas de concreto.





Estos elementos absorben los esfuerzos de flexión, cortante y compresión producidos por las acciones permanentes y variables.

Sistema resistente secundario

Está conformado por el terreno de fundación.

El suelo actúa como un medio elástico que proporciona apoyo continuo a la estructura. Cuando dicho apoyo disminuye por pérdida de material, erosión o asentamientos diferenciales, el esquema resistente original se modifica, incrementándose los momentos flectores y las deformaciones en los elementos de concreto.

3.5.2.4. Hipótesis de comportamiento

Para desarrollar las verificaciones estructurales se adoptan las siguientes hipótesis:

- La estructura trabaja dentro del rango elástico para las condiciones normales de operación.
- Los elementos de concreto mantienen continuidad estructural entre juntas y cambios de sección.
- El agua ejerce una presión hidrostática distribuida linealmente sobre los muros laterales.
- El peso propio del concreto permanece constante a lo largo del canal.
- La interacción entre estructura y terreno influye directamente en la redistribución de esfuerzos.
- Los asentamientos diferenciales generan esfuerzos adicionales no contemplados en el diseño original.
- La resistencia del concreto corresponde a la estimada mediante ensayos esclerométricos, utilizando los valores conservadores definidos en el numeral 3.5.3.
- Las tapas de concreto armado se consideran elementos independientes apoyados sobre los bordes superiores de los muros.

3.5.2.5. Interacción suelo-estructura

Uno de los aspectos más relevantes del presente modelo consiste en considerar explícitamente la interacción entre la estructura y el terreno.

Los estudios geotécnicos evidencian que el canal atraviesa sectores con características geológicas heterogéneas, presencia de depósitos coluviales, procesos de erosión, infiltración permanente y zonas susceptibles a movimientos de masa.

Como consecuencia, el terreno no puede considerarse un apoyo rígido uniforme.

El comportamiento observado durante la inspección estructural demuestra que muchas de las patologías existentes —fisuras longitudinales, grietas transversales, pérdida de recubrimiento y deformaciones localizadas— son compatibles con fenómenos de pérdida parcial del apoyo estructural y asentamientos diferenciales, más que con una insuficiente resistencia del concreto.

Por ello, el modelo adoptado incorpora un apoyo continuo de rigidez variable, permitiendo interpretar de manera consistente la redistribución de esfuerzos observada en campo.





3.5.2.6. Alcance del modelo estructural

El modelo estructural desarrollado constituye la base para las verificaciones que se presentan en los numerales siguientes, incluyendo:

- Determinación del peso propio de la estructura.
- Cálculo de las acciones hidráulicas.
- Evaluación de las presiones transmitidas al terreno.
- Verificación por flexión y esfuerzo cortante de los muros laterales.
- Evaluación estructural de la losa de fondo.
- Revisión de la estabilidad global frente al deslizamiento y al volteo.
- Análisis de la interacción suelo-estructura.
- Interpretación de los mecanismos de falla observados durante la inspección.

En consecuencia, el modelo estructural no solo representa la geometría del canal, sino también su comportamiento resistente frente a las condiciones reales de operación y deterioro, constituyendo el fundamento técnico sobre el cual se desarrollan las verificaciones estructurales y el diagnóstico integral de la infraestructura.

3.5.3. Caracterización de materiales

La caracterización de los materiales del área de estudio se realizó con la finalidad de identificar las propiedades físicas, geotécnicas y mecánicas de los suelos que conforman la fundación del canal de conducción de agua cruda, permitiendo evaluar su comportamiento frente a las condiciones de carga, infiltración y estabilidad de taludes.

Durante la investigación geotécnica se ejecutaron cinco (05) calicatas distribuidas estratégicamente a lo largo del tramo comprendido entre Pucuchinche y Cabrito Pampa, obteniéndose muestras representativas para su identificación estratigráfica y clasificación conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y AASHTO. El estudio se desarrolló siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica E.050 "Suelos y Cimentaciones" y los procedimientos ASTM correspondientes.

La inspección de campo permitió identificar que el terreno está constituido principalmente por depósitos de cobertura con predominio de arenas limosas (SM) y arenas arcillosas (SC), materiales que presentan un comportamiento adecuado en condiciones secas; sin embargo, disminuyen considerablemente su resistencia cuando alcanzan elevados grados de saturación.

De acuerdo con la evaluación efectuada por OTASS, el colapso ocurrido en el sector de Pucuchinche fue consecuencia de un proceso geotécnico asociado a precipitaciones intensas que produjeron infiltración de agua dentro del talud, incrementando la presión de poros, reduciendo la resistencia al corte y ocasionando el desplazamiento del terreno de fundación del canal.

Asimismo, el reconocimiento integral de la línea de conducción permitió identificar seis (06) sectores adicionales con características geotécnicas similares, considerados zonas potencialmente inestables debido a la presencia de viviendas sobre los taludes, modificación de las pendientes naturales, infiltraciones superficiales y procesos erosivos que comprometen la estabilidad de la infraestructura hidráulica.

En términos generales, los materiales predominantes presentan permeabilidad media a alta, susceptibilidad a la erosión cuando permanecen saturados y una reducción significativa de





su capacidad portante bajo condiciones de humedad elevada. Estas características justifican la implementación de sistemas de estabilización mediante estructuras de contención, geosintéticos y obras de drenaje superficial y subterráneo, tal como fue recomendado en la asistencia técnica desarrollada por OTASS.

CUADRO 3.5.3-1**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES PREDOMINANTES**

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA IDENTIFICADA	COMPORTAMIENTO ESPERADO
Tipo predominante de suelo	Arena Limosa (SM) y Arena Arcillosa (SC)	Material granular con contenido de finos
Clasificación	Sistema SUCS	SM – SC
Estado natural	Suelo parcialmente compacto	Adecuado en condición seca
Permeabilidad	Media a alta	Facilita infiltraciones durante lluvias
Capacidad portante	Media	Disminuye al saturarse
Resistencia al corte	Moderada	Se reduce por incremento de presión de poros
Susceptibilidad a erosión	Alta	Principalmente en taludes expuestos
Comportamiento frente al agua	Sensible a la saturación	Riesgo de asentamientos y deslizamientos
Riesgo geotécnico	Alto en zonas de ladera	Requiere estabilización y drenaje

CUADRO 3.5.3-2**RELACIÓN ENTRE CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL Y PATOLOGÍA OBSERVADA**

CARACTERÍSTICA DEL MATERIAL	CONSECUENCIA GEOTÉCNICA	EVIDENCIA OBSERVADA
Infiltración de agua	Incremento de presión de poros	Saturación del talud
Saturación del suelo	Disminución de resistencia al corte	Deslizamiento del terreno
Incremento del peso específico	Pérdida de capacidad portante	Asentamiento del canal
Pendientes pronunciadas	Inestabilidad del talud	Colapso localizado
Erosión superficial	Socavación del terreno	Exposición de la estructura

3.5.3.1. Resistencia estimada del concreto mediante esclerometría

La evaluación de la resistencia del concreto del canal existente se realizó mediante el ensayo esclerométrico, empleando un martillo de rebote tipo Schmidt, procedimiento no destructivo que permite estimar la dureza superficial del concreto a partir del índice de rebote obtenido sobre la superficie del elemento estructural.

El método empleado se encuentra basado en la ASTM C805/C805M – Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, así como en la NTP 339.181, las cuales establecen que el ensayo constituye un procedimiento indirecto para estimar la calidad superficial del concreto y debe interpretarse conjuntamente con la inspección visual, el estado de conservación de la estructura y, cuando sea posible, con ensayos complementarios.

En el presente caso, el canal de conducción corresponde a una infraestructura con una antigüedad aproximada de 65 años, expuesta permanentemente a humedad, ciclos de





saturación y secado, abrasión por arrastre de sedimentos, carbonatación superficial y procesos naturales de envejecimiento del concreto. Estas condiciones influyen directamente sobre la dureza superficial medida por el esclerómetro, motivo por el cual los resultados obtenidos fueron analizados bajo un criterio eminentemente conservador.

Los resultados del ensayo evidenciaron una variabilidad significativa entre los diferentes puntos evaluados, obteniéndose valores comprendidos aproximadamente entre 110 kg/cm² y 330 kg/cm², con un valor promedio cercano a 222 kg/cm². Esta dispersión refleja la heterogeneidad propia de una estructura antigua, donde distintos sectores han estado sometidos a diferentes condiciones ambientales, hidráulicas y de conservación.

Desde el punto de vista estructural, la utilización del valor promedio podría conducir a una sobreestimación de la capacidad resistente de aquellas zonas donde el concreto presenta un mayor grado de deterioro. En consecuencia, considerando que la finalidad del presente estudio es evaluar la seguridad estructural del canal y establecer una solución temporal de conducción, se adopta como resistencia de cálculo el valor mínimo obtenido durante la campaña de esclerometría, correspondiente a:

$f_c' = 110 \text{ kg/cm}^2 \approx 10.8 \text{ MPa}$

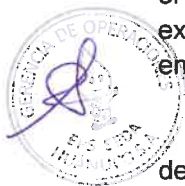
La adopción de este valor responde a un criterio de ingeniería basado en el principio de seguridad estructural, permitiendo que todas las verificaciones posteriores se desarrollen bajo la condición más desfavorable identificada durante la inspección.

Debe precisarse que la antigüedad de la estructura no implica, por sí misma, una reducción adicional de la resistencia medida. El valor obtenido mediante esclerometría representa el estado actual del concreto al momento de la inspección; por tanto, aplicar un nuevo factor reductor sobre dicho resultado conduciría a una doble penalización de la resistencia estimada. En consecuencia, el valor de 110 kg/cm² se considera representativo de la condición mecánica actual del concreto existente y constituye la resistencia de diseño para las verificaciones estructurales desarrolladas en el presente informe.

No obstante, la antigüedad de la infraestructura sí constituye un factor determinante desde el punto de vista de la durabilidad y del comportamiento estructural, razón por la cual durante el diseño se considera la posibilidad de fisuración previa, pérdida parcial del recubrimiento, carbonatación, reducción local de adherencia del acero de refuerzo y presencia de discontinuidades internas. Por ello, cualquier intervención sobre el canal deberá minimizar la generación de esfuerzos concentrados, evitar perforaciones próximas a armaduras principales y contemplar inspecciones previas mediante detectores de acero antes de ejecutar trabajos de perforación o instalación de elementos metálicos.

En términos estructurales, la resistencia adoptada de 10.8 MPa corresponde a un concreto significativamente inferior a las resistencias utilizadas en estructuras modernas de concreto armado; sin embargo, resulta coherente con la época de construcción del canal y con el estado de conservación observado durante la inspección técnica. Bajo esta premisa, todas las verificaciones de muros, losa de fondo, tapas de concreto armado y elementos de apoyo desarrolladas en los capítulos siguientes se efectuarán utilizando el valor conservador de $f_c = 110 \text{ kg/cm}^2$, garantizando que las conclusiones obtenidas se mantengan del lado de la seguridad.

Finalmente, debe indicarse que el ensayo esclerométrico constituye un método de estimación indirecta de la resistencia del concreto y no reemplaza a los ensayos destructivos mediante extracción de testigos (ASTM C42). Sin embargo, considerando que el canal se encuentra en servicio y que la finalidad del estudio es efectuar una evaluación estructural





preliminar sin afectar la integridad de la infraestructura existente, la metodología aplicada resulta técnicamente adecuada y proporciona una base suficientemente confiable para el análisis desarrollado en el presente informe.

3.5.4. Acciones actuantes

El análisis estructural del canal de conducción requiere la identificación y evaluación de todas las acciones que actúan sobre sus elementos resistentes durante las diferentes condiciones de operación y servicio. Estas acciones comprenden tanto cargas permanentes como variables y accidentales, las cuales pueden presentarse de forma individual o simultánea, modificando el estado tensional de los muros, la losa de fondo y las tapas de concreto armado.

Para efectos de la presente evaluación se consideran las acciones establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), particularmente las Normas E.020 Cargas, E.030 Diseño Sismorresistente y E.060 Concreto Armado, complementadas con criterios de ingeniería hidráulica aplicables a estructuras de conducción de agua.

3.5.4.1. Cargas permanentes (D)

Las cargas permanentes corresponden a aquellas que actúan continuamente durante toda la vida útil de la estructura y cuyo valor permanece prácticamente constante.

En el canal evaluado se consideran las siguientes:

- Peso propio de los muros de concreto armado.
- Peso propio de la losa de fondo.
- Peso propio de las tapas de concreto armado.
- Peso de elementos complementarios incorporados permanentemente a la estructura.
- Peso del material de relleno existente sobre las tapas, cuando corresponda.

Estas acciones generan principalmente esfuerzos de compresión sobre la cimentación y contribuyen a la estabilidad global de la estructura frente a acciones externas.

3.5.4.2. Carga hidrostática del agua

Durante la operación normal, el canal transporta agua cruda que ejerce presión sobre las superficies internas de los muros y sobre la losa de fondo.

La presión hidrostática aumenta linealmente con la profundidad y puede expresarse mediante:

$$p = \gamma w h$$

donde:

p = presión hidrostática (kPa)

γw = peso específico del agua (9.81 kN/m³)

h = profundidad del agua (m)

Esta acción produce:

- Empuje horizontal sobre los muros;
- Compresión vertical sobre la losa de fondo;
- Esfuerzos de flexión en la unión muro-losa.





En condiciones normales constituye una de las acciones predominantes del sistema estructural.

3.5.4.3. Empuje lateral del terreno

Los muros exteriores del canal se encuentran confinados por el terreno circundante, el cual desarrolla presiones laterales que dependen de:

- Peso específico del suelo;
- Estado de compactación;
- Nivel freático;
- Características geotécnicas del terreno.

Cuando el canal se encuentra vacío, el empuje del terreno constituye la acción predominante sobre los muros, pudiendo generar esfuerzos de flexión en sentido contrario a los producidos durante el funcionamiento hidráulico.

La magnitud de este empuje deberá evaluarse considerando la teoría de Rankine o Coulomb, según las características del terreno existente.

3.5.4.4. Sobrecargas superficiales

Sobre la superficie del terreno pueden presentarse cargas adicionales asociadas a:



- Tránsito de personal de mantenimiento;
- Circulación ocasional de vehículos;
- Almacenamiento temporal de materiales;
- Equipos de conservación.

Estas acciones incrementan las presiones transmitidas al terreno y pueden generar esfuerzos adicionales sobre las tapas de concreto armado y los muros laterales.



3.5.4.5. Presión hidrodinámica

Durante la circulación del agua se generan efectos dinámicos asociados a la velocidad del flujo, cambios de dirección y pérdidas localizadas.

En el presente análisis estas acciones se consideran de menor magnitud respecto de la presión hidrostática; sin embargo, adquieren importancia en sectores donde existen:



- Transiciones;
- Cambios bruscos de sección;
- Estructuras de control;
- Descargas.

3.5.4.6. Acciones por golpe de ariete

Las variaciones bruscas del régimen hidráulico pueden producir incrementos transitorios de presión conocidos como golpe de ariete.

Estas sobrepresiones dependen principalmente de:





- Velocidad del flujo;
- Longitud de conducción;
- Tiempo de cierre de válvulas;
- Características del sistema hidráulico.

Aunque el canal opera predominantemente como conducción abierta, las soluciones temporales mediante tubería cerrada pueden desarrollar este fenómeno, razón por la cual debe verificarse la capacidad resistente de los elementos sometidos a presión.

3.5.4.7. Acciones sísmicas

El proyecto se ubica en una zona de elevada actividad sísmica, por lo que deben considerarse las acciones establecidas en la Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente.

Durante un evento sísmico pueden presentarse:

- Incremento de esfuerzos en los muros;
- Deformaciones diferenciales;
- Apertura de juntas;
- Pérdida parcial del confinamiento del terreno;
- Agrietamiento del concreto.

Asimismo, la interacción dinámica entre el suelo y la estructura puede modificar significativamente la distribución de esfuerzos internos.

3.5.4.8. Acciones por erosión y socavación

Uno de los mecanismos de deterioro observados durante la inspección corresponde a la erosión del terreno y la pérdida progresiva del material de apoyo.

La socavación puede producir:

- Reducción del área efectiva de apoyo;
- Incremento de momentos flectores;
- Asentamientos diferenciales;
- Aparición de fisuras;
- Pérdida de estabilidad estructural.

Estas acciones constituyen uno de los factores más críticos para la integridad del canal.

3.5.4.9. Acciones derivadas del deterioro del concreto

La antigüedad de la estructura y su exposición permanente al ambiente generan acciones indirectas relacionadas con el deterioro de los materiales, entre ellas:

- Carbonatación;
- Abrasión superficial;
- Desgaste por flujo continuo;
- Fisuración existente;
- Pérdida localizada de recubrimiento;
- Corrosión potencial del acero de refuerzo.





Aunque estas acciones no representan cargas externas, reducen la capacidad resistente de los elementos estructurales y deben considerarse durante la evaluación.

3.5.4.10. Combinación de acciones

Para la evaluación estructural del canal no resulta suficiente analizar cada acción de manera aislada. En la práctica, la estructura se encuentra sometida a la acción simultánea de varias solicitaciones, cuya combinación representa la condición más desfavorable para su comportamiento.

En el presente estudio se consideran, entre otras, las siguientes combinaciones representativas:

- Escenario 1: Peso propio + presión hidrostática.
- Escenario 2: Peso propio + empuje del terreno (canal vacío).
- Escenario 3: Peso propio + presión hidrostática + sobrecarga superficial.
- Escenario 4: Peso propio + acciones sísmicas.
- Escenario 5: Peso propio + pérdida parcial de apoyo por erosión.
- Escenario 6: Peso propio + presión hidráulica + deterioro del concreto.

Estas combinaciones permiten evaluar el comportamiento estructural bajo condiciones normales, extraordinarias y de emergencia, identificando los estados críticos que serán analizados en los capítulos siguientes.

3.5.5. Verificación estructural de los muros

La verificación estructural de los muros del canal tiene por finalidad evaluar si los elementos laterales conservan una capacidad resistente suficiente para soportar las acciones hidráulicas y geotécnicas que actúan durante las diferentes condiciones de servicio, considerando además el estado actual del concreto determinado mediante la evaluación esclerométrica.

El análisis se desarrolla tomando como resistencia de diseño del concreto $f_c = 110 \text{ kg/cm}^2$ (10.8 MPa), valor adoptado de manera conservadora a partir de los resultados obtenidos en la campaña de esclerometría. Asimismo, se considera que el canal corresponde a una estructura de concreto armado con aproximadamente 65 años de antigüedad, por lo que el comportamiento resistente debe analizarse considerando tanto las acciones actuantes como el deterioro acumulado del material.

3.5.5.1. Modelo estructural adoptado

Para efectos del presente estudio, cada muro lateral del canal se idealiza como una placa vertical empotrada en la losa de fondo y vinculada superiormente mediante la tapa de concreto armado, formando un sistema estructural tipo cajón.

Bajo esta configuración, los muros trabajan principalmente a:

- Flexión transversal.
- Esfuerzo cortante.
- Compresión local.
- Control de fisuración.
- Transferencia de esfuerzos hacia la losa de fondo y la tapa superior.





Este modelo representa adecuadamente el comportamiento estructural de canales de concreto armado construidos monolíticamente.

3.5.5.2. Estado de cargas

Durante el funcionamiento normal del canal, los muros se encuentran sometidos principalmente a:

- Presión hidrostática interior;
- Peso propio del elemento;
- Empuje lateral del terreno exterior;
- Sobrecargas transmitidas por la tapa;
- Acciones sísmicas;
- Deformaciones diferenciales del terreno.

Cuando el canal opera lleno, la presión del agua genera un empuje horizontal que aumenta linealmente con la profundidad, alcanzando su valor máximo en la unión con la losa de fondo.

En cambio, cuando el canal se encuentra vacío, predomina el empuje lateral del terreno exterior, invirtiéndose el sentido de los esfuerzos de flexión respecto de la condición hidráulica.

Por ello, el comportamiento estructural debe verificarse para ambas condiciones de servicio.

3.5.5.3. Evaluación del estado del concreto

Durante la inspección técnica se constató que los muros presentan una condición general compatible con una estructura antigua sometida a exposición permanente al agua y agentes ambientales.

La evaluación superficial permitió identificar:

- Desgaste por abrasión.
- Zonas con carbonatación superficial.
- Pérdida localizada de recubrimiento.
- Variación de textura superficial.
- Envejecimiento natural del concreto.

No obstante, durante la inspección no se evidenciaron deformaciones importantes, desplazamientos fuera del plano ni fallas que indiquen pérdida inmediata de estabilidad de los muros.

Los resultados de esclerometría evidenciaron una resistencia variable, adoptándose para el presente estudio un valor conservador de:
 $f_c' = 110 \text{ kg/cm}^2$

Este valor constituye la resistencia utilizada en todas las verificaciones posteriores.

3.5.5.4. Comportamiento frente a flexión

La presión hidrostática genera un diagrama triangular de cargas sobre los muros laterales, originando momentos flectores máximos en la unión entre el muro y la losa de fondo.

La continuidad estructural existente entre ambos elementos permite que parte de dichos





momentos sean redistribuidos hacia la losa inferior y hacia la tapa superior, disminuyendo las deformaciones respecto a un muro simplemente apoyado.

Desde el punto de vista mecánico, el sistema trabaja como un marco cerrado de concreto armado, condición que mejora considerablemente su rigidez.

La inspección realizada no evidenció desplazamientos laterales apreciables ni deformaciones permanentes que indiquen agotamiento por flexión.

3.5.5.5. Verificación frente a esfuerzos cortantes

Los esfuerzos cortantes se concentran principalmente en la base del muro, donde confluyen las reacciones provenientes de la presión hidráulica y las restricciones impuestas por la losa de fondo.

Durante la inspección visual no se observaron fisuras diagonales continuas características de una falla por cortante.

Asimismo, no se identificaron desprendimientos significativos del concreto ni fallas localizadas que evidencien pérdida de capacidad resistente en esta zona.

Por consiguiente, desde el punto de vista cualitativo, los muros no presentan indicios de un comportamiento crítico frente a esfuerzos cortantes.

3.5.5.6. Control de fisuración

El estado superficial del concreto muestra fisuras aisladas compatibles con procesos normales de retracción, envejecimiento y exposición ambiental.

No se identificaron fisuras estructurales de gran abertura, desplazamientos diferenciales entre bloques ni separación de juntas que comprometan la estabilidad global del canal.

Sin embargo, debido a la antigüedad de la estructura, resulta recomendable efectuar un monitoreo periódico de la evolución de dichas fisuras, especialmente en sectores afectados por procesos de erosión del terreno o pérdida de confinamiento lateral.

3.5.5.7. Influencia del deterioro por antigüedad

La antigüedad aproximada de 65 años constituye un factor importante dentro del comportamiento estructural del canal.

Durante dicho periodo la estructura ha estado sometida a:

- Ciclos permanentes de humedad y secado;
- Abrasión por sedimentos;
- Carbonatación superficial;
- Variaciones térmicas;
- Envejecimiento natural del concreto.

Estos fenómenos producen una disminución gradual de la durabilidad del material, incrementando la probabilidad de fisuración y reduciendo los márgenes de seguridad frente a





acciones extraordinarias.

No obstante, la inspección realizada evidencia que el sistema estructural mantiene una configuración estable, sin observarse mecanismos de colapso progresivo ni pérdidas importantes de continuidad entre sus elementos resistentes.

3.5.5.8. Condición estructural de los muros

Considerando:

- La resistencia adoptada del concreto ($f_c = 110 \text{ kg/cm}^2$);
- El comportamiento estructural tipo cajón del canal;
- La inspección visual efectuada;
- La ausencia de deformaciones significativas;
- La inexistencia de fisuras estructurales generalizadas;

Se concluye que los muros laterales conservan una capacidad resistente compatible con las condiciones actuales de servicio, aunque presentan una reducción de su margen de seguridad debido al envejecimiento del concreto y a la disminución de sus propiedades mecánicas respecto a una estructura nueva.

Las condiciones más críticas para estos elementos no corresponden al esfuerzo resistente del concreto propiamente dicho, sino a la posible pérdida de apoyo originada por procesos de erosión, socavación o deterioro del terreno de cimentación, aspectos que serán evaluados en los capítulos siguientes.

3.5.6. Verificación de la losa de fondo

La losa de fondo constituye el elemento estructural encargado de recibir las cargas verticales generadas por el agua conducida, el peso propio de los muros y las reacciones transmitidas por el sistema estructural del canal. Asimismo, permite distribuir dichas acciones hacia el terreno de cimentación y proporciona continuidad estructural entre los muros laterales.

Para la presente evaluación se considera la geometría referencial del canal existente, con un ancho interior aproximado de 0.90 m, una altura interior cercana a 0.83 m y un espesor de los elementos de concreto del orden de 0.10 m. La resistencia estimada del concreto se adopta conservadoramente como:

$$f_c' = 110 \text{ kg/cm}^2 = 10.79 \text{ MPa}$$

La verificación se desarrolla considerando que no se cuenta con información completa sobre la cuantía y disposición del acero de refuerzo, la profundidad efectiva de la losa, la capacidad portante del terreno ni la existencia de vacíos bajo el canal. Por ello, el análisis corresponde a una evaluación estructural preliminar, complementada con la inspección del estado físico del elemento.

3.5.6.1. Modelo estructural adoptado

La losa de fondo se idealiza como una franja longitudinal continua de concreto armado, apoyada sobre el terreno y vinculada monolíticamente a los muros laterales. En una condición normal, con soporte uniforme del terreno, la losa trabaja principalmente como





un elemento de distribución de cargas. La reacción del suelo contrarresta el peso del agua, el peso propio del concreto y las cargas transmitidas por los muros, por lo que los momentos flectores internos tienden a ser moderados.

Sin embargo, cuando se presenta erosión, lavado de finos, socavación o asentamiento diferencial, la losa puede perder parcial o totalmente su apoyo. En dicha condición deja de trabajar como una losa apoyada continuamente y pasa a comportarse como una placa o viga suspendida entre zonas todavía firmes, incrementándose significativamente los momentos flectores y las deformaciones.

Por esta razón, la condición crítica de la losa no se encuentra necesariamente asociada a la carga hidráulica ordinaria, sino a la pérdida localizada de soporte inferior.

3.5.6.2. Acciones verticales sobre la losa

Las principales acciones que actúan sobre la losa de fondo son:

- Peso propio de la losa;
- Peso del agua contenida en el canal;
- Peso propio de los muros;
- Reacciones procedentes de las tapas de concreto;
- Eventuales sobrecargas superficiales;
- Presión ascendente producida por agua infiltrada;
- Acciones derivadas de asentamientos o pérdida de suelo.

El peso del agua por unidad de longitud del canal puede estimarse mediante:
 $Ww = \gamma_w (b)(h)$

Donde:

$\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$, peso específico del agua;
 $b = 0.90 \text{ m}$, ancho interior del canal;
 h , tirante hidráulico.

Adoptando conservadoramente el canal lleno hasta una altura de 0.83 m, se obtiene:

$$Ww = 9.81(0.90)(0.83)$$

$$Ww \approx 7.33 \text{ kN/m}$$

Este valor representa la carga vertical del agua por cada metro longitudinal del canal. La presión máxima ejercida sobre la superficie de la losa corresponde a:

$$q_w = \gamma_w h$$

$$q_w = 9.81(0.83)$$

$$q_w \approx 8.14 \text{ kPa}$$

La presión vertical generada por el agua resulta reducida en comparación con la resistencia a compresión del concreto y con las capacidades portantes usuales de un terreno competente. Por tanto, bajo una condición de apoyo uniforme, la presión hidráulica no constituye por sí sola una acción crítica para la losa.



3.5.6.3. Peso propio de la losa

Considerando preliminarmente un espesor de losa de:

$$t=0.15\text{m}$$

y un peso específico del concreto de:

$$\gamma_c=24.0\text{kN/m}^3$$

el peso propio por unidad de superficie es:

$$q_c = \gamma_c (t)$$

$$q_c = 24.0(0.15)$$

$$q_c = 3.60\text{kPa}$$

Para un ancho total aproximado de 1.10 m, incluyendo el espesor de los muros, el peso propio de la losa por metro longitudinal es:

$$W_c = 24.0(1.10)(0.15)$$

$$W_c \approx 3.96\text{kN/m}$$

Consecuentemente, la carga vertical directa generada por el agua y el peso propio de la losa resulta aproximadamente:

$$W_v = W_w + W_c$$

$$W_v = 7.33+3.96$$

$$W_v \approx 11.29\text{kN/m}$$

A este valor deben añadirse el peso propio de los muros, las tapas y las sobrecargas que actúen sobre el conjunto.

3.5.6.4. Presión transmitida al terreno

La presión media de contacto puede estimarse, de manera preliminar, dividiendo la carga vertical total entre el ancho de apoyo de la estructura:

$$q = W/B$$

Donde:

W = carga vertical total por metro longitudinal;

B = ancho efectivo de la base.

Considerando únicamente la carga del agua y el peso de la losa:

$$q = 11.29/1.10$$

$$q \approx 10.26\text{kPa}$$

Aun incorporando el peso de los muros y las tapas, la presión media esperada continúa siendo relativamente baja. En consecuencia, bajo una condición de terreno homogéneo, confinado y sin erosión, no se espera que la capacidad portante sea el mecanismo de falla predominante.

No obstante, esta apreciación deberá comprobarse mediante información geotécnica, debido a que la presión media no permite detectar concentraciones locales de esfuerzos ni pérdida de apoyo.





3.5.6.5. Verificación preliminar por flexión

Cuando la losa se encuentra totalmente apoyada sobre el terreno, el momento flector es reducido debido a la reacción distribuida del suelo.

Para una evaluación conservadora, puede analizarse una franja transversal de un metro de longitud como una losa que salva el ancho interior del canal, sometida a una carga uniforme igual a la presión del agua y su peso propio:

$$\begin{aligned}q_u &= q_w + q_c \\q_u &= 8.14 + 3.60 \\q_u &= 11.74 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Idealizando la franja como simplemente apoyada sobre una luz de 0.90 m, el momento máximo sería:

$$\begin{aligned}M_{\max} &= q_u (L^2)/8 \\M_{\max} &= 11.74(0.90^2)/8 \\M_{\max} &\approx 1.19 \text{ kN}\cdot\text{m/m}\end{aligned}$$

El valor obtenido representa una demanda de flexión reducida. Además, debe considerarse que la idealización como losa simplemente apoyada es conservadora, debido a que la estructura real presenta continuidad monolítica entre la losa de fondo y los muros laterales, conformando una sección cerrada tipo cajón. Esta condición permite una redistribución adicional de esfuerzos y restringe parcialmente la rotación en los extremos de la losa.

Sin embargo, el resultado anterior corresponde únicamente a la condición ordinaria en la que el terreno conserva su apoyo continuo. Si se produce erosión, lavado de finos o socavación bajo la losa, la reacción del suelo disminuye o desaparece localmente, modificándose de manera sustancial el esquema resistente. En dicho escenario, la losa puede quedar suspendida en uno o varios tramos y desarrollar momentos flectores superiores a los obtenidos para la condición normal.

Por ello, esta comprobación debe considerarse preliminar y no permite determinar de manera definitiva la capacidad resistente de la sección. Para verificar que se cumple:

$$\phi M_n \geq M_u$$

Se requiere conocer la disposición real del acero de refuerzo, incluyendo el diámetro y espaciamiento de las barras, el recubrimiento, la profundidad efectiva, la continuidad del refuerzo con los muros y su estado de conservación.

En consecuencia, bajo apoyo continuo del terreno, la losa presenta una demanda ordinaria de flexión baja, estimada en:

$$M_{\max} \approx 1.19 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

No obstante, esta conclusión no sustituye la comprobación del acero existente ni resulta aplicable a sectores donde se haya producido pérdida parcial o total del soporte inferior.





3.5.6.6. Verificación preliminar por cortante

Para la franja idealizada, el esfuerzo cortante máximo se estima mediante:

$$V_{\max} = q_u (L)/2$$

$$V_{\max} = 11.74(0.90)/2$$

$$V_{\max} \approx 5.28 \text{ kN/m}$$

La demanda cortante obtenida es reducida. Por ello, en una condición de apoyo uniforme, no se prevé una falla por cortante asociada únicamente al peso del agua y de la losa.

La condición cambia cuando existen vacíos importantes debajo del elemento, debido a que aumenta la longitud libre y se generan concentraciones de cortante cerca de los bordes de la zona socavada.

3.5.6.7. Presión ascendente y subpresión

La losa también puede encontrarse sometida a presión ascendente cuando el nivel de agua exterior o infiltrada se ubica por encima de su cara inferior, principalmente durante las siguientes situaciones:

- Canal vacío.
- Terreno saturado.
- Filtración desde laderas.
- Obstrucción de drenajes.
- Acumulación de agua bajo la losa.

La presión ascendente puede expresarse como:

$$u = \gamma_w \cdot h_s$$

Donde h_s representa la altura de agua bajo la losa.

Si la subpresión supera el peso estabilizador del canal vacío, puede producir:

- Levantamiento parcial;
- Separación entre la losa y el terreno;
- Ingreso de finos;
- Aumento progresivo de vacíos;
- Fisuración en las conexiones muro-losa.

En el canal analizado no se dispone de mediciones piezométricas que permitan cuantificar esta acción. En consecuencia, la subpresión debe considerarse como una condición potencial que requiere verificación durante la inspección de campo.

3.5.6.8. Pérdida de apoyo por erosión o socavación

La pérdida de apoyo inferior de la losa de fondo constituye la circunstancia estructural más crítica identificada y representa el mecanismo que mejor explica el proceso de colapso observado en el canal. Mientras la losa permanece apoyada de forma continua sobre un terreno firme y uniforme, las cargas producidas por el peso propio, el agua y los muros son transferidas directamente al suelo, generándose esfuerzos de flexión relativamente reducidos. En esta condición, la losa trabaja principalmente como un elemento de distribución y no como una estructura suspendida.





El comportamiento cambia sustancialmente cuando el material situado debajo de la losa es removido por erosión, filtración, lavado de finos o socavación. La formación de vacíos elimina progresivamente la reacción del terreno y obliga a que la losa soporte las cargas mediante su propia rigidez, trabajando como una viga o placa suspendida entre los sectores que aún conservan apoyo.

Este cambio del esquema resistente es fundamental para comprender el colapso:

- **Condición original:** losa apoyada continuamente sobre el terreno.
- **Condición deteriorada:** losa parcialmente suspendida sobre un vacío.
- **Condición crítica:** crecimiento del vacío y pérdida progresiva de los apoyos laterales.
- **Condición de falla:** fisuración, deformación excesiva y rotura localizada de la losa.

La magnitud del momento flector generado en una zona sin apoyo aumenta con el cuadrado de la longitud libre:

$$M = wL^2/8$$

En consecuencia:

$$M \propto L^2$$

Esto significa que el incremento de la longitud socavada no produce un aumento proporcional del esfuerzo, sino un crecimiento acelerado. Si la longitud sin soporte se duplica, el momento se multiplica por cuatro; si se triplica, se multiplica por nueve.

Considerando de manera referencial una carga longitudinal de aproximadamente:

$$w = 11.29 \text{ kN/m.}$$

Correspondiente al agua y al peso propio de la losa de 15 cm, sin incorporar todavía el peso de muros, tapas y otras acciones, se obtienen los siguientes momentos:

LONGITUD SIN APOYO	MOMENTO APROXIMADO
0.50 m	0.35 kN·m
1.00 m	1.41 kN·m
1.50 m	3.18 kN·m
2.00 m	5.65 kN·m
2.50 m	8.82 kN·m
3.00 m	12.70 kN·m

Los resultados muestran que, al pasar de una zona socavada de 1.00 m a 3.00 m, el momento aumenta de aproximadamente 1.41 kN·m a 12.70 kN·m, es decir, unas nueve veces. Por tanto, una losa que inicialmente puede puentear un vacío pequeño sin manifestar daños visibles puede pasar rápidamente a una condición crítica cuando la erosión continúa avanzando.

El proceso probable de falla puede describirse de la siguiente manera:

1. Inicio de la infiltración.

El agua ingresa a través de juntas, fisuras, discontinuidades o sectores deteriorados del canal.

2. Lavado de partículas finas.

El flujo infiltrado arrastra progresivamente el material fino situado debajo o junto a la losa.





3. Formación de un vacío inicial.

La losa pierde contacto con el terreno en un sector localizado, aunque puede no presentar todavía fisuras visibles.

4. Trabajo de la losa como elemento suspendido.

Al desaparecer la reacción del suelo, la losa debe soportar el peso del agua, su peso propio y las cargas transmitidas por los muros mediante flexión.

5. Incremento progresivo de la luz libre.

Las fugas y la erosión continúan ampliando el vacío, aumentando los momentos con el cuadrado de la longitud sin apoyo.

6. Fisuración de la cara traccionada.

Cuando la resistencia a tracción del concreto es superada, aparecen fisuras que reducen la rigidez efectiva de la sección.

7. Redistribución hacia el acero existente.

El refuerzo comienza a recibir una mayor proporción de la tracción. Debido a la antigüedad de la estructura, su cuantía, continuidad y estado de conservación no están plenamente determinados.

8. Aumento de deformaciones y apertura de fisuras.

La deformación de la losa favorece nuevas filtraciones, incrementando el lavado del terreno y generando un proceso de deterioro autosostenido.

9. Pérdida de apoyo de los muros.

La socavación deja de afectar únicamente a la losa y alcanza las zonas situadas bajo los muros laterales. Estos empiezan a asentarse, inclinarse o separarse de la losa.

10. Colapso localizado o progresivo.

Finalmente puede producirse la rotura de la losa, la pérdida de continuidad en la unión muro-losa y el colapso parcial del canal.

Por tanto, el colapso no debe atribuirse principalmente a que la presión vertical del agua haya superado la resistencia a compresión del concreto. La presión hidráulica ordinaria es relativamente baja y, mientras exista apoyo uniforme, puede ser transmitida adecuadamente al terreno. El problema principal corresponde a la modificación del esquema estructural producida por la socavación.

En otras palabras, la losa fue concebida para trabajar sobre una base continua y no como una estructura aérea capaz de salvar luces longitudinales importantes. Cuando el terreno desaparece, las condiciones reales dejan de corresponder al modelo resistente original. La losa de 15 cm pasa a soportar esfuerzos de flexión, cortante y deformación para los cuales probablemente no fue dimensionada.

Además, la fisuración producida por la pérdida de apoyo facilita el paso del agua hacia el terreno, generando una interacción progresiva entre daño estructural y erosión:





**FILTRACION → LAVADO DE FINOS → FORMACION DE VACIOS → FLEXION DE LA LOSA
→ FISURACION → MAYOR FILTRACION**

Este ciclo explica que el deterioro pueda avanzar lentamente durante una etapa inicial y acelerarse de manera repentina cuando el vacío alcanza una longitud crítica. La falla visible puede parecer súbita, aunque en realidad constituye la etapa final de un proceso progresivo de pérdida de soporte.

CONCLUSIÓN ESPECÍFICA DEL MECANISMO DE COLAPSO

La evidencia técnica permite establecer que la circunstancia determinante del colapso corresponde a la pérdida progresiva del apoyo del terreno bajo la losa de fondo, causada por erosión, infiltración, socavación o lavado de finos. Esta condición transformó la losa, originalmente apoyada de manera continua, en un elemento parcialmente suspendido.

El crecimiento de la longitud sin soporte produjo un incremento cuadrático de los momentos flectores. Al triplicarse la luz socavada, el momento actuante aumentó aproximadamente nueve veces, reduciendo rápidamente el margen resistente de la losa. Posteriormente, la fisuración y deformación incrementaron las filtraciones y aceleraron la remoción del terreno, generándose un mecanismo progresivo que culminó con la pérdida de continuidad estructural y el colapso localizado del canal.

En consecuencia, el factor desencadenante no habría sido una insuficiencia general de resistencia del concreto frente a las cargas normales de operación, sino la alteración de las condiciones de cimentación y la pérdida de interacción suelo-estructura, que sometieron a la losa y a los muros a un esquema de trabajo distinto al previsto originalmente.

3.5.6.9. Estado de conservación y signos de afectación

La evaluación de la losa debe correlacionarse con la presencia de manifestaciones visibles, tales como:

- Fisuras longitudinales;
- Fisuras transversales;
- Asentamientos localizados;
- Desniveles en la rasante;
- Filtraciones;
- Pérdida de material en juntas;
- Sonido hueco al golpeo superficial;
- Desprendimiento de concreto;
- Exposición o corrosión del acero.

La ausencia de fisuras visibles no garantiza que exista apoyo completo debajo de la losa. Los vacíos internos pueden desarrollarse sin manifestaciones inmediatas en la superficie, particularmente cuando la continuidad del refuerzo permite que el elemento puente temporalmente la zona erosionada.

Por ello, en sectores críticos resulta recomendable complementar la inspección visual con calas laterales, auscultación mediante percusión, georradar u otro procedimiento no destructivo que permita identificar discontinuidades bajo el canal.





3.5.7. Verificación de tapas de concreto armado

Las tapas de concreto armado constituyen el elemento superior del canal y cumplen una doble función estructural e hidráulica. Desde el punto de vista hidráulico, permiten proteger el flujo de agua frente a la contaminación exterior y limitan el ingreso de materiales extraños al sistema de conducción. Desde el punto de vista estructural, actúan como elementos de cierre del cajón resistente, contribuyendo a la rigidez transversal del canal mediante el confinamiento de los muros laterales.

A diferencia de una losa simplemente apoyada, las tapas trabajan solidariamente con los muros cuando existe continuidad estructural, formando un sistema cerrado que redistribuye los esfuerzos inducidos por las cargas verticales y horizontales. Esta configuración reduce las deformaciones laterales de los muros y mejora la estabilidad global del canal frente a acciones hidráulicas y geotécnicas.

Durante la inspección visual se verificó que las tapas presentan el deterioro propio de una estructura con aproximadamente sesenta y cinco (65) años de servicio continuo. Se observaron manifestaciones asociadas al envejecimiento natural del concreto, tales como desgaste superficial, pérdida localizada del recubrimiento, fisuras de pequeña abertura y variaciones en la textura del material. Sin embargo, no se evidenciaron deformaciones permanentes, colapsos parciales, desprendimientos generalizados ni desplazamientos que indiquen una pérdida inmediata de capacidad resistente.

Las cargas que actúan sobre las tapas corresponden principalmente a:

- Peso propio del elemento;
- Sobrecargas ocasionadas por tránsito de personal de mantenimiento;
- Cargas accidentales producidas por equipos livianos;
- Presión del relleno superficial, cuando exista;
- Acciones sísmicas transmitidas por el conjunto estructural.

En condiciones normales de operación, estas acciones generan momentos flectores relativamente reducidos, debido a la limitada luz estructural existente entre los muros del canal. No obstante, la condición resistente puede modificarse significativamente cuando uno de los muros experimenta asentamientos diferenciales derivados de la pérdida de apoyo inferior, ya que las tapas comienzan a trabajar sometidas a esfuerzos adicionales de torsión y flexión inducidos por la deformación del sistema.

Debe resaltarse que la estabilidad de las tapas depende directamente de la integridad estructural de los muros laterales. Si estos pierden continuidad debido a la socavación del terreno o al colapso parcial de la losa de fondo, las tapas dejan de trabajar dentro del esquema estructural para el cual fueron construidas y pasan a soportar deformaciones no previstas en el diseño original.

En consecuencia, la evaluación estructural permite concluir que las tapas de concreto armado conservan una capacidad resistente compatible con las condiciones actuales de servicio; sin embargo, su seguridad depende de la estabilidad del conjunto estructural. El principal riesgo no corresponde a una falla propia de las tapas, sino a la pérdida del soporte proporcionado por los muros y la losa de fondo.





3.5.8. Interacción suelo-estructura

El comportamiento resistente del canal no depende únicamente de la capacidad mecánica del concreto armado, sino también de la interacción existente entre la estructura y el terreno que la soporta. Ambos componentes constituyen un sistema resistente único, en el cual las deformaciones del suelo modifican directamente la respuesta estructural del canal.

En condiciones normales, el terreno proporciona una reacción continua sobre la losa de fondo, distribuyendo uniformemente las cargas hidráulicas y estructurales. Esta reacción limita las deformaciones de la losa, reduce los momentos flectores y mantiene la estabilidad de los muros laterales.

Sin embargo, cuando se producen procesos de infiltración, lavado de finos o socavación, la interacción suelo-estructura cambia completamente. La pérdida progresiva del apoyo inferior provoca una redistribución de esfuerzos hacia las zonas aún apoyadas, incrementando las tensiones internas y generando deformaciones diferenciales.

Este fenómeno constituye el aspecto más importante identificado durante la evaluación técnica, debido a que la estructura fue diseñada para trabajar sobre un apoyo prácticamente continuo y no para comportarse como una viga suspendida entre apoyos aislados.

La modificación del esquema resistente produce las siguientes consecuencias:

- Incremento de momentos flectores;
- Aumento de esfuerzos cortantes;
- Aparición de fisuras por tracción;
- Redistribución de cargas hacia los muros;
- Asentamientos diferenciales;
- Pérdida gradual de rigidez estructural.



A medida que el proceso de socavación progresa, la estructura experimenta un mecanismo de deterioro acumulativo. Las deformaciones favorecen la apertura de fisuras, permitiendo un mayor ingreso de agua hacia el terreno, lo que incrementa nuevamente el lavado de partículas finas y acelera la pérdida de apoyo.

Por consiguiente, la interacción suelo-estructura representa el factor determinante del comportamiento resistente del canal y explica adecuadamente el mecanismo progresivo que condujo a la falla localizada.



3.5.9. Evaluación por escenarios

Con el propósito de establecer las condiciones más desfavorables para el comportamiento estructural del canal, se analizaron distintos escenarios de operación y deterioro, considerando la resistencia del concreto obtenida mediante esclerometría ($f_c = 110 \text{ kg/cm}^2$) y el estado actual de conservación de la estructura.

Escenario 1. Operación normal

El canal mantiene apoyo continuo sobre el terreno y conduce el caudal previsto de diseño. Bajo esta condición, la presión hidráulica, el peso propio y las cargas permanentes son transmitidos adecuadamente al suelo, sin evidenciar solicitaciones que comprometan la





estabilidad estructural.

Escenario 2. Canal vacío

Al eliminarse la presión hidrostática interior, predominan el empuje lateral del terreno y el peso propio de la estructura. Aunque se modifica el estado de esfuerzos, no se identifican condiciones que por sí mismas conduzcan a una falla estructural.

Escenario 3. Pérdida parcial de apoyo

Se produce socavación localizada bajo la losa de fondo. La estructura comienza a trabajar parcialmente suspendida, incrementándose significativamente los momentos flectores y las deformaciones. Este escenario representa el inicio del proceso de deterioro estructural.

Escenario 4. Crecimiento progresivo de la socavación

La erosión continúa removiendo el material de cimentación, aumentando la longitud sin apoyo. Como consecuencia, los esfuerzos internos crecen de forma no lineal, se desarrollan fisuras por flexión y disminuye progresivamente la rigidez del sistema estructural.

Escenario 5. Estado previo al colapso

La pérdida de apoyo alcanza una magnitud suficiente para comprometer simultáneamente la losa de fondo y los muros laterales. Se presentan asentamientos diferenciales, redistribución de esfuerzos y pérdida parcial de continuidad estructural, incrementándose significativamente la probabilidad de colapso localizado.



Del análisis comparativo de estos escenarios se concluye que el comportamiento del canal permanece satisfactorio mientras se conserve la continuidad del apoyo proporcionado por el terreno. El escenario crítico corresponde a la pérdida progresiva de dicho apoyo, circunstancia que modifica completamente el funcionamiento estructural originalmente previsto.

3.5.10. Síntesis del comportamiento estructural

La evaluación desarrollada permite establecer que el canal mantiene una configuración estructural característica de un sistema tipo cajón de concreto armado, integrado por muros laterales, losa de fondo y tapas superiores que trabajan conjuntamente para resistir las acciones hidráulicas, geotécnicas y estructurales.

Los resultados obtenidos mediante la inspección visual y la evaluación esclerométrica indican que, a pesar de la antigüedad aproximada de sesenta y cinco (65) años, la estructura conserva una resistencia residual suficiente para soportar las condiciones normales de operación, siempre que el terreno de cimentación mantenga su capacidad de apoyo.

La resistencia adoptada para el concreto ($f_c = 110 \text{ kg/cm}^2$) evidencia una disminución respecto a los valores originalmente considerados en estructuras nuevas; sin embargo, dicha reducción, por sí sola, no explica el colapso observado.

El análisis estructural demuestra que el factor determinante corresponde a la alteración de las condiciones de apoyo de la losa de fondo. La erosión y el lavado progresivo del terreno modificaron el esquema resistente de la estructura, generando un incremento considerable de los momentos flectores, deformaciones y esfuerzos internos.





En consecuencia, el mecanismo de falla no se originó por insuficiencia resistente del concreto frente a las cargas hidráulicas normales, sino por la pérdida de interacción entre la estructura y el terreno de cimentación. La formación de vacíos bajo la losa transformó progresivamente el sistema estructural originalmente apoyado en un elemento parcialmente suspendido, condición para la cual no fue concebido el diseño.

Por ello, desde el punto de vista técnico y estructural, la causa predominante del deterioro y del colapso localizado del canal corresponde a la socavación del terreno de apoyo y a la consecuente pérdida de interacción suelo-estructura, constituyendo este el mecanismo más consistente con la evidencia observada durante la inspección y con los resultados obtenidos en la presente evaluación. Este aspecto deberá servir de base para el diagnóstico estructural desarrollado en el siguiente capítulo (3.8 Diagnóstico Estructural).

3.6. VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD

La estabilidad estructural del canal fue evaluada considerando el comportamiento conjunto de la losa de fondo, los muros laterales, las tapas de concreto armado y el terreno de cimentación, debido a que estos elementos conforman un sistema estructural integrado cuyo funcionamiento depende de la interacción permanente entre la estructura y el suelo.

En condiciones normales de servicio, el canal trabaja como una estructura tipo cajón de concreto armado, donde la losa de fondo transmite las cargas verticales al terreno, mientras que los muros resisten los empujes laterales del agua y del suelo. Las tapas superiores proporcionan confinamiento transversal, incrementando la rigidez del conjunto y limitando las deformaciones de los muros.

La evaluación estructural desarrollada en los capítulos precedentes demuestra que las acciones hidráulicas producidas por el agua conducida generan esfuerzos compatibles con la capacidad resistente residual del concreto, adoptándose para el presente estudio una resistencia conservadora de $f_c = 110 \text{ kg/cm}^2$, obtenida mediante evaluación esclerométrica. Asimismo, las verificaciones efectuadas indican que los esfuerzos de flexión y cortante originados por las cargas normales de operación no constituyen, por sí solos, una condición suficiente para producir el colapso de la estructura.

No obstante, la estabilidad del canal depende de manera decisiva de la existencia de un apoyo continuo y uniforme bajo la losa de fondo. La remoción progresiva del terreno ocasionada por procesos de infiltración, erosión y lavado de partículas finas modifica completamente el esquema resistente inicialmente previsto, eliminando la reacción del suelo en determinados sectores y obligando a la losa a trabajar como un elemento parcialmente suspendido.

Esta pérdida de apoyo genera una redistribución de esfuerzos hacia las zonas que aún conservan contacto con el terreno, incrementando los momentos flectores, los esfuerzos cortantes y las deformaciones. Como consecuencia, los muros laterales experimentan asentamientos diferenciales y las tapas de concreto comienzan a participar en un esquema resistente distinto al originalmente considerado en el diseño.

Debe señalarse que la estabilidad global de una estructura de este tipo no depende exclusivamente de la resistencia del concreto, sino de la permanencia del equilibrio entre la estructura y el terreno de cimentación. Cuando dicho equilibrio se altera, la estructura deja de comportarse como un sistema apoyado continuamente y pasa a desarrollar mecanismos de deformación progresiva que reducen considerablemente sus márgenes de seguridad.





Desde el punto de vista de la ingeniería estructural, la condición crítica identificada corresponde a la pérdida de estabilidad por falla del terreno de apoyo y no a una insuficiencia resistente intrínseca del concreto armado. En consecuencia, la estabilidad del canal puede considerarse adecuada únicamente mientras se mantenga la continuidad del apoyo inferior; una vez iniciados los procesos de socavación, el riesgo de falla aumenta progresivamente conforme crece la longitud sin soporte.

Por lo expuesto, se concluye que el canal conservaba condiciones estructurales compatibles con su operación antes del deterioro del terreno de cimentación. La pérdida de estabilidad observada constituye la consecuencia directa de la alteración de las condiciones de apoyo de la estructura y no del agotamiento de la capacidad resistente de sus elementos de concreto armado.

3.7. IDENTIFICACIÓN DE MECANISMOS DE FALLA

Con base en la inspección técnica, la evaluación estructural y el análisis del comportamiento resistente desarrollado en el presente informe, se identifican los mecanismos que explican de manera coherente el deterioro progresivo y el colapso localizado del canal.

El primer mecanismo corresponde a la infiltración de agua a través de fisuras, juntas o discontinuidades existentes en la estructura. Aunque estas filtraciones pueden ser inicialmente de pequeña magnitud, su persistencia favorece el ingreso continuo de agua hacia el terreno de cimentación.

Como consecuencia de este proceso se produce el lavado progresivo de partículas finas, reduciendo la densidad del suelo y originando la formación de vacíos bajo la losa de fondo. Este fenómeno, conocido como erosión interna o piping, disminuye gradualmente la capacidad del terreno para proporcionar una reacción uniforme a la estructura.

La pérdida del apoyo inferior constituye el siguiente mecanismo de falla. Conforme aumenta la longitud del vacío, la losa deja de trabajar apoyada sobre el terreno y comienza a comportarse como una placa suspendida. Este cambio modifica completamente el esquema resistente para el cual fue concebido el canal.

El incremento de la luz libre provoca un aumento acelerado de los momentos flectores y de los esfuerzos cortantes. Debido a que el momento es proporcional al cuadrado de la longitud sin apoyo, pequeñas variaciones en la extensión de la socavación generan incrementos significativos en las solicitaciones estructurales.

Al superarse la resistencia a tracción del concreto aparecen fisuras por flexión, reduciéndose la rigidez del elemento. Estas fisuras facilitan un mayor ingreso de agua al terreno, acelerando nuevamente el proceso de erosión y generando un ciclo continuo de deterioro.

Posteriormente, los asentamientos diferenciales afectan la continuidad entre la losa y los muros laterales. La redistribución de esfuerzos provoca deformaciones adicionales en las tapas superiores, modificando el comportamiento global del sistema estructural.

Finalmente, cuando la longitud sin apoyo alcanza una dimensión crítica, la capacidad resistente remanente resulta insuficiente para equilibrar las cargas actuantes, produciéndose el colapso localizado del canal.





Desde el punto de vista técnico, el mecanismo de falla puede resumirse en la siguiente secuencia:

INFILTRACIÓN DE AGUA → LAVADO DE FINOS → FORMACIÓN DE VACÍOS → PÉRDIDA DE APOYO DE LA LOSA → INCREMENTO DE MOMENTOS FLECTORES → FISURACIÓN → ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES → PÉRDIDA DE CONTINUIDAD ESTRUCTURAL → COLAPSO LOCALIZADO.

Debe resaltarse que este mecanismo corresponde a una falla progresiva, desarrollada durante un periodo prolongado, y no a un evento instantáneo asociado únicamente a una sobrecarga hidráulica. La evidencia recopilada durante la evaluación resulta consistente con este modelo de deterioro.

3.8. DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL

Como resultado de la evaluación efectuada, se concluye que la estructura del canal presenta un estado de conservación condicionado principalmente por el deterioro del terreno de cimentación y no por una pérdida generalizada de la capacidad resistente del concreto armado.

Los resultados obtenidos mediante la evaluación esclerométrica permitieron adoptar una resistencia conservadora de $f'_c = 110 \text{ kg/cm}^2$, valor que representa la condición más desfavorable de los sectores inspeccionados. Si bien dicha resistencia es inferior a la esperada para estructuras de concreto nuevas, los análisis desarrollados demuestran que continúa siendo suficiente para resistir las cargas ordinarias de operación, siempre que exista un adecuado apoyo del terreno.

La inspección visual tampoco evidenció un patrón generalizado de fallas estructurales atribuibles al agotamiento del concreto, tales como aplastamientos, pandeos, desplazamientos importantes de los muros o pérdida de estabilidad por compresión. Las manifestaciones observadas corresponden principalmente a procesos de envejecimiento, desgaste superficial y deterioro propio de una infraestructura con aproximadamente sesenta y cinco años de servicio.

En contraste, la evidencia técnica indica que el fenómeno predominante corresponde a la alteración progresiva de las condiciones geotécnicas bajo la estructura. La infiltración de agua y el consecuente lavado de partículas finas originaron la pérdida del apoyo inferior de la losa de fondo, modificando el comportamiento resistente del conjunto estructural.

Desde el punto de vista de la mecánica estructural, este cambio de condición resulta determinante, ya que la estructura deja de transmitir directamente las cargas al terreno y comienza a resistirlas mediante flexión. En consecuencia, aumentan considerablemente las deformaciones, se desarrollan fisuras, se incrementan las filtraciones y se acelera el proceso de deterioro.

Por ello, el diagnóstico permite establecer que el mecanismo predominante de daño corresponde a una falla por pérdida de interacción suelo-estructura, inducida por procesos de infiltración, erosión y socavación del terreno de cimentación.

En términos de ingeniería forense, la secuencia de daño identificada es plenamente compatible con un proceso de deterioro progresivo, en el cual la remoción gradual del terreno produjo un incremento continuo de las solicitaciones estructurales hasta alcanzar el colapso localizado del canal.



En consecuencia, la causa técnica predominante del colapso no corresponde a una insuficiencia del diseño estructural ni a una falla por sobrecarga hidráulica, sino a la pérdida progresiva del apoyo proporcionado por el terreno de cimentación. La alteración de esta interacción modificó el esquema resistente original de la estructura, generando esfuerzos y deformaciones para los cuales el canal no fue concebido.

Por tanto, desde el punto de vista técnico y estructural, el diagnóstico final establece que el colapso observado es consecuencia de un proceso de socavación y erosión del terreno de apoyo, agravado por la infiltración continua de agua y la pérdida de continuidad en la interacción suelo-estructura. Este mecanismo constituye la explicación más consistente con la evidencia de campo, el estado de conservación del concreto, los resultados de la evaluación esclerométrica y los principios de la mecánica estructural aplicables a este tipo de obras hidráulicas.

3.9. SIMULACION DE POSIBLES COLAPSOS EN LOS PUNTOS CRITICOS



Figura 3.9.1 Punto Crítico PC-01. Escenario probable de falla por infiltración, erosión interna y desprendimiento de rocas del talud, que podrían provocar la pérdida de apoyo, fisuración y eventual colapso del canal revestido.

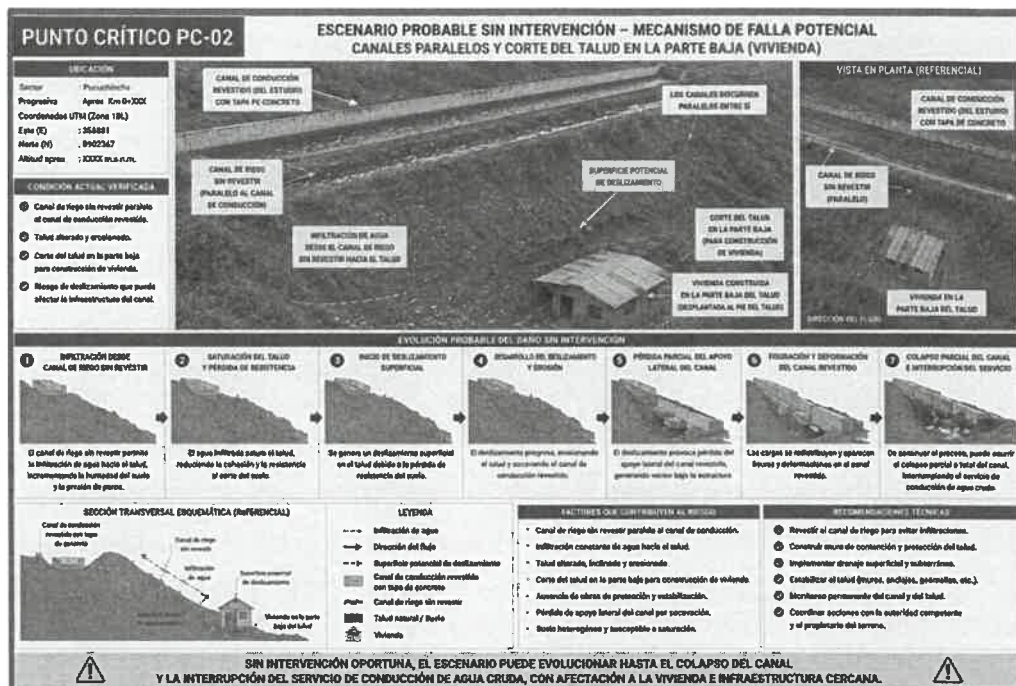


Figura 3.9.2. Punto Crítico PC-02. Escenario probable de falla por infiltración desde el canal de riego sin revestir y desestabilización del talud, que podrían generar deslizamientos y afectar la estabilidad del canal de conducción revestido.

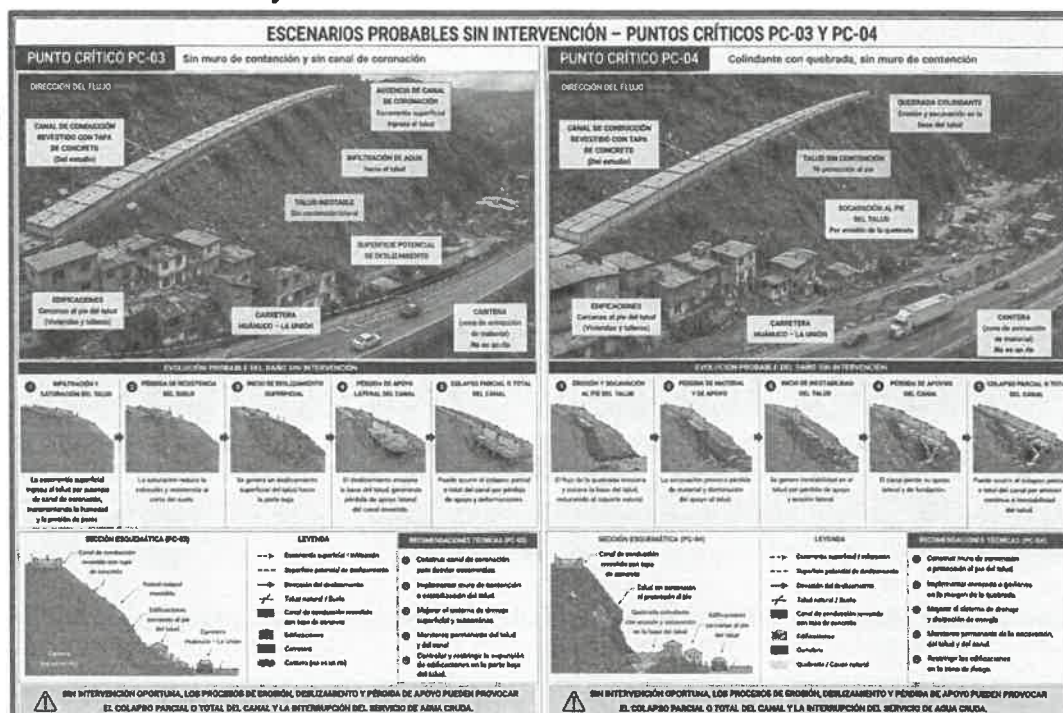


Figura 3.9.3 Punto Crítico PC-04. Escenario probable de falla por inestabilidad del talud y pérdida progresiva del soporte lateral, con riesgo de afectación estructural del canal de conducción revestido.

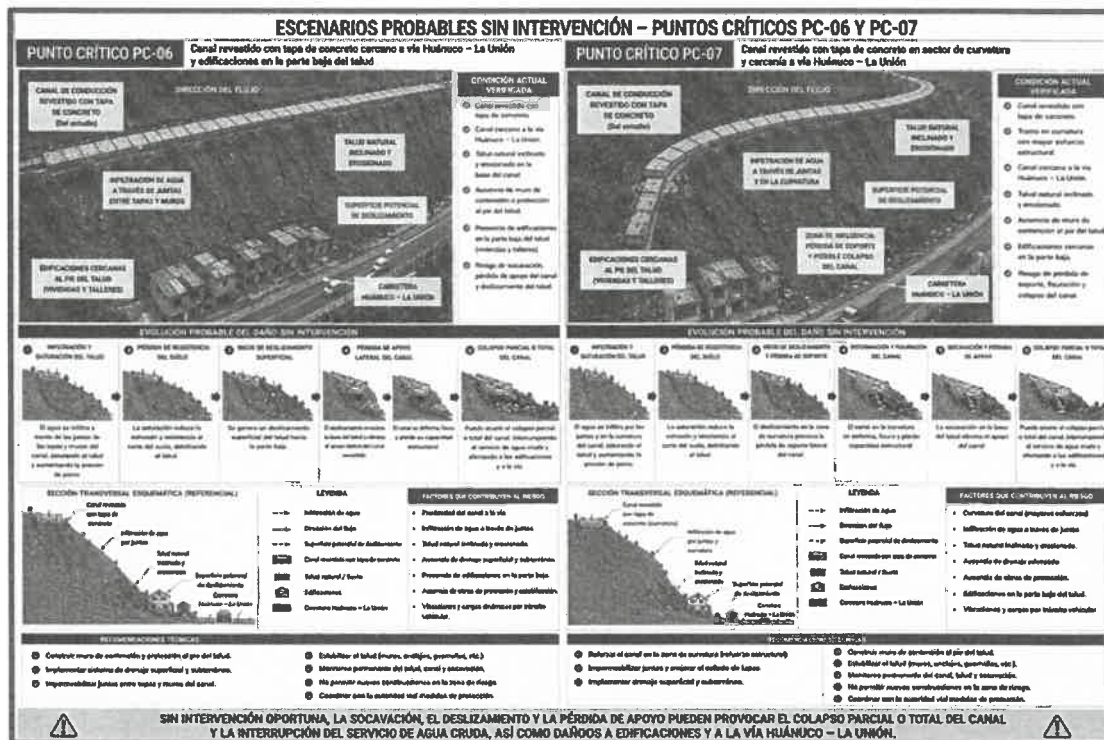


Figura 3.9.4 Punto Crítico PC-05. Escenario probable de falla por erosión, infiltración y pérdida de apoyo del canal, que podrían generar deformaciones y colapso parcial de la estructura.

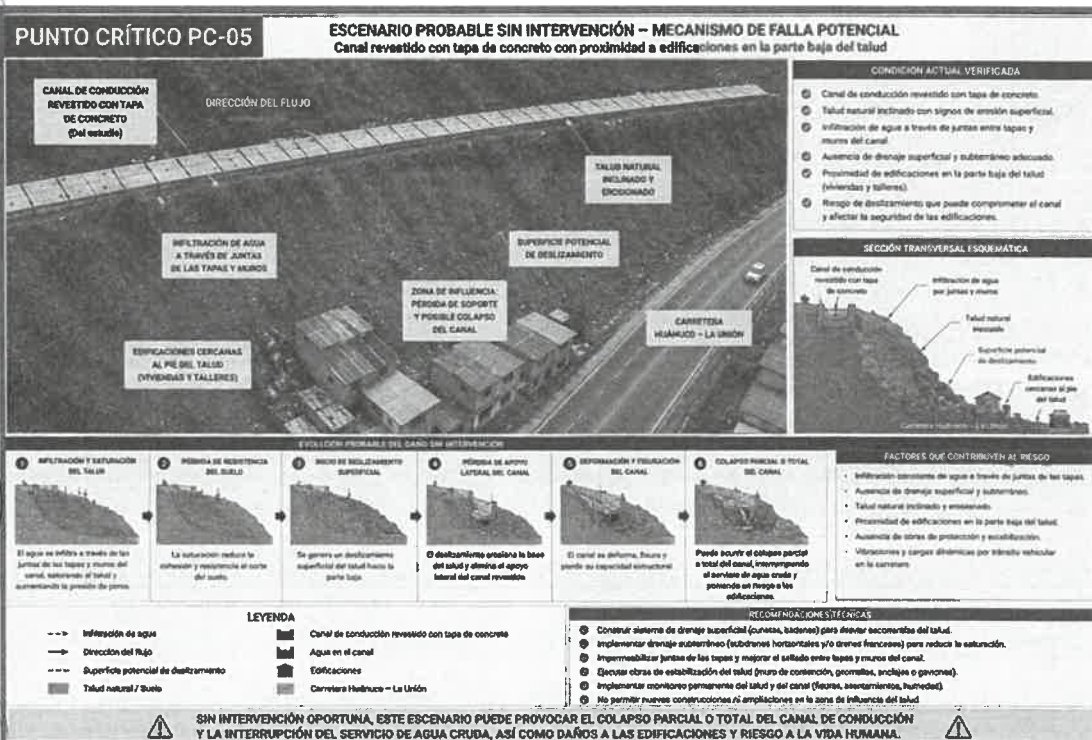


Figura 3.9.5. Punto Crítico PC-06 y 07. Escenario probable de falla por infiltración e inestabilidad del talud, con riesgo de deslizamientos que podrían afectar el canal de conducción revestido.

CAPÍTULO X





MODELAMIENTO Y VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL

4.5. CRITERIOS DE DISEÑO

El modelo estructural fue desarrollado considerando los criterios establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones, las normas ACI 318, ASTM, AISC e ISO aplicables a estructuras de concreto armado, estructuras metálicas y sistemas de conducción a presión.

Asimismo, se adoptaron los parámetros definidos en la memoria de cálculo de la solución temporal, entre ellos:

- Caudal crítico de diseño: 800 L/s.
- Caudal en sectores posteriores: 250 L/s.
- Presión de cálculo: 19 m.c.a.
- Luz máxima entre apoyos: 4.10 m.
- Altura promedio de columnas: 3.00 m.
- Concreto existente: $f'c = 110 \text{ kg/cm}^2$.
- Tubería HDPE PE100 DN710 SDR17.
- Conexiones obligatoriamente ubicadas sobre columnas y cunas metálicas.

Los análisis se desarrollan bajo hipótesis de comportamiento elástico lineal, suponiendo continuidad estructural entre los elementos y considerando que el escenario más desfavorable corresponde a la pérdida parcial del apoyo inferior ocasionada por procesos de erosión o socavación.

4.6. PARÁMETROS DE MODELAMIENTO

Los parámetros geométricos considerados provienen directamente del diseño de la solución temporal.

PARÁMETRO	VALOR
Caudal crítico	800 L/s
Luz máxima	4.10 m
Altura columnas	3.00 m
Diámetro exterior HDPE	710 mm
Espesor tubería	42.1 mm
Diámetro interior	625.8 mm

Las propiedades mecánicas consideradas fueron:

- Concreto existente: $f'c = 110 \text{ kg/cm}^2$.
- Concreto nuevo: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Acero ASTM A36.
- Acero ASTM A500.
- PE100 conforme ISO 4427.
- Soldadura AWS D1.1.
- Pernos ASTM F3125 y ASTM A193.

Estas propiedades fueron utilizadas para verificar la capacidad resistente de cada uno de los componentes del sistema estructural.

4.7. MODELAMIENTO ESPECIALIZADO

El modelamiento estructural se desarrolló mediante una representación analítica equivalente del canal existente de concreto armado y del sistema temporal de conducción





mediante tubería HDPE. El análisis tiene como finalidad determinar el comportamiento resistente de la estructura bajo condiciones normales de apoyo y evaluar la variación de los esfuerzos cuando se produce una pérdida progresiva del terreno situado debajo de la losa de fondo.

La geometría utilizada corresponde a las dimensiones verificadas en los planos del canal existente:

- Ancho interior libre: 0.90 m.
- Altura interior libre: 1.10 m.
- Espesor de los muros laterales: 0.10 m.
- Espesor de la losa de fondo: 0.15 m.
- Espesor de la tapa superior: 0.15 m.
- Ancho exterior total: 1.10 m.
- Altura exterior total: 1.40 m.

Asimismo, para el sistema temporal se consideraron los parámetros contenidos en la memoria de cálculo: caudal crítico de 800 L/s, carga hidráulica de 19 m.c.a., separación máxima entre apoyos de 4.10 m, altura promedio de columnas de 3.00 m y resistencia adoptada del concreto existente de $f'c = 110 \text{ kg/cm}^2$.

El modelamiento desarrollado corresponde a una evaluación analítica estructural. Para una simulación definitiva mediante SAP2000, MIDAS, ANSYS o un programa equivalente de elementos finitos se requerirá complementar la información disponible con la cuantía y disposición real del acero de refuerzo, el módulo de reacción del terreno, la extensión exacta de los vacíos y la topografía definitiva del sector.

4.7.2. Configuración estructural del canal



El canal existente se encuentra conformado por una sección cerrada rectangular de concreto armado, integrada por una losa de fondo, dos muros laterales y una tapa superior. Estos elementos trabajan conjuntamente como una estructura tipo cajón.

Las dimensiones exteriores son:

$$B = 0.90 + 2(0.10) = 1.10\text{m}$$

$$H = 1.10 + 0.15 + 0.15 = 1.40\text{m}$$

Por tanto, la sección exterior del canal queda definida por:

$$B \times H = 1.10\text{m} \times 1.40\text{m}$$



En condiciones normales, la losa de fondo se encuentra apoyada de forma continua sobre el terreno. En esta situación, las cargas gravitacionales e hidráulicas son transmitidas directamente hacia la cimentación, por lo que la flexión longitudinal de la estructura resulta reducida.



El comportamiento cambia cuando el material situado debajo de la losa es removido por infiltración, erosión, lavado de finos o socavación. La pérdida del apoyo transforma progresivamente el canal en un elemento suspendido entre los sectores que todavía conservan contacto con el terreno.





4.7.3. Propiedades mecánicas del concreto

Para el concreto existente se adoptó una resistencia a compresión de:

$$f'_c = 110 \text{ kg/cm}^2$$

equivalente a:

$$f'_c = 10.79 \text{ MPa}$$

Este valor corresponde al menor resultado obtenido mediante esclerometría y se adopta conservadoramente como resistencia de cálculo. La memoria señala que no se aplica una reducción adicional por antigüedad, debido a que el valor esclerométrico representa la condición actual del concreto.

El módulo de elasticidad se estimó mediante:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{10.79}$$

$$E_c \approx 15440 \text{ MPa}$$

Se adoptó además un coeficiente de Poisson de:

$$\nu = 0.20$$

Para el peso específico del concreto se consideró:

$$\gamma_c = 24.0 \text{ Kn/m}^3$$

4.7.4. Propiedades geométricas de la losa de fondo

La losa de fondo se modeló preliminarmente como una franja longitudinal de ancho igual al ancho exterior del canal:

$$b = 1.10 \text{ m}$$

y espesor:

$$h = 0.15 \text{ m}$$

La inercia bruta de la sección resulta:

$$I_g = bh^3/12$$

$$I_g = 1.10(0.15^3)/12$$

$$I_g = 3.094 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

El módulo resistente de la sección es:

$$S = (Bh^2)/6$$

$$S = 1.10(0.15^2)/6$$

$$S = 4.125 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$





Estos valores corresponden a la sección bruta no fisurada. Después del inicio de la fisuración, la rigidez efectiva disminuye y las deformaciones reales pueden resultar superiores a las obtenidas mediante el modelo elástico inicial.

4.7.5. Determinación de las cargas del canal

a) Peso del agua

El área hidráulica interior del canal lleno es:

$$A_w = 0.90(1.10)$$

$$A_w = 0.99\text{m}^2$$

El peso del agua por metro longitudinal resulta:

$$W_w = \gamma_w * A_w$$

$$W_w = 9.81(0.99)$$

$$W_w = 9.71\text{Kn/m}$$

b) Peso propio de la losa de fondo

$$W_{lf} = 24.0(1.10)(0.15)$$

$$W_{lf} = 3.96\text{Kn/m}$$

c) Peso propio de la tapa superior

$$W_t = 24.0(1.10)*(0.15)$$

$$W_t = 3.96\text{Kn/m}$$

d) Peso propio de los muros laterales

Para dos muros de 0.10 m de espesor y 1.10 m de altura:

$$W_m = 2(24.0)(0.10)(1.10)$$

$$W_m = 5.28\text{Kn/m}$$

e) Carga longitudinal total

La carga gravitacional total del canal lleno se obtiene mediante:

$$w = W_w + W_{lf} + W_t + W_m$$

$$w = 9.71 + 3.96 + 3.96 + 5.28$$

$$w = 22.91\text{Kn/m}$$

Esta carga incluye el peso completo del cajón de concreto armado y el agua contenida. No incluye sobrecargas exteriores, sedimentos, cargas de mantenimiento ni efectos sísmicos, por lo que representa el caso gravitacional básico.

4.7.6. Condiciones de modelamiento

Con la finalidad de reproducir el proceso de pérdida progresiva del apoyo inferior, se analizaron las siguientes condiciones:

- **Escenario E-0: apoyo continuo**

La losa mantiene contacto uniforme con el terreno. Las cargas se transmiten directamente hacia la cimentación y la demanda de flexión longitudinal es reducida.





- **Escenario E-1: pérdida de apoyo de 0.50 m**
Se forma un vacío inicial bajo la losa. La estructura conserva capacidad suficiente para redistribuir las cargas hacia los sectores apoyados.
- **Escenario E-2: pérdida de apoyo de 1.00 m**
La losa comienza a trabajar como un elemento parcialmente suspendido. Se incrementan los momentos flectores y el cortante en los extremos del vacío.
- **Escenario E-3: pérdida de apoyo de 1.50 m**
La demanda se aproxima al nivel de inicio de fisuración de la sección de concreto.
- **Escenario E-4: pérdida de apoyo de 2.00 m**
El momento actuante supera el momento estimado de fisuración de la losa de fondo.
- **Escenario E-5: pérdida de apoyo de 2.50 m**
Se presenta una condición de fisuración significativa y reducción de la rigidez efectiva del sistema.
- **Escenario E-6: pérdida de apoyo de 3.00 m**
Representa una condición crítica, con demanda de flexión considerablemente superior al momento de fisuración y posibilidad de propagación del daño hacia los muros y la tapa superior.

4.7.7. Resultados del análisis por pérdida de apoyo

Para la evaluación preliminar, el tramo sin soporte se modeló conservadoramente como un elemento simplemente apoyado entre los extremos que todavía conservan contacto con el terreno.

El momento y el cortante máximo se determinaron mediante:

$$M_{\max} = Wl^2 / 8$$

$$V_{\max} = Wl / 2$$

considerando:

$$w = 22.91 \text{ Kn/m}$$

Los resultados obtenidos son:

LONGITUD SIN APOYO	MOMENTO MÁXIMO	CORTANTE MÁXIMO
0.50 m	0.72 Kn·m	5.73 Kn
1.00 m	2.86 Kn·m	11.46 Kn
1.50 m	6.44 Kn·m	17.18 Kn
2.00 m	11.46 Kn·m	22.91 Kn
2.50 m	17.90 Kn·m	28.64 Kn
3.00 m	25.77 Kn·m	34.37 Kn

Los resultados muestran que el incremento de la demanda no es lineal. El momento varía con el cuadrado de la longitud sin apoyo. Por ello, cuando el vacío pasa de 1.00 m a 3.00 m, el momento aumenta de 2.86 Kn·m a 25.77 Kn·m, es decir, aproximadamente nueve veces.

4.7.8. Determinación del momento de fisuración

La resistencia aproximada a tracción por flexión del concreto se estimó mediante:

$$f_r = 0.62 \sqrt{f_c'}$$



www.sedahuanuco.com



Pasaje Ramirez N°140- Hco.



062513250



@sedahuanuco.com



$$f_r = 0.62 \sqrt{10.79}$$

$$f_r \approx 2.04 \text{ Mpa}$$

El momento de fisuración resulta:

$$M_{cr} = f_r \cdot S$$

$$M_{cr} = 2.04 \times 10^6 (4.125 \times 10^{-3})$$

$$M_{cr} \approx 8.40 \text{ Kn}\cdot\text{m}$$

La comparación entre la demanda y el momento de fisuración es la siguiente:

Longitud sin apoyo	Momento actuante	Condición preliminar
1.00 m	2.86 Kn·m	Inferior a M_{cr}
1.50 m	6.44 Kn·m	Próximo al inicio de fisuración
2.00 m	11.46 Kn·m	Superior a M_{cr}
2.50 m	17.90 Kn·m	Fisuración significativa probable
3.00 m	25.77 Kn·m	Condición crítica

La longitud teórica para alcanzar el momento de fisuración se obtiene mediante:

$$L_{cr} = \sqrt{(8M_{cr} / w)}$$

$$L_{cr} = \sqrt{8(8.40) / 22.91}$$

$$L_{cr} \approx 1.71 \text{ m}$$

Este valor representa la longitud aproximada de pérdida de apoyo a partir de la cual puede iniciarse la fisuración de la sección bruta de concreto. No corresponde necesariamente a la longitud exacta de colapso, debido a que la capacidad posterior depende de la cuantía, distribución, anclaje y estado de conservación del acero de refuerzo existente.

4.7.9. Interpretación del comportamiento estructural

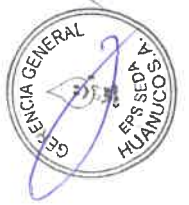
El análisis indica que el canal conserva un comportamiento estable mientras la losa de fondo mantiene apoyo continuo. En dicha condición, la estructura trabaja como un cajón de concreto armado apoyado sobre el terreno y las cargas verticales no generan flexión longitudinal significativa.

La formación de un vacío inicial puede no producir daños visibles inmediatos, debido a que la continuidad de la losa, los muros y la tapa permite redistribuir temporalmente las cargas. Sin embargo, cuando la longitud sin apoyo se aproxima a 1.50 m, el momento actuante se acerca al nivel de fisuración.

Al alcanzar aproximadamente 1.71 m, puede iniciarse la fisuración de la losa de fondo. Cuando la socavación alcanza 2.00 m, el momento actuante supera el momento de fisuración estimado. Para vacíos de 2.50 m y 3.00 m, la demanda aumenta de manera significativa, disminuye la rigidez de la estructura y se incrementan las deformaciones.

Debe considerarse que el canal trabaja como una sección completa y no exclusivamente como una losa aislada. Los muros y la tapa superior aportan rigidez longitudinal y pueden redistribuir parte de las cargas. No obstante, esta colaboración depende de la continuidad efectiva del acero, el estado de las juntas, la integridad de las conexiones muro-losa y la ausencia de fisuras previas.

Una vez iniciada la fisuración de la losa inferior, las deformaciones facilitan la apertura de juntas y el ingreso adicional de agua hacia el terreno. Esto incrementa el lavado de finos,





amplía el vacío y produce una retroalimentación progresiva del daño:

**INFILTRACION → LAVADO DE FINOS → PERDIDA DE APOYO → FLEXION → FISURACION
→ MAYOR INFILTRACION**

Por tanto, la pérdida de apoyo no constituye únicamente una consecuencia del deterioro, sino el factor que modifica el esquema resistente y desencadena el proceso de colapso.

4.7.10. Modelamiento del sistema temporal de tubería HDPE

La tubería temporal fue modelada como una viga simplemente apoyada sobre cunas metálicas, con una separación máxima de:

$$L=4.10\text{m}$$

La memoria de cálculo adopta una carga distribuida de:

$$w=4.30\text{Kn/m}$$

que incluye el peso propio de la tubería, el agua contenida y una consideración adicional por accesorios.

El momento máximo es:

$$M_{\max} = 4.30(4.10)^2/8$$

$$M_{\max} = 9.04\text{Kn}\cdot\text{m}$$

El cortante máximo es:

$$V_{\max} = 4.30(4.10) / 2$$

$$V_{\max} = 8.81\text{Kn}$$

Para un módulo resistente de:

$$Z = 0.013931\text{m}^3$$

el esfuerzo de flexión resulta:

$$\sigma_b = M / Z$$

$$\sigma_b \approx 0.65\text{Mpa}$$

La flecha calculada es:

Corto plazo: 4.0 mm, equivalente a L/1025.

Largo plazo: 12.8 mm, equivalente a L/320.

La memoria considera aceptable la deformación a largo plazo para una solución temporal, siempre que se mantenga la estabilidad de los apoyos y se controle su asentamiento.

4.7.11. Modelamiento de columnas metálicas

Las columnas fueron idealizadas como elementos verticales tipo barra con las siguientes características:

$$H=3.00\text{m}$$

$$\text{Seccion} = \text{HSS } 200 \times 200 \times 6\text{mm}$$





$P=30\text{Kn}$

Se consideró adicionalmente una acción horizontal preliminar de 18 Kn aplicada en la parte superior.

Los resultados consignados en la memoria son:

PROPIEDAD	RESULTADO
Área	4,656 mm ²
Inercia	29.23×10 ⁶ mm ⁴
Radio de giro	79.2 mm
Relación KL/r	37.9
Resistencia crítica Fcr	286.2 Mpa
ϕP_n	1,199 Kn
ϕM_n	82.9 Kn·m
Relación de interacción	0.60

La verificación combinada resulta:

$$(P/\phi P_n) + 8M/9\phi M_n = 0.60 < 1.00$$

Por consiguiente, la columna cumple preliminarmente para las acciones consideradas. No obstante, se recomienda su arriostramiento debido a la altura del elemento y a la incertidumbre asociada a las condiciones del terreno.

4.7.12. Modelamiento de cunas, placas y pernos

Para las cunas metálicas se consideró:

- Longitud de arco de contacto: 0.620 m.
- Área aproximada de contacto: 0.372 m².
- Reacción adoptada: 30 Kn.
- Presión media: 80.7 kPa.

La presión resulta reducida; por ello, el espesor de 12 mm se encuentra gobernado principalmente por la rigidez local, la soldabilidad, la durabilidad y la distribución uniforme de la reacción sobre la tubería.

La estructura metálica de transición presenta:

- Placa frontal: 1.10 × 1.10 m, espesor 16 mm.
- Placas laterales: 1.10 × 1.10 m, espesor 12 mm.
- Placa superior: 1.10 × 1.00 m, espesor 12 mm.
- Cuna semicircular: espesor 12 mm.
- Neopreno: espesor 10 mm.

No se considera una placa inferior, debido a que la losa de fondo existente funciona como base del conjunto.

Para los seis pernos pasantes M24 se obtuvo una capacidad preliminar al corte de 134.4 Kn por perno, superior a la demanda adoptada de 25 Kn por perno. La condición crítica no corresponde a la resistencia del acero, sino a la integridad del concreto existente, la ubicación de las armaduras y el control de fisuración durante el apriete.





4.7.13. Resumen de resultados

COMPONENTE O ESCENARIO	RESULTADO PRINCIPAL	EVALUACIÓN
Canal con apoyo continuo	Flexión long. Reducida	Estable
Vacío de 1.00 m	$M=2.86 \text{ Kn}\cdot\text{Mm}$	Inferior a fisuración
Vacío de 1.50 m	$M=6.44 \text{ Kn}\cdot\text{Mm}$	Próximo a fisuración
Longitud crítica estimada	$L_{cr}=1.71 \text{ m}$	Inicio probable de fisuración
Vacío de 2.00 m	$M=11.46 \text{ Kn}\cdot\text{Mm}$	Supera M_{cr}
Vacío de 2.50 m	$M=17.90 \text{ Kn}\cdot\text{Mm}$	Fisuración significativa
Vacío de 3.00 m	$M=25.77 \text{ Kn}\cdot\text{Mm}$	Condición crítica
Tubería HDPE	Flecha a largo plazo 12.8 mm	Aceptable con apoyos estables
Columna HSS	Interacción 0.60	Cumple preliminarmente
Cuna metálica	Presión 80.7 kPa	Adecuada
Pernos M24	$134.4 \text{ Kn} > 25 \text{ Kn}$	Cumple el acero
Dado preliminar	Presión 83.3 kPa	Verificar terreno

Conclusión del modelamiento especializado

El modelamiento efectuado demuestra que el canal de concreto armado presenta un comportamiento estable mientras la losa de fondo conserva un apoyo continuo y uniforme sobre el terreno. Bajo dicha condición, el peso propio de la estructura y del agua es transmitido directamente hacia la cimentación y no se generan esfuerzos longitudinales suficientes para explicar por sí solos el colapso observado.

La condición estructural cambia sustancialmente cuando se produce la pérdida del apoyo inferior. La carga total estimada del canal lleno asciende a 22.91 Kn/m, la cual debe ser soportada longitudinalmente por la sección cuando se forman vacíos bajo la losa.

El análisis establece que el momento de fisuración puede alcanzarse aproximadamente cuando la longitud sin apoyo llega a 1.71 m. Para una socavación de 2.00 m, la demanda supera el momento estimado de fisuración; mientras que para longitudes de 2.50 m y 3.00 m se desarrollan condiciones de fisuración significativa, reducción de rigidez y posible propagación del daño hacia los muros laterales y la tapa superior.

Por consiguiente, el resultado del modelamiento confirma que el mecanismo predominante del colapso corresponde a la pérdida progresiva del apoyo del terreno por infiltración, erosión, lavado de finos y socavación. Este fenómeno modificó el esquema resistente original y transformó el canal, inicialmente apoyado de manera continua, en un elemento parcialmente suspendido sometido a flexión longitudinal.

La solución temporal mediante tubería HDPE DN710 presenta resultados preliminares satisfactorios. Su validez queda condicionada a mantener una separación máxima de 4.10 m entre apoyos, localizar todas las conexiones directamente sobre columnas y cunas, ejecutar los dados sobre terreno competente y controlar cualquier proceso activo de asentamiento o socavación.

4.8. RESULTADOS DEL ANÁLISIS

El análisis estructural desarrollado permitió evaluar el comportamiento del canal existente de concreto armado y de la solución temporal propuesta mediante tubería HDPE PE100





DN710 SDR17, considerando las condiciones geométricas verificadas en campo, las propiedades mecánicas de los materiales y las acciones hidráulicas correspondientes al escenario más desfavorable de operación.

Los resultados obtenidos evidencian diferencias importantes entre el comportamiento de la estructura cuando conserva un apoyo continuo sobre el terreno y aquel que desarrolla al producirse procesos de infiltración, erosión y socavación bajo la losa de fondo.

En condiciones normales de funcionamiento, el canal trabaja como una estructura monolítica tipo cajón, integrada por la losa de fondo, los muros laterales y la tapa superior. Bajo esta configuración, las cargas gravitacionales e hidráulicas son transmitidas directamente al terreno de cimentación, manteniendo bajos niveles de deformación y esfuerzos longitudinales.

Sin embargo, el análisis demuestra que la pérdida progresiva del apoyo inferior modifica completamente este comportamiento estructural, obligando a la losa de fondo a trabajar como un elemento parcialmente suspendido entre los sectores que aún conservan apoyo. Como consecuencia, los esfuerzos internos aumentan de manera acelerada conforme se incrementa la longitud socavada.

4.8.2. Resultados del análisis del canal existente

A partir de la geometría verificada del canal, se determinó una carga gravitacional total aproximada de:

$$w=22.91\text{Kn/m}$$

Valor que comprende el peso propio de la losa de fondo, los muros laterales, la tapa superior y el agua contenida en el interior del canal.

Utilizando esta carga como condición de análisis, se evaluó el comportamiento de la losa para diferentes longitudes de pérdida de apoyo.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.1.

LONGITUD SIN APOYO (M)	MOMENTO MÁXIMO (KN·M)	CORTANTE MÁXIMO (KN)	ESTADO ESTRUCTURAL
0.50	0.72	5.73	Comportamiento estable
1.00	2.86	11.46	Sin fisuración
1.50	6.44	17.18	Próximo al inicio de fisuración
2.00	11.46	22.91	Se supera el momento de fisuración
2.50	17.90	28.64	Fisuración significativa
3.00	25.77	34.37	Condición crítica

Los resultados muestran que el incremento de los momentos no es lineal, sino cuadrático respecto de la longitud sin apoyo. Esto significa que pequeñas variaciones en la longitud socavada producen incrementos significativos en las solicitaciones internas de la estructura.





4.8.3. Momento de fisuración

La resistencia a flexión de la sección fue evaluada mediante la determinación del momento de fisuración del concreto.

Para el concreto existente se obtuvo:

$$M_{cr} = 8.40 \text{ Kn}\cdot\text{m}$$

Comparando este valor con los momentos obtenidos mediante el modelamiento, se observa que:

- Hasta una pérdida de apoyo aproximada de 1.50 m, la estructura conserva un margen razonable de seguridad.
- Entre 1.50 m y 2.00 m, el momento actuante alcanza el valor correspondiente al inicio de fisuración.
- Para longitudes superiores a 2.00 m, la demanda estructural supera la capacidad resistente de la sección bruta, iniciándose un proceso progresivo de fisuración.

La longitud crítica obtenida mediante el análisis corresponde aproximadamente a:

$$L_{cr} = 1.71 \text{ m}$$

Este valor representa el inicio probable de fisuración de la losa de fondo y constituye un indicador técnico del punto a partir del cual la estructura comienza a perder rigidez.

4.8.4. Comportamiento estructural de la losa

El análisis demuestra que la losa de fondo presenta un comportamiento estable mientras mantiene contacto continuo con el terreno.

Una vez iniciada la pérdida del apoyo inferior, el comportamiento resistente cambia de manera significativa debido a que la losa comienza a soportar mediante flexión longitudinal una carga aproximada de 22.91 Kn por metro lineal, correspondiente al peso del agua y de la propia estructura.

Este cambio de condición provoca:

- Incremento de momentos flectores;
- Aumento de esfuerzos cortantes;
- Aparición de tensiones de tracción en la cara inferior de la losa;
- Disminución progresiva de la rigidez del sistema;
- Incremento de deformaciones.

Por tanto, la losa deja de comportarse como un elemento apoyado sobre el terreno y pasa a funcionar como una viga suspendida entre los sectores que aún conservan apoyo.

4.8.5. Comportamiento del sistema tipo cajón

Debe resaltarse que el canal no trabaja únicamente mediante la losa de fondo.

La continuidad estructural existente entre la losa, los muros y la tapa superior permite que el conjunto funcione como un cajón de concreto armado, redistribuyendo parte de los esfuerzos





longitudinales.

Esta característica proporciona una reserva de rigidez que explica por qué una pérdida inicial de apoyo no genera inmediatamente el colapso.

No obstante, conforme la socavación aumenta y aparecen fisuras en la losa inferior, la continuidad estructural comienza a deteriorarse.

En consecuencia:

- Disminuye la capacidad de redistribución de esfuerzos;
- Aumentan las deformaciones;
- Se incrementan las tensiones en la unión muro-losa;
- Los muros comienzan a participar de manera más intensa en la transmisión de cargas.

Este comportamiento resulta consistente con el mecanismo progresivo identificado durante la inspección.

4.8.6. Resultados del sistema temporal de conducción

La memoria de cálculo de la conducción temporal indica que la tubería HDPE DN710 cumple satisfactoriamente con las verificaciones hidráulicas y estructurales consideradas para el escenario de diseño.

Para un caudal de 800 L/s se obtuvieron los siguientes resultados principales:

PARÁMETRO	RESULTADO
Velocidad del flujo	2.60 m/s
Presión de trabajo	19.0 m.c.a.
Empuje estático	57.3 Kn
Empuje de diseño	90.0 Kn
Reacción por apoyo	30.0 Kn
Flecha a corto plazo	4.0 mm
Flecha a largo plazo	12.8 mm

Los valores obtenidos se encuentran dentro de rangos aceptables para una conducción temporal, siempre que se respeten las condiciones establecidas en la memoria de cálculo respecto a la separación entre apoyos, la ubicación de las uniones y el control de asentamientos.

4.8.7. Resultados del análisis de columnas metálicas

El análisis de las columnas HSS 200 × 200 × 6 mm demuestra que la sección propuesta posee capacidad suficiente para resistir las acciones verticales y horizontales consideradas en el diseño.

La memoria de cálculo determina una relación de interacción igual a:

$$0.60 < 1.00$$

Lo que indica que la columna trabaja dentro de los límites admisibles de resistencia.





Asimismo, las verificaciones efectuadas sobre cunas metálicas, placas de transición y pernos pasantes muestran que estos elementos presentan capacidades resistentes superiores a las solicitaciones de diseño previstas.

4.8.8. *Evaluación comparativa de escenarios*

La comparación entre los diferentes escenarios analizados evidencia una evolución progresiva del comportamiento estructural.

En la condición inicial, con apoyo continuo, la estructura presenta un funcionamiento adecuado y las solicitaciones permanecen dentro de la capacidad resistente del concreto.

Con el inicio de la socavación aparecen incrementos graduales de los esfuerzos internos, aunque la continuidad estructural del cajón permite mantener la estabilidad general.

Cuando la pérdida de apoyo alcanza aproximadamente 1.71 m, se inicia la fisuración de la losa inferior. A partir de este punto la rigidez disminuye progresivamente y las deformaciones aumentan de manera acelerada.

Finalmente, cuando el vacío supera aproximadamente 2.50 m, el incremento de los momentos flectores, la pérdida de rigidez y la redistribución de esfuerzos generan condiciones compatibles con un proceso de colapso localizado.

4.8.9. *Interpretación de los resultados*

Los resultados obtenidos permiten concluir que la presión hidráulica y el peso propio del canal no constituyen, por sí solos, acciones suficientes para explicar el colapso observado.

El análisis demuestra que el factor determinante corresponde a la pérdida progresiva del apoyo proporcionado por el terreno de cimentación.

La socavación modifica el esquema resistente originalmente previsto, obligando a la losa a trabajar como un elemento suspendido y generando incrementos importantes de flexión y deformación.

Este comportamiento explica adecuadamente la secuencia observada durante la inspección:

- Infiltración de agua;
- Lavado de partículas finas;
- Formación de vacíos;
- Pérdida de apoyo inferior;
- Incremento de momentos flectores;
- Fisuración de la losa;
- Redistribución de esfuerzos hacia los muros;
- Pérdida de continuidad estructural;
- Colapso localizado del canal.





CAPÍTULO XI

DISEÑO DEL SISTEMA PROVISIONAL

El presente capítulo desarrolla el diseño del sistema provisional destinado a restituir temporalmente la continuidad de la conducción de agua cruda en los sectores donde el canal existente presenta colapso, pérdida de estabilidad o condiciones de vulnerabilidad estructural.

La solución planteada consiste en desviar el flujo mediante una tubería HDPE PE100 DN 710 SDR 17, instalada sobre apoyos metálicos independientes y conectada al canal existente mediante estructuras de transición ubicadas en los extremos del tramo afectado.

El sistema provisional ha sido concebido como una intervención temporal de emergencia. En consecuencia, su finalidad no es sustituir de manera definitiva al canal existente, sino mantener la continuidad del servicio mientras se ejecutan las obras permanentes de rehabilitación, reconstrucción o estabilización del sector.

La memoria de cálculo adopta como condición de diseño el caudal máximo de 800 L/s, una carga hidráulica de 19 m.c.a., una separación máxima entre apoyos de 4.10 m, columnas de aproximadamente 3.00 m de altura y una resistencia del concreto existente de $f'c = 110 \text{ kg/cm}^2$.

5.5. OBJETO DEL DISEÑO PROVISIONAL

El objeto del sistema provisional es conducir el agua cruda de manera segura a través de los sectores donde el canal existente ha perdido continuidad o presenta riesgo de colapso, evitando la interrupción prolongada del servicio.

El diseño comprende los siguientes componentes:

- Tubería HDPE PE100 DN 710 SDR 17.
- Estructuras de ingreso y salida.
- Placas metálicas de transición.
- Acoples mecánicos restringidos.
- Cunas metálicas de apoyo.
- Columnas estructurales HSS.
- Dados de concreto armado.
- Pernos pasantes.
- Soldaduras y elementos de rigidización.
- Neopreno de protección.
- Elementos de mejoramiento y protección del terreno.
- Dispositivos de control y monitoreo.

La solución debe asegurar la continuidad hidráulica y, simultáneamente, mantener condiciones adecuadas de resistencia, estabilidad, deformación y seguridad durante el periodo de operación temporal.

5.6. CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

El sistema provisional fue diseñado bajo los siguientes criterios:





5.6.2. Condición hidráulica crítica

Se adopta como condición gobernante:
 $Q=800\text{L/s}=0.80\text{m}^3/\text{s}$

Aunque en puntos posteriores se ha considerado un caudal de 250 L/s, todas las verificaciones generales se desarrollan para el caudal crítico de 800 L/s, con la finalidad de uniformizar el diseño y mantener un criterio conservador.

5.6.3. Carga hidráulica

La carga hidráulica de verificación es:
 $H=19.0\text{m.c.a.}$

Esta carga se emplea para calcular la presión interior de la tubería y el empuje transmitido hacia las estructuras de transición.

5.6.4. Carácter temporal

El sistema corresponde a una solución provisional de emergencia. Por tanto, deberá:

- Instalarse de manera rápida y controlada;
- Permitir inspección permanente;
- Admitir desmontaje o modificación;
- Evitar intervenciones irreversibles en sectores no afectados;
- Mantenerse operativo únicamente durante el periodo necesario.

5.6.5. Compatibilidad con la topografía

Las dimensiones longitudinales deberán ajustarse al levantamiento topográfico definitivo. Sin embargo, la separación libre entre apoyos no deberá exceder:
 $L_{\text{max}} = 4.10$

Sin efectuar un nuevo cálculo de la tubería, de las cunas y de las columnas.

5.6.6. Apoyo de las conexiones

Todas las conexiones, acoples y uniones mecánicas deberán ubicarse directamente sobre una columna y una cuna metálica.

No se permitirá que los acoples queden suspendidos entre apoyos, debido a que su peso, rigidez y concentración de masa pueden incrementar las deformaciones locales y producir esfuerzos no previstos en la tubería.

5.7. CONFIGURACIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El sistema provisional estará conformado por tramos de tubería HDPE suspendidos entre apoyos metálicos, con estructuras de transición en los puntos de conexión con el canal existente.

La configuración general incluye:

- Transición de ingreso desde el canal hacia la tubería.
- Tramo de tubería HDPE DN 710.





- Cunas semicirculares de soporte.
- Columnas metálicas verticales.
- Dados de concreto armado.
- Acoples mecánicos ubicados sobre apoyos.
- Transición de salida desde la tubería hacia el canal.

La memoria considera luces máximas de 4.10 m y columnas con una altura promedio de 3.00 m, ajustables en función de la topografía real del sector.

5.8. DISEÑO HIDRÁULICO DE LA TUBERÍA

5.8.2. Geometría hidráulica

La tubería seleccionada presenta las siguientes características:

Parámetro	Valor
Material	HDPE PE100
Diámetro nominal	DN 710
Diámetro exterior	710 mm
SDR	17
Espesor de pared	42.1 mm
Diámetro interior	625.8 mm

El diámetro interior se obtiene mediante:

$$D_i = D - 2e$$

$$D_i = 0.710 - 2(0.0421)$$

$$D_i = 0.6258 \text{ m}$$

El área hidráulica es:

$$A = \pi D_i^2 / 4$$

$$A = \pi (0.6258)^2 / 4$$

$$A = 0.3076 \text{ m}^2$$



5.8.3. Velocidad de flujo

Para el caudal crítico:

$$V = Q/A$$

$$V = 0.80 / 0.3076$$

$$V = 2.60 \text{ m/s}$$

Para el caudal de 250 L/s:

$$V = 0.25 / 0.3076$$

$$V = 0.81 \text{ m/s}$$



La memoria determina que ambos regímenes son turbulentos y adopta una rugosidad absoluta de 0.0015 mm para la tubería HDPE nueva.



5.8.4. Pérdidas de carga

La pérdida de carga distribuida se evalúa mediante Darcy-Weisbach:

$$h_f = f (L/D_i) * (V^2 / 2g)$$

Para un tramo representativo de 12.20 m, incorporando pérdidas locales preliminares con un coeficiente:

$$K = 1.5$$





se obtiene:

CAUDAL	PÉRDIDA DISTRIBUIDA	PÉRDIDA LOCAL	PÉRDIDA TOTAL
800 L/s	0.073 m	0.517 m	0.590 m
250 L/s	0.009 m	0.051 m	0.059 m

La pérdida total de 0.59 m para el caso crítico es reducida frente a la carga hidráulica disponible de 19 m.c.a.. Los coeficientes de pérdida deberán actualizarse con las características definitivas del ingreso, salida, acople y transición instalados.

5.9. PRESIÓN INTERIOR Y EMPUJE HIDRÁULICO

La presión correspondiente a una carga hidráulica de 19 m.c.a. es:

$$p = \gamma w \cdot H$$

$$p = 9.81(19)$$

$$p = 186.39 \text{ kPa}$$

equivalente a:

$$p = 0.1864 \text{ Mpa}$$

El empuje estático en el extremo de la conducción es:

$$F_h = P_a$$

$$F_h = 186.39(0.3076)$$

$$F_h = 57.33 \text{ Kn}$$

Aplicando un factor de incremento de 1.50:

$$F_d = 1.50 F_h$$

$$F_d = 1.50(57.33)$$

$$F_d = 86.00 \text{ Kn}$$

Por criterio conservador se adopta:

$$F_d = 90 \text{ Kn}$$

Este empuje deberá ser transferido mediante las placas metálicas, los pernos pasantes y el conjunto estructural de transición hacia el canal existente o hacia los elementos independientes de anclaje.

5.10. VERIFICACIÓN DE LA TUBERÍA HDPE

5.10.2. Cargas verticales

La carga distribuida sobre la tubería incluye:

Componente	Carga
Peso de la tubería	0.823 Kn/m
Peso del agua	3.017 Kn/m
Carga calculada	3.841 Kn/m
Carga adoptada con accesorios	4.30 Kn/m

Para una luz de 4.10 m:

$$W = W_l$$

$$W = 4.30(4.10)$$

$$W = 17.63 \text{ Kn}$$





La reacción en cada extremo de un tramo simplemente apoyado es:

$$R = W/2$$

$$R = 8.81 \text{Kn}$$

Para apoyos interiores, considerando dos medios tramos y el peso adicional de conexiones, se adopta una reacción de diseño de:

$$R_d = 30 \text{Kn}$$

5.10.3. Flexión

El momento máximo es:

$$M_{\max} = Wl^2/8$$

$$M_{\max} = 4.30(4.10)^2/8$$

$$M_{\max} = 9.04 \text{Kn}\cdot\text{m}$$

El cortante máximo es:

$$V_{\max} = Wl/2$$

$$V_{\max} = 8.81 \text{Kn}$$

Para el módulo resistente de la tubería:

$$Z = 0.013931 \text{m}^3$$

el esfuerzo de flexión es:

$$\sigma_b = M/Z$$

$$\sigma_b = 0.65 \text{Mpa}$$

La demanda de flexión resulta reducida frente a la capacidad del material PE100. La condición que controla el diseño es la deformación a largo plazo y la estabilidad de los apoyos.

5.10.4. Deformación

La flecha máxima se evalúa mediante:

$$\delta_{\max} = 5Wl^4/384EI$$

Adoptando:

$$E_{\text{corto plazo}} = 800 \text{Mpa}$$

se obtiene:

$$\delta_{\text{corto}} = 4.0 \text{mm}$$

equivalente a:

$$L/1025$$

Para largo plazo:

$$E_{\text{largo plazo}} = 250 \text{Mpa}$$

se obtiene:

$$\delta_{\text{largo plazo}} = 12.8 \text{mm}$$

equivalente a:

$$L/320$$

La deformación de largo plazo se considera compatible con el carácter temporal del sistema, siempre que no se presenten asentamientos en las columnas o dados.

5.10.5. Movimiento térmico

La variación longitudinal de la tubería puede estimarse mediante:

$$\Delta L = A \delta t l$$

Para un tramo representativo de 12.20 m y una variación térmica de 20 °C:

$$\Delta L = 48.8 \text{mm}$$





No deberán inmovilizarse todos los apoyos. El sistema deberá contar con:

- Un apoyo fijo claramente definido;
- Apoyos guiados;
- Apoyos deslizantes;
- Control del movimiento axial;
- Protección de la tubería frente a contacto directo con acero.

La memoria advierte que la dilatación térmica debe ser permitida y controlada, evitando restricciones indebidas en todos los apoyos.

5.11. DISEÑO DE CUNAS METÁLICAS

Las cunas deberán presentar una geometría semicircular compatible con el diámetro exterior de la tubería y permitir una distribución uniforme de las reacciones.

Se adopta:

- Espesor de cuna: 12 mm.
- Material: acero ASTM A36.
- Neopreno de protección: 10 mm.
- Ángulo aproximado de contacto: 100°.
- Ancho referencial de apoyo: 0.60 m.

La longitud del arco de contacto es:

$$La = 0.620m$$

El área aproximada de contacto es:

$$Ac = 0.60(0.620)$$

$$Ac = 0.372m^2$$

Para una reacción de 30 Kn:

$$qc = 30/0.372$$

$$qc = 80.7kPa$$

La presión media resulta reducida. Por ello, el espesor de 12 mm se justifica principalmente por rigidez local, durabilidad, soldabilidad y distribución de la carga, más que por resistencia simple a compresión.

Las cunas ubicadas bajo acoples deberán tener un ancho compatible con la longitud real del elemento comercial y no deberán apoyar sobre pernos, tuercas ni mecanismos de ajuste.

5.12. DISEÑO DE COLUMNAS METÁLICAS

Se adoptan columnas tubulares:

HSS200×200×6mm

con altura promedio:

H=3.00m

y acero ASTM A500.





Las propiedades consideradas son:

Propiedad	Valor
Área	4,656 mm ²
Inercia	29.23×106 mm ⁴
Radio de giro	79.2 mm
Módulo resistente	292.3×103 mm ³
Relación KL/r	37.9
Resistencia crítica Fcr	286.2 Mpa
φPn	1,199 Kn
φMn	82.9 Kn·m

Para una carga axial de 30 Kn y una acción horizontal preliminar de 18 Kn aplicada a 3.00 m, la interacción es:

$$(P / \phi P_n) + (8M / 9 \phi M_n) = 0.60$$
$$0.60 < 1.00$$

Por tanto, la sección cumple preliminarmente. Sin embargo, debido a la altura de las columnas y a la incertidumbre de las condiciones del terreno, deberá incorporarse arriostramiento longitudinal o transversal cuando la configuración del lugar lo permita.

5.13. ESTRUCTURA DE TRANSICIÓN

La estructura metálica de transición se instalará exteriormente alrededor del canal existente. La losa de fondo del canal funcionará como base, por lo que no se contempla una placa metálica inferior.

La configuración adoptada es:

Elemento	Dimensiones	Espesor
Placa frontal	1.10 × 1.10 m	16 mm
Placas laterales	1.10 × 1.10 m	12 mm
Placa superior	1.10 × 1.00 m	12 mm
Cuna semicircular	Según DN710	12 mm
Neopreno	Según superficie de contacto	10 mm

La placa frontal deberá incorporar una abertura circular compatible con la tubería DN710 y un collar o anillo rigidizador continuo alrededor del perímetro de la abertura.

La estructura extrema rodea exteriormente el canal existente y distribuye el empuje hidráulico hacia los muros mediante las placas laterales y los pernos pasantes.

5.14. DISEÑO DE PLACAS METÁLICAS

5.14.2. Placa frontal

La placa frontal presenta un espesor de:
 $t = 16 \text{ mm}$

El ligamento radial disponible alrededor de la abertura es:

$$l_r = 1.10 - 0.710 / 2$$

$$l_r = 0.195 \text{ m}$$





El esfuerzo medio simplificado calculado es:
 $\sigma = 7.21 \text{ Mpa}$

Este esfuerzo es inferior al límite de fluencia del acero ASTM A36. Sin embargo, debido a la concentración de esfuerzos producida por la abertura circular, se mantiene el espesor de 16 mm y se incorpora un collar rigidizador continuo.

5.14.3. Placas laterales y superior

Las placas laterales y superior presentan un espesor de:

$t = 12 \text{ mm}$

Cada placa lateral recibe aproximadamente la mitad del empuje total:

$F_{\text{lateral}} \approx 45 \text{ Kn}$

Con tres pernos por lado, la carga media sería de 15 Kn por perno. No obstante, para contemplar excentricidades y reparto no uniforme se adopta:

$F_{\text{perno}} = 25 \text{ Kn}$

El espesor de 12 mm proporciona rigidez suficiente para distribuir los esfuerzos hacia los pernos y limitar deformaciones locales.

5.15. PERNOS PASANTES

La conexión de las placas laterales con el canal existente se realizará mediante:

- Seis pernos pasantes.
- Tres pernos por muro lateral.
- Diámetro M24.
- Camisas de diámetro exterior no menor de 40 mm.
- Separación mínima entre ejes de 150 mm.
- Distancia mínima a bordes de 120 mm.

La capacidad preliminar al corte de cada perno es:

$\phi V_n = 134.4 \text{ Kn}$

superior a la demanda adoptada:

25 Kn

La verificación de aplastamiento en la placa también resulta superior a la demanda:

$\phi R_n \approx 224.6 \text{ Kn}$

La presión local con camisa de 40 mm es:

6.25 Mpa

El acero de los pernos no constituye la condición crítica. La principal limitación corresponde al concreto existente, cuya integridad deberá verificarse antes de perforar.

- Antes de ejecutar las perforaciones se deberá:
- Detectar la ubicación del acero;
- Evitar fisuras, cangrejeras y juntas;
- Verificar la consistencia del concreto;
- Efectuar perforaciones sin impacto excesivo;
- Utilizar camisas;





- Aplicar apriete gradual y cruzado;
- Evitar pretensado excesivo.

5.16. SOLDADURAS

Las uniones soldadas se ejecutarán conforme a AWS D1.1, empleando electrodos E7018.

Se adopta preliminarmente:

Filete continuo de 6mm

La capacidad estimada de la soldadura para una longitud efectiva de 3.20 m es:

$$\phi R_n \approx 2993 \text{Kn}$$

Valor ampliamente superior al empuje de diseño de 90 Kn.

La capacidad resistente no gobierna el diseño. No obstante, deberá garantizarse:

- Continuidad de los cordones;
- Control visual;
- Ausencia de porosidad y socavación;
- Correcta preparación de superficies;
- Reparación de la protección anticorrosiva;
- Ejecución conforme a planos de taller.

5.17. ACOUPLE MECÁNICO

El acople mecánico deberá ser compatible con:

- Diámetro exterior de 710 mm;
- Material pe100;
- Presión de operación;
- Tolerancia dimensional real de la tubería;
- Restricción axial;
- Movimiento térmico;
- Configuración del stub-end y brida.

La memoria señala que no deberá fabricarse el acople empleando dimensiones estimadas. Será obligatorio exigir la ficha técnica del fabricante y confirmar:

- Presión nominal;
- Rango de tolerancia;
- Dimensiones;
- Peso;
- Torque de apriete;
- Material de las juntas;
- Capacidad de restricción axial;
- Compatibilidad con hdpe pe100.

Las dimensiones referenciales del acople solo podrán utilizarse si coinciden con el producto comercial finalmente seleccionado.

5.18. DATOS DE CONCRETO Y CIMENTACIÓN

Los dados de concreto armado proporcionan apoyo a las columnas metálicas y transfieren las





acciones hacia el terreno.

Como dimensión preliminar se considera:

0.60×0.60×0.50m

Para una reacción vertical de 30 Kn:

$q = 30/0.60(0.60)$

$q = 83.3 \text{ kPa}$

La presión vertical es moderada; sin embargo, esta comprobación no sustituye la evaluación de:

- Capacidad portante;
- Asentamientos;
- Estabilidad al deslizamiento;
- Estabilidad al volteo;
- Acción sísmica;
- Socavación;
- Cercanía a taludes;
- Saturación del terreno.

La memoria establece expresamente que el dado preliminar no deberá mantenerse sobre terreno suelto, erosionado o inestable sin efectuar previamente mejoramiento o reemplazo del material.

5.19. MEJORAMIENTO Y PROTECCIÓN DEL TERRENO

En las zonas de cimentación se deberá retirar todo material orgánico, suelto, saturado o erosionado.

Cuando se emplee una base granular sin concreto, la configuración deberá incluir:

- Terreno conformado y compactado.
- Geotextil no tejido de separación.
- Geomalla biaxial de refuerzo, cuando corresponda.
- Material granular seleccionado y compactado.

En sectores donde sea necesario limitar la infiltración se podrá incorporar:

- Geotextil de protección.
- Geomembrana HDPE.
- Sistema de drenaje o encauzamiento.

La memoria diferencia expresamente las funciones de geotextil, geomalla y geomembrana, indicando que los planos deben utilizar una denominación uniforme y técnicamente correcta.

5.20. COMPATIBILIDAD CON EL CANAL EXISTENTE

Antes de fabricar las placas y componentes metálicos se deberá comprobar en campo:

- Ancho exterior del canal;
- Altura exterior;
- Espesor de los muros;





- Espesor de la losa de fondo;
- Espesor de la tapa;
- Nivel y alineamiento;
- Posición de armaduras;
- Estado del concreto;
- Presencia de fisuras y juntas.

La memoria advierte que la geometría de los detalles es referencial y deberá verificarse en el lugar antes de proceder con la fabricación.

Para el presente análisis se ha determinado que el canal existente presenta:

Parámetro	Dimensión
Ancho interior	0.90 m
Altura interior	1.10 m
Espesor de muros	0.10 m
Espesor de losa de fondo	0.15 m
Espesor de tapa	0.15 m
Ancho exterior	1.10 m
Altura exterior	1.40 m

Estas dimensiones deberán contrastarse en cada punto de conexión, debido a posibles variaciones constructivas a lo largo de la infraestructura.

5.21. SECUENCIA DE EJECUCIÓN

La ejecución del sistema provisional deberá seguir la siguiente secuencia:

1. Levantamiento topográfico del tramo.
2. Replanteo de ejes y apoyos.
3. Inspección del terreno.
4. Inspección del concreto existente.
5. Detección de armaduras.
6. Conformación y mejoramiento de la cimentación.
7. Ejecución de dados de concreto.
8. Instalación de placas base.
9. Montaje y aplome de columnas.
10. Colocación de arriostramientos.
11. Instalación de cunas y neopreno.
12. Montaje de la tubería.
13. Ubicación de conexiones sobre los apoyos.
14. Instalación de placas de transición.
15. Colocación de camisas y pernos pasantes.
16. Ejecución de soldaduras.
17. Instalación del acople mecánico.
18. Aplicación del sistema anticorrosivo.
19. Control dimensional.
20. Prueba hidráulica gradual.
21. Monitoreo de fugas, asentamientos y deformaciones.





La secuencia establecida en la memoria prioriza el mejoramiento del terreno y la estabilidad de los apoyos antes de montar la tubería.

5.22. CONTROL DE CALIDAD Y PUESTA EN SERVICIO

Durante la ejecución y operación se deberán controlar los siguientes aspectos:

CONTROL	CRITERIO
Luz entre apoyos	No mayor de 4.10 m
Excentricidad de conexiones	No mayor de 0.10 m respecto al eje de columna
Flecha inicial	Registrar y comparar con el valor calculado
Pernos	Sin fisuración del concreto durante el apriete
Soldaduras	Inspección visual continua
Tubería	Sin contacto con bordes cortantes
Apoyos	Sin asentamientos apreciables
Operación	Incremento gradual de caudal y presión
Acoples	Sin fugas ni desplazamiento axial
Columnas	Conservación del aplome
Dados	Sin erosión ni pérdida de apoyo

La puesta en servicio deberá realizarse progresivamente, evitando el llenado instantáneo de la tubería.

Se recomienda efectuar las siguientes etapas:

- Llenado inicial a baja presión;
- Purga de aire;
- Inspección de conexiones;
- Incremento gradual del caudal;
- Comprobación de fugas;
- Medición de flecha;
- Control de asentamientos;
- Revisión de pernos;
- Verificación del comportamiento de apoyos fijos y deslizantes.

5.23. CONDICIONES DE VALIDEZ DEL DISEÑO

El diseño provisional será válido siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- El caudal no exceda 800 L/s.
- La carga hidráulica no exceda 19 m.c.a.
- La separación entre apoyos no supere 4.10 m.
- Las conexiones se encuentren directamente sobre apoyos.
- Las columnas dispongan de estabilidad lateral.
- Los dados se ejecuten sobre terreno competente.
- Se controle la erosión y socavación.
- Se confirme el modelo comercial del acople.
- Se verifique la ubicación de las armaduras antes de perforar.
- No se instalen pernos en concreto fisurado o disgregado.
- Se permita el movimiento térmico de la tubería.
- Se realice monitoreo permanente durante la operación.





La memoria condiciona expresamente el diseño a la confirmación de la topografía, capacidad portante, presión real, exposición a viento y sismo, características del acople y ubicación exacta de las armaduras.

5.24. CONCLUSIÓN DEL DISEÑO PROVISIONAL

El sistema provisional mediante tubería HDPE PE100 DN 710 SDR 17 presenta capacidad hidráulica suficiente para conducir el caudal crítico de 800 L/s, desarrollando una velocidad aproximada de 2.60 m/s y una pérdida de carga preliminar de 0.59 m en un tramo representativo de 12.20 m.

La tubería presenta esfuerzos de flexión reducidos y una flecha de largo plazo de 12.8 mm, considerada compatible con el carácter temporal del sistema. Las columnas HSS 200 × 200 × 6 mm, cunas metálicas, placas de transición, pernos M24 y soldaduras presentan capacidades preliminares superiores a las demandas calculadas.

La condición crítica del sistema no corresponde a la resistencia de la tubería ni de los elementos metálicos, sino a la estabilidad del terreno y a la integridad del concreto existente en los puntos de transición.

Por tanto, la viabilidad del sistema provisional queda condicionada a:

- Ejecutar los apoyos sobre terreno estable.
- Controlar la socavación.
- Mantener una separación máxima de 4.10 m.
- Ubicar todos los acoples sobre columnas y cunas.
- Verificar las armaduras antes de perforar.
- Realizar una prueba hidráulica gradual.
- Monitorear deformaciones, asentamientos y fugas.

Bajo estas condiciones, la solución propuesta resulta técnicamente compatible con su función de conducción temporal de emergencia, permitiendo mantener la continuidad hidráulica mientras se ejecuta la intervención definitiva del canal.





CAPÍTULO XII

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El presente capítulo establece el procedimiento constructivo para la implementación, operación controlada y posterior desmontaje del sistema provisional de conducción mediante tubería HDPE PE100 DN 710 SDR 17, incluyendo las estructuras metálicas de soporte, cunas, columnas, placas de transición, pernos pasantes, dados de concreto y elementos complementarios.

La ejecución deberá desarrollarse de manera secuencial, evitando intervenciones simultáneas que comprometan la estabilidad del canal existente, del terreno de apoyo o de los elementos provisionales. La memoria de cálculo establece como actividades principales el levantamiento topográfico, la inspección del concreto, la detección de armaduras, el mejoramiento del terreno, la ejecución de dados, el montaje de columnas, la instalación de cunas, la colocación de la tubería, la instalación de placas y pernos, la prueba hidráulica y el monitoreo posterior.

El procedimiento descrito deberá adecuarse a las condiciones reales de campo, al acceso disponible, a la topografía definitiva, al estado del terreno y a la ubicación precisa de los puntos de conexión con el canal existente.

6.5. SECUENCIA CONSTRUCTIVA

La ejecución del sistema provisional se desarrollará mediante las siguientes etapas:

6.5.2. Actividades preliminares

Antes del inicio de los trabajos se deberá realizar:

- Revisión de planos y memoria de cálculo;
- Reconocimiento integral del área;
- Identificación de accesos;
- Ubicación de zonas de acopio;
- Verificación de interferencias;
- Delimitación de áreas inestables;
- Evaluación visual de taludes;
- Identificación de sectores con erosión o socavación;
- Coordinación para el cierre temporal o reducción del caudal;
- Elaboración del plan de seguridad;
- Verificación de disponibilidad de materiales y equipos.

No deberá iniciarse el montaje sin confirmar que las zonas destinadas a los apoyos presentan condiciones mínimas de estabilidad.

6.5.3. Levantamiento topográfico y replanteo

Se realizará el levantamiento topográfico del tramo, registrando:

- Eje longitudinal del canal;





- Niveles de ingreso y salida;
- Perfil longitudinal;
- Ubicación de los puntos críticos;
- Longitud total del bypass;
- Altura requerida de cada columna;
- Distancias entre apoyos;
- Pendientes del terreno;
- Posición de los taludes;
- Zonas de acceso para maquinaria.

La separación entre apoyos no deberá ser mayor de:
4.10m

Las variaciones topográficas deberán resolverse modificando la altura de las columnas o la posición de los dados, sin exceder la luz máxima establecida en el diseño. La memoria dispone expresamente que las distancias deberán ajustarse a la topografía real, manteniendo como límite la separación máxima de 4.10 m.

6.5.4. Inspección del canal existente

Antes de instalar las placas extremas se verificará:

- Ancho y altura exterior del canal;
- Espesores de los muros;
- Espesor de la losa de fondo;
- Espesor de la tapa;
- Presencia de fisuras;
- Desprendimientos;
- Juntas;
- Cangrejeras;
- Corrosión visible;
- Zonas disgregadas;
- Estabilidad de los bordes.

Las dimensiones deberán comprobarse en cada punto de conexión, debido a que pueden existir variaciones constructivas respecto a los planos referenciales. La memoria señala que la geometría y posición de las armaduras deben verificarse en campo antes de fabricar e instalar las placas.

6.5.5. Detección de armaduras

En los sectores donde se instalarán los pernos pasantes se realizará detección de acero mediante equipo adecuado.

Las perforaciones deberán ubicarse evitando:

- Barras principales;
- Estribos;
- Juntas de construcción;
- Fisuras existentes;





- Concreto disgregado;
- Zonas con baja calidad superficial;
- Bordes con desprendimientos.

No se deberá perforar hasta contar con la aprobación de la ubicación definitiva de cada perno.

6.5.6. Preparación y mejoramiento del terreno

Se retirará el material suelto, erosionado, saturado, orgánico o inestable.

La preparación podrá comprender:

- Excavación manual o mecánica;
- Eliminación de material inadecuado;
- Nivelación;
- Compactación del terreno;
- Colocación de material granular;
- Uso de geotextil no tejido;
- Instalación de geomalla cuando se requiera refuerzo;
- Drenaje superficial;
- Protección contra infiltraciones.

En terrenos afectados por socavación no deberá apoyarse directamente ningún dado sin realizar previamente el tratamiento correspondiente.

6.5.7. Ejecución de dados de concreto

Los dados preliminares tendrán dimensiones referenciales de:

0.60×0.60×0.50m

Estas dimensiones deberán verificarse con las condiciones reales del suelo.

La ejecución comprenderá:

1. Excavación y nivelación de la base.
2. Compactación del fondo.
3. Colocación de solado, cuando corresponda.
4. Instalación del acero de refuerzo.
5. Colocación de pernos de anclaje o sistema de fijación.
6. Verificación de nivel y alineamiento.
7. Vaciado del concreto.
8. Vibrado.
9. Acabado superficial.
10. Curado.
11. Comprobación de resistencia antes del montaje.

La memoria señala que la presión vertical aproximada bajo el dado es de 83.3 kPa, pero advierte que su estabilidad depende de la capacidad portante, la socavación, las acciones horizontales y la proximidad del talud.





6.5.8. Montaje de columnas y arriostramientos

Una vez alcanzada la resistencia necesaria en los dados, se procederá al montaje de las columnas HSS 200 × 200 × 6 mm.

Se deberá controlar:

- Verticalidad;
- Alineamiento longitudinal;
- Nivel de coronación;
- Soldaduras;
- Fijación de placas base;
- Apriete de pernos de anclaje;
- Estabilidad temporal;
- Colocación de arriostramientos.

Las columnas no deberán permanecer sin arriostramiento durante el montaje cuando exista riesgo de vuelco por viento, vibración o impacto accidental.

6.5.9. Instalación de cunas y neopreno

Las cunas metálicas semicirculares se instalarán sobre las columnas, verificando:

- Coincidencia con el eje de la tubería;
- Nivel;
- Orientación;
- Superficie de contacto;
- Continuidad de soldaduras;
- Ausencia de bordes cortantes;
- Colocación de neopreno de 10 mm.

La cuna deberá distribuir uniformemente la reacción sin generar concentraciones puntuales sobre la tubería.

6.5.10. Montaje de tuberías

El montaje de la tubería se efectuará por tramos, utilizando equipos de izaje adecuados. Cada tramo deberá:

- Levantarse con eslingas apropiadas;
- Apoyarse únicamente sobre las cunas;
- Mantenerse alineado;
- Evitar contacto directo con acero sin protección;
- Quedar libre de torsiones;
- Permitir dilatación térmica;
- Conservar la separación prevista entre extremos;
- Quedar protegido frente a impactos.

Todas las uniones y acoples deberán localizarse directamente sobre una columna y una cuna. No se permitirán conexiones suspendidas entre apoyos.





6.5.11. Ejecución de transiciones

Las transiciones se instalarán en los extremos del sistema provisional.

La estructura metálica envolverá exteriormente el canal y estará constituida por:

- Placa frontal de 16 mm;
- Placas laterales de 12 mm;
- Placa superior de 12 mm;
- Collar o anillo rigidizador;
- Seis pernos pasantes m24;
- Camisas;
- Sellos elastoméricos;
- Grout compatible.

No se instalará placa metálica inferior, debido a que la losa existente funciona como base del conjunto.

6.5.12. Instalación de acoples

Los acoples deberán corresponder al modelo comercial aprobado.

Antes de su instalación se verificará:

- Diámetro real;
- Presión nominal;
- Longitud;
- Tolerancia;
- Peso;
- Torque;
- Material de la junta;
- Restricción axial;
- Compatibilidad con pe100.

No deberán fabricarse acoples utilizando únicamente dimensiones referenciales. La memoria exige confirmar las características del fabricante antes del montaje.

6.5.13. Prueba hidráulica y puesta en servicio

La prueba deberá ejecutarse gradualmente:

1. Inspección final del sistema.
2. Verificación de apoyos y uniones.
3. Llenado lento.
4. Purga de aire.
5. Control de fugas.
6. Incremento gradual de presión.
7. Verificación de asentamientos.
8. Medición de flechas.
9. Control de desplazamientos axiales.
10. Registro de resultados.





No deberá llevarse inmediatamente el sistema al caudal máximo.

6.6. PROCEDIMIENTO DE MONTAJE

El procedimiento de montaje deberá garantizar que ningún elemento sea sometido a esfuerzos accidentales, golpes, torsiones o deformaciones no previstas

6.6.2. *Recepción de materiales*

A la llegada de los componentes se verificará:

- Certificados de calidad;
- Dimensiones;
- Espesores;
- Ausencia de deformaciones;
- Ausencia de fisuras en la tubería;
- Estado del galvanizado;
- Estado de pernos y tuercas;
- Compatibilidad de los acoples;
- Identificación de piezas;
- Correspondencia con planos de fabricación.

Los materiales dañados deberán ser separados y no podrán incorporarse al sistema sin autorización.

6.6.3. *Acopio*

La tubería HDPE deberá almacenarse:

- Sobre apoyos de madera;
- Fuera del contacto directo con piedras;
- Sin apilamiento excesivo;
- Protegida de bordes cortantes;
- Fuera de zonas de tránsito;
- Evitando deformación ovalada.

Las placas, columnas y cunas deberán almacenarse sobre durmientes y protegerse de la humedad y contaminación.

6.6.4. *Izaje de tuberías*

El izaje se realizará con eslingas textiles de ancho suficiente.
No se permitirá:

- Usar cadenas directamente sobre el HDPE;
- Levantar mediante los extremos;
- Arrastrar la tubería;
- Golpearla contra las columnas;
- Sujetarla desde los acoples;
- Utilizar puntos de izaje no aprobados.





El movimiento deberá ser guiado por personal ubicado fuera de la trayectoria de la carga.

6.6.5. Montaje de columnas

Las columnas se izarán individualmente y se fijarán temporalmente antes de liberar el equipo.
Se verificará:

Desviación de verticalidad $\leq H/500$

como criterio de control de montaje, salvo que los planos establezcan una tolerancia más restrictiva.

Posteriormente se colocarán los arriostramientos y se ejecutará el ajuste final.

6.6.6. Montaje de cunas

Las cunas se centrarán respecto del eje de la columna.
Se comprobará:

- Ancho de apoyo;
- Radio de curvatura;
- Espesor;
- Continuidad del neopreno;
- Ausencia de rebabas;
- Alineamiento entre cunas consecutivas.

6.6.7. Colocación de la tubería

La tubería se depositará lentamente sobre las cunas.
Antes de soltarla se verificará que:

- Todos los apoyos se encuentren en contacto;
- No exista apoyo puntual;
- No haya desalineamiento;
- No existan interferencias;
- El tramo no quede sometido a torsión;
- La unión coincida con el eje de la columna.

La excentricidad máxima de la conexión respecto del eje del apoyo será:
0.10m
de acuerdo con el control establecido en la memoria.

6.6.8. Instalación de pernos pasantes

El procedimiento será:

1. Confirmar la posición del acero.
2. Marcar los centros.
3. Ejecutar perforaciones piloto.
4. Ampliar al diámetro requerido.
5. Limpiar los orificios.
6. Colocar camisas.





7. Instalar placas y pernos.
8. Colocar arandelas.
9. Aplicar sellado.
10. Ajustar gradual y cruzadamente.

No se deberá emplear apriete excesivo. La memoria especifica que el control debe concentrarse en evitar fisuración del concreto durante el apriete.

6.6.9. *Montaje del acople*

El acople deberá colocarse sin forzar la alineación de la tubería.
Se verificará:

- Limpieza de superficies;
- Correcta posición de la junta;
- Uniformidad del apriete;
- Torque del fabricante;
- Ausencia de torsión;
- Restricción axial;
- Libre funcionamiento de apoyos deslizantes.

6.6.10. *Protección anticorrosiva*

Las zonas soldadas o afectadas durante el montaje deberán limpiarse y protegerse.
El sistema deberá incluir:

- Preparación superficial;
- Imprimante anticorrosivo;
- Capa intermedia;
- Acabado;
- Reparación de galvanizado;
- Control de espesor seco, cuando corresponda.
-

6.7. **PROCEDIMIENTO DE DESMONTAJE**

El desmontaje se realizará cuando entre en funcionamiento la solución definitiva o cuando se determine la finalización de la operación provisional.

6.7.2. *Planificación*

Antes de desmontar se deberá:

- Suspender el flujo;
- Despresurizar;
- Drenar la tubería;
- Verificar ausencia de agua retenida;
- Delimitar el área;
- Establecer la secuencia;
- Identificar cargas suspendidas;
- Comprobar accesos;





- Disponer equipos de izaje.

6.7.3. *Secuencia de desmontaje*

El orden recomendado será:

1. Cierre hidráulico.
2. Despresurización.
3. Drenaje.
4. Desconexión de acoples.
5. Retiro de elementos de transición.
6. Retiro de tramos de tubería.
7. Retiro de cunas.
8. Retiro de arriostramientos.
9. Desmontaje de columnas.
10. Retiro de placas base.
11. Demolición o conservación de dados.
12. Sellado de perforaciones del canal.
13. Restauración del terreno.
14. Limpieza del área.

6.7.4. *Retiro de tuberías*

Los tramos se izarán sin arrastrarlos.

Se deberá verificar previamente que:

- Estén completamente vacíos;
- No exista presión residual;
- Estén liberados de todos los acoples;
- No permanezcan sujetos a las cunas;
- Se disponga de un área segura de descarga.

6.7.5. *Retiro de pernos y placas*

Los pernos deberán retirarse gradualmente.

Los orificios del canal se limpiarán y sellarán con:

- Grout no retráctil;
- Mortero de reparación;
- Sellador elastomérico;
- Producto compatible con exposición permanente al agua.

No se deberán dejar perforaciones abiertas ni elementos metálicos sobresalientes.

6.7.6. *Recuperación de componentes*

Los elementos reutilizables deberán:

- Limpiarse;
- Inspeccionarse;
- Clasificarse;





- Protegerse;
- Inventariarse;
- Almacenarse adecuadamente

Los componentes deformados o deteriorados deberán ser separados para reparación o eliminación.

6.8. RECURSOS HUMANOS

El personal mínimo deberá estar integrado por profesionales, técnicos y operarios con experiencia en obras hidráulicas, estructuras metálicas, montaje de tuberías y trabajos en zonas de difícil acceso.

6.8.2. Personal profesional

Se recomienda considerar:

CARGO	FUNCIÓN PRINCIPAL
Jefe de proyecto o residente	Dirección general
Ingeniero civil estructural	Control de apoyos, columnas y transiciones
Ingeniero hidráulico	Control de caudal, presión y prueba
Especialista en seguridad	Implementación del sistema de SST
Ingeniero o técnico topógrafo	Replanteo, niveles y monitoreo
Responsable de calidad	Inspección y registros
Especialista geotécnico	Evaluación del terreno y taludes

6.4.2 Personal técnico

- Maestro de obra;
- Capataz;
- Topógrafo;
- Soldador homologado;
- Montajista;
- Operador de equipo de izaje;
- Técnico electromecánico;
- Técnico en hdpe;
- Inspector de soldadura;
- Almacenero.

6.8.3. Mano de obra

- Oficiales;
- Operarios;
- Ayudantes;
- Vigías;
- Señalizadores;
- Personal de limpieza;
- Personal para control ambiental.
- La cantidad deberá ajustarse al número de frentes y a la duración prevista.

6.9. EQUIPAMIENTO MÍNIMO

El equipamiento mínimo comprende:

- Estación total;





- Nivel automático o digital;
- Detector de armaduras;
- Esclerómetro;
- Torquímetro;
- Equipo de medición de espesores;
- Equipo de soldadura;
- Generador eléctrico;
- Bomba de achique;
- Manómetros calibrados;
- Equipo para prueba hidráulica;
- Medidor de caudal;
- Equipos de comunicación;
- Sistema de iluminación;
- Detector de gases, si corresponde;
- Equipo de rescate;
- Extintores;
- Botiquín;
- Camilla;
- Kits antiderrames.

Todos los equipos de medición deberán contar con calibración vigente.

6.10. MAQUINARIA

Según las condiciones de acceso, podrá requerirse:

- Excavadora;
- Retroexcavadora;
- Minicargador;
- Camión grúa;
- Grúa telescópica;
- Camión plataforma;
- Volquete;
- Rodillo compactador;
- Plancha compactadora;
- Mezcladora de concreto;
- Vibrador de concreto;
- Grupo electrógeno;
- Bomba de agua;
- Equipo de termofusión o electrofusión;
- Compresora;
- Equipo de perforación.

La maquinaria deberá ubicarse fuera de sectores inestables o próximos al borde de taludes sin evaluación previa.





6.11. HERRAMIENTAS

Las herramientas mínimas incluyen:

- Llaves combinadas;
- Llaves de impacto;
- Torquímetros;
- Taladros;
- Brocas para concreto y acero;
- Esmeriles;
- Equipos de corte;
- Martillos;
- Niveles;
- Plomadas;
- Cintas métricas;
- Escuadras;
- Gatos hidráulicos;
- Tecles;
- Tirfor;
- Grilletes;
- Eslingas;
- Cáncamos;
- Prensas;
- Sargentos;
- Cepillos metálicos;
- Herramientas de soldadura;
- Pistolas para sellado;
- Herramientas para acabado de concreto.

Las eslingas, grilletes y equipos de izaje deberán contar con identificación de capacidad y certificación vigente.

6.12. LOGÍSTICA

La logística debe garantizar que el montaje no se interrumpa por falta de materiales, equipos, energía, combustible o accesos.

6.12.2. Plan de abastecimiento

Se programará el suministro de:

- Tubería;
- Acoples;
- Columnas;
- Placas;
- Cunas;
- Pernos;
- Neopreno;
- Concreto;
- Acero de refuerzo;
- Soldadura;





- Recubrimientos;
- Geotextil;
- Geomalla;
- Geomembrana;
- Material granular;
- Elementos de seguridad.

6.12.3. Transporte

Se deberá definir:

- Rutas de acceso;
- Limitaciones de carga;
- Radios de giro;
- Zonas de descarga;
- Horarios;
- Permisos;
- Medidas frente a lluvias;
- Transporte especial de tuberías.

6.12.4. Almacenamiento

Se habilitarán zonas diferenciadas para:

- Tuberías;
- Acero estructural;
- Materiales de concreto;
- Productos químicos;
- Combustibles;
- Herramientas;
- Equipos de seguridad;
- Residuos.

Los combustibles y productos químicos deberán almacenarse con contención secundaria.

6.12.5. Continuidad de suministro

Se deberá disponer de:

- Combustible de reserva;
- Generador alterno;
- Bomba de respaldo;
- Repuestos;
- Pernos adicionales;
- Empaques;
- Electrodo;
- Materiales de sellado;
- Equipos de comunicación.





6.8.5 Gestión de emergencias

La logística deberá prever:

- Lluvias intensas;
- Deslizamientos;
- Incremento de caudal;
- Falla de equipos;
- Cierre de vías;
- Interrupción eléctrica;
- Fugas;
- Rotura de acoples;
- Evacuación de personal.

6.13. SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

Todos los trabajos deberán ejecutarse conforme al plan de seguridad, al Reglamento Nacional de Edificaciones y a las disposiciones aplicables a construcción, montaje, izaje, excavaciones y trabajos en altura.

6.13.2. *Identificación de peligros*

Los principales peligros son:

- Caída de personas;
- Caída de objetos;
- Cargas suspendidas;
- Deslizamiento de taludes;
- Socavación;
- Inundación;
- Atrapamiento;
- Golpes;
- Cortes;
- Soldadura;
- Electricidad;
- Tránsito de maquinaria;
- Exposición a ruido;
- Trabajo nocturno;
- Contacto con agua contaminada;
- Rotura súbita de tuberías;
- Liberación de presión.

6.13.3. *Documentación de seguridad*

Antes de cada actividad se deberá contar con:

- Iperc;
- Ats;
- Permiso de trabajo;
- Plan de izaje;
- Permiso de excavación;
- Permiso para trabajo en altura;
- Permiso para trabajos en caliente;
- Procedimiento de bloqueo y despresurización;





- Plan de respuesta a emergencias.

6.13.4. Equipos de protección personal

El personal deberá utilizar:

- Casco;
- Botas de seguridad;
- Guantes;
- Lentes;
- Chaleco;
- Protección auditiva;
- Protección respiratoria;
- Arnés;
- Línea de vida;
- Careta de soldar;
- Ropa ignífuga;
- Traje impermeable;

6.13.5. Trabajos de izaje

Durante el izaje:

- Se delimitará el radio de operación;
- Se designará un rigger;
- Se verificará la capacidad del equipo;
- No habrá personal bajo cargas suspendidas;
- Se utilizarán vientos guía;
- Se suspenderán maniobras con condiciones meteorológicas adversas;
- Se verificará la estabilidad del terreno bajo la grúa.

6.13.6. Trabajos en caliente

Para soldadura y corte:

- Retirar materiales combustibles;
- Instalar extintores;
- Disponer vigía de fuego;
- Verificar conexiones eléctricas;
- Utilizar pantallas de protección;
- Controlar humos;
- Inspeccionar el área al finalizar.

6.13.7. Trabajos en taludes y zonas erosionadas

No se permitirá el ingreso a zonas inestables sin evaluación previa.
Se deberá:

- Delimitar grietas;
- Controlar vibraciones;
- Evitar acopio en coronación;





- Instalar drenaje;
- Retirar material suelto;
- Mantener rutas de evacuación;
- Monitorear movimientos.

6.13.8. Prueba hidráulica

Durante la prueba:

- Restringir el acceso;
- Evitar presencia frente a bridas y acoples;
- Incrementar la presión gradualmente;
- Monitorear manómetros;
- Suspender la prueba ante fugas;
- Despresurizar antes de intervenir;
- Registrar presión y duración.

6.14. CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad deberá realizarse durante la fabricación, recepción, montaje, prueba y operación inicial.

6.14.2. Control de materiales

Se verificará:

- Certificados del HDPE;
- SDR y espesor;
- Calidad del acero;
- Resistencia del concreto;
- Clase de pernos;
- Certificados de electrodos;
- Propiedades del neopreno;
- Ficha del acople;
- Productos anticorrosivos;
- Calidad del material granular.

6.14.3. Control geométrico

Se comprobará:

- Ejes;
- Niveles;
- Separación entre apoyos;
- Altura de columnas;
- Alineamiento;
- Pendiente;
- Verticalidad;
- Posición de acoples;
- Dimensiones de placas;





- Excentricidad.

La luz máxima será de 4.10 m y la excentricidad de conexiones respecto del eje de apoyo no deberá superar 0.10 m.

6.14.4. Control del concreto

Se efectuará:

- Control de asentamiento;
- Muestreo;
- Probetas;
- Control de vaciado;
- Vibrado;
- Curado;
- Resistencia;
- Nivelación de placas;
- Inspección de fisuras.

6.14.5. Control de soldaduras

Como mínimo se realizará:

- Inspección visual;
- Verificación de continuidad;
- Control de tamaño de filete;
- Identificación del soldador;
- Registro de reparaciones;
- Control de porosidad;
- Control de socavación;
- Revisión del sistema anticorrosivo.

La memoria adopta soldadura continua de filete de 6 mm con electrodo E7018, sujeta a control visual y protección anticorrosiva.

6.14.6. Control de pernos

Se verificará:

- Diámetro;
- Cantidad;
- Separación;
- Distancia a bordes;
- Camisas;
- Arandelas;
- Estado de roscas;
- Secuencia de apriete;
- Torque;
- Fisuración del concreto.





6.14.7. Control de la tubería

Se comprobará:

- Ausencia de cortes;
- Ausencia de ovalamiento excesivo;
- Apoyo uniforme;
- Flecha;
- Alineamiento;
- Movimiento térmico;
- Contacto con neopreno;
- Posición de uniones;
- Ausencia de desplazamiento axial.

6.14.8. Control de acoples

Se registrará:

- Fabricante;
- Modelo;
- Presión nominal;
- Torque;
- Secuencia de apriete;
- Posición de juntas;
- Fugas;
- Desplazamientos;
- Compatibilidad dimensional.

6.14.9. Prueba y monitoreo

Durante la puesta en servicio se controlará:

- Presión;
- Caudal;
- Fugas;
- Flecha inicial;
- Asentamiento de dados;
- Verticalidad de columnas;
- Desplazamiento de acoples;
- Condición del terreno;
- Socavación;
- Ruido o vibración anormal.

La memoria establece que deberán monitorearse la flecha, las fugas, los asentamientos y el torque durante la operación inicial.





CAPÍTULO XIII

GESTIÓN REACTIVA ANTE INTERRUPCIÓN Y EL COLAPSO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN

El presente capítulo establece las disposiciones técnicas, organizativas y operativas para afrontar una emergencia ocasionada por la interrupción parcial o total, el colapso estructural o la pérdida de funcionalidad del canal de conducción de agua cruda de EPS SEDA Huánuco S.A.

La gestión reactiva comprende las acciones de preparación, respuesta y rehabilitación necesarias para proteger al personal, controlar el evento, reducir las consecuencias sobre la infraestructura y restablecer progresivamente la continuidad del servicio. Su formulación se articula con el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres —SINAGERD— y con los lineamientos aprobados mediante Resolución de Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres N° 005-2025-PCM, aplicables a la formulación y actualización de planes de gestión reactiva.

El capítulo toma como escenario técnico de referencia la vulnerabilidad identificada en el canal existente, caracterizada por erosión, deformación del terreno, inestabilidad de taludes, pérdida de apoyo y colapso parcial en determinados sectores. Asimismo, considera como principal alternativa de recuperación temporal la instalación de una conducción mediante tubería HDPE PE100 DN710 SDR17.

7.5. OBJETIVO, ALCANCE Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

7.5.2. Objetivo general

Establecer la organización, los procedimientos, los recursos y los criterios de actuación necesarios para responder de manera oportuna, segura y coordinada ante una interrupción o colapso del canal de conducción, priorizando:

- La protección de la vida y salud del personal.
- El aislamiento de las zonas inestables.
- El control del flujo y de las fugas.
- La evaluación rápida de daños.
- La continuidad operativa del sistema.
- La instalación del sistema provisional.
- La recuperación progresiva del servicio.
- La prevención de nuevos colapsos.

7.5.3. Objetivos específicos

Son objetivos específicos:

- a. Identificar los peligros capaces de producir la interrupción o el colapso del canal.
- b. Evaluar las vulnerabilidades físicas, estructurales, hidráulicas, geotécnicas, operativas y logísticas.
- c. Determinar escenarios y niveles de emergencia.
- d. Establecer una estructura de organización para la respuesta.
- e. Definir protocolos de comunicación, aislamiento, evaluación e intervención.
- f. Mantener recursos humanos, equipos y materiales disponibles para atención inmediata.





- g. Implementar procedimientos para la instalación y operación de la conducción provisional.
- h. Establecer criterios de monitoreo, rehabilitación y cierre de la emergencia.

7.5.4. Alcance

El presente capítulo comprende:

- El canal de conducción de agua cruda.
- Los sectores con erosión, socavación o inestabilidad.
- Los puntos de empalme con el sistema provisional.
- Los accesos, taludes y terrenos adyacentes.
- Las estructuras de transición.
- La tubería HDPE temporal.
- Las columnas, cunas, dados y acoples.
- El personal encargado de la operación y respuesta.
- Los usuarios y componentes del servicio que puedan verse afectados por la interrupción.

7.5.5. Ámbito de aplicación

Las disposiciones serán aplicables durante:

- La detección de anomalías.
- El estado de alerta.
- La emergencia parcial.
- La interrupción total.
- El colapso estructural.
- La instalación del sistema provisional.
- La recuperación del servicio.
- La operación temporal.
- El desmontaje del sistema provisional.
- La rehabilitación inicial del canal y del terreno.

7.5.6. Organización para la respuesta

La aplicación del presente Plan de Gestión Reactiva se desarrollará bajo una estructura organizacional conformada por el Comité de Emergencia de la EPS SEDA Huánuco S.A., el Puesto de Comando de Campo (PCC), las brigadas operativas y el personal técnico responsable de la atención de la emergencia, conforme a la organización establecida en el numeral 7.10 del presente Plan.

7.6. MARCO NORMATIVO Y ARTICULACIÓN INSTITUCIONAL

La gestión de la emergencia deberá articularse, según corresponda, con el siguiente marco:

- Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
- Reglamento de la Ley N° 29664, aprobado mediante D.S. N° 048-2011-PCM.
- Lineamientos para la formulación y aprobación del Plan de Gestión Reactiva, aprobados en 2025.
- Lineamientos para la implementación de los procesos de la gestión reactiva.
- Normas de seguridad y salud en el trabajo.





- Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Normas internas de EPS SEDA Huánuco S.A.
- Plan de continuidad operativa de la empresa.
- Planes de contingencia para la prestación de los servicios de saneamiento.

El Reglamento de la Ley N° 29664 desarrolla los componentes, procesos, procedimientos y responsabilidades de las entidades integrantes del SINAGERD. Los lineamientos aprobados en 2025 establecen disposiciones para formular, aprobar y actualizar planes de gestión reactiva en los tres niveles de gobierno.

La respuesta podrá requerir coordinación con:

- Gobierno Regional de Huánuco.
- Municipalidad Provincial y municipalidades distritales involucradas.
- Instituto Nacional de Defensa Civil.
- Centro de Operaciones de Emergencia Regional o local.
- Policía Nacional del Perú.
- Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú.
- establecimientos de salud;
- autoridades de recursos hídricos;
- empresas de energía y telecomunicaciones;
- contratistas, proveedores y operadores de maquinaria;
- representantes de la población usuaria.
-

Articulación Institucional

La atención de las emergencias se desarrollará conforme a los principios de coordinación, subsidiariedad y complementariedad previstos en el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), articulando las acciones de la EPS SEDA Huánuco S.A. con las entidades competentes según la magnitud del evento.

La respuesta institucional será dirigida por el Comité de Emergencia de la EPS SEDA Huánuco S.A., el cual coordinará con el Centro de Operaciones de Emergencia (COE), el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), el Gobierno Regional de Huánuco, las municipalidades involucradas, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS), la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), el Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú, la Policía Nacional del Perú y las demás entidades públicas o privadas cuya participación resulte necesaria para la atención de la emergencia.

Cuando la magnitud del evento supere la capacidad operativa de la EPS SEDA Huánuco S.A., el Gerente General o el Coordinador de Emergencia gestionará la solicitud de apoyo institucional conforme a los procedimientos establecidos por el SINAGERD y a los protocolos internos de la empresa.

7.7. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA Y ESCENARIO DE EMERGENCIA

El canal forma parte del sistema de conducción de agua cruda desde la captación hacia las plantas de tratamiento. En determinados sectores se han identificado erosión, deformación del terreno, inestabilidad de taludes y colapso parcial, condiciones que pueden ocasionar una interrupción súbita o progresiva del abastecimiento.





El canal existente presenta una sección cerrada de concreto armado con las siguientes dimensiones:

Parámetro	Valor
Ancho interior	0.90 m
Altura interior	1.10 m
Espesor de muros	0.10 m
Espesor de losa de fondo	0.15 m
Espesor de tapa	0.15 m
Ancho exterior	1.10 m

El análisis estructural determinó que la principal condición crítica corresponde a la pérdida progresiva del terreno situado debajo de la losa de fondo. Al desaparecer el apoyo continuo, el canal comienza a trabajar longitudinalmente como un elemento suspendido, incrementándose los momentos flectores, las deformaciones y el riesgo de fisuración.

Como alternativa de recuperación se ha previsto una tubería HDPE PE100 DN710 SDR17, diseñada para un caudal crítico de 800 L/s, una carga hidráulica de 19 m.c.a. y una separación máxima de 4.10 m entre apoyos.



7.7.2. Escenario Operativo de Emergencia

El escenario de diseño considerado para el presente Plan corresponde al colapso parcial o total del canal de conducción ubicado en el sector Pucuchinche (PC-05), originado por procesos progresivos de erosión, socavación, pérdida del terreno de apoyo e inestabilidad geotécnica, generando la interrupción del abastecimiento de agua cruda hacia las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II.



Como consecuencia del evento podrán presentarse, entre otras, las siguientes condiciones:

- Interrupción parcial o total del abastecimiento de agua cruda.
- Colapso estructural del canal de conducción.
- Pérdida del terreno de fundación.
- Deslizamientos de taludes.
- Daños en las estructuras de transición.
- Riesgo para el personal de operación y mantenimiento.
- Necesidad de implementar el sistema provisional mediante tubería HDPE.
- Activación del Comité de Emergencia y de los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE).



El presente Plan desarrolla las acciones necesarias para responder a dicho escenario, garantizando la seguridad del personal, la continuidad del servicio y el restablecimiento progresivo del abastecimiento de agua potable.



7.8. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y AMENAZAS

7.8.2. Peligros geotécnicos

Se consideran:

- Erosión superficial.
- Socavación bajo la losa.
- Lavado de partículas finas.





- Formación de cavidades.
- Asentamiento diferencial.
- Deslizamiento de taludes.
- Caída de rocas.
- Saturación del terreno.
- Pérdida de capacidad portante.
- Inestabilidad de accesos.

7.8.3. Peligros estructurales

- Fisuración de la losa de fondo.
- Separación entre muros y losa.
- Colapso localizado del canal.
- Rotura de tapas.
- Desplazamiento lateral de muros.
- Pérdida de continuidad estructural.
- Caída de fragmentos de concreto.
- Falla de columnas del sistema provisional.
- Deformación o rotura de cunas.
- Falla de placas o pernos.

7.8.4. Peligros hidráulicos

- Incremento súbito del caudal.
- Desborde del canal.
- Obstrucción por sedimentos.
- Fuga a través de juntas o fisuras.
- Rotura del sistema provisional.
- Desacople de la tubería.
- Sobrepresión.
- Acumulación de aire.
- Erosión ocasionada por descarga no controlada.
- Pérdida de agua cruda.

7.8.5. Peligros naturales

- Lluvias intensas.
- Sismos.
- Movimientos en masa.
- Crecidas.
- Descargas atmosféricas.
- Vientos fuertes.
- Caída de árboles o material natural sobre la conducción.

7.8.6. Peligros operativos

- Error de maniobra.
- Cierre o apertura brusca de válvulas.
- Falta de monitoreo.
- Mantenimiento insuficiente.
- Operación por encima de los parámetros establecidos.
- Falla de equipos.
- Interrupción de energía.





- Comunicación tardía.
- Ingreso de personal no autorizado.

7.8.7. Peligros durante la respuesta

- Caída del personal a desnivel.
- Atrapamiento por derrumbe.
- Impacto por cargas suspendidas.
- Contacto con elementos cortantes.
- Electrocutación.
- Quemaduras durante soldadura.
- Liberación súbita de presión.
- Inundación del área de trabajo.
- Accidente de maquinaria.
- Trabajo nocturno con iluminación insuficiente.

7.9. EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD

7.9.2. Vulnerabilidad física y estructural

El canal posee aproximadamente 65 años de antigüedad y presenta sectores sometidos a erosión, deformación del terreno e inestabilidad. Para el concreto existente se adoptó conservadoramente una resistencia de:

$f_c = 110 \text{ kg/cm}^2$

El valor representa el menor resultado esclerométrico registrado. Aunque el concreto conserva capacidad para condiciones normales de servicio, la seguridad estructural disminuye notablemente cuando se pierde el apoyo del terreno.

Se considera vulnerabilidad estructural alta en sectores que presenten:

- Vacíos bajo la losa.
- Fisuras abiertas.
- Asentamientos.
- Separación de juntas.
- Pérdida de recubrimiento.
- Concreto disgregado.
- Muros desplazados.
- Tapas fracturadas.
- Filtraciones activas.

7.9.3. Vulnerabilidad geotécnica

La vulnerabilidad aumenta en:

- Taludes empinados.
- Terrenos saturados.
- Sectores erosionados.
- Rellenos no controlados.
- Zonas sin drenaje.
- Áreas con lavado de finos.
- Sectores próximos a cursos de agua.
- Accesos con posibilidad de interrupción.





7.9.4. Vulnerabilidad hidráulica

Se considera alta cuando:

- No existe conducción alternativa.
- El caudal no puede desviarse.
- No se dispone de válvulas o compuertas operativas.
- La interrupción afecta directamente a la PTAP.
- El tiempo de almacenamiento disponible es reducido.
- No existen reservas suficientes.
- El llenado y vaciado no pueden controlarse gradualmente.

7.9.5. Vulnerabilidad operativa

Comprende:

- Falta de inspecciones periódicas.
- Ausencia de instrumentos de monitoreo.
- Directorios desactualizados.
- Personal insuficiente.
- Equipos fuera de servicio.
- Falta de repuestos.
- Dependencia de proveedores externos.
- Ausencia de turnos de emergencia.
- Falta de procedimientos escritos.

7.9.6. Vulnerabilidad logística

La vulnerabilidad logística se incrementa cuando existen:

- Vías angostas o interrumpidas.
- Dificultad para ingresar grúas.
- Falta de zonas de acopio.
- Distancia considerable a proveedores.
- Ausencia de combustible de reserva.
- Falta de iluminación.
- Deficiencias de comunicación.
- Condiciones climáticas adversas.

7.9.7. Vulnerabilidad del servicio

La interrupción del canal puede afectar:

- La captación y transporte de agua cruda.
- La producción de agua potable.
- Los reservorios.
- La continuidad del abastecimiento.
- Los establecimientos de salud.
- Los servicios públicos esenciales.
- La población usuaria.





Las empresas prestadoras deben activar medidas de contingencia y mecanismos alternativos de abastecimiento ante interrupciones, además de comunicar oportunamente las medidas adoptadas.

7.10. DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO

Escenario ER-1: anomalía sin interrupción

Se identifican filtraciones, fisuras pequeñas, erosión superficial o movimientos menores, pero el canal continúa operando.

Consecuencia esperada: deterioro progresivo si no se interviene.

Escenario ER-2: afectación localizada

Se produce pérdida parcial de apoyo, fisuración o fuga localizada sin interrupción total.

Consecuencia esperada: reducción del caudal y riesgo de ampliación del daño.

Escenario ER-3: colapso parcial

Se pierde un tramo de losa, muro o tapa, pero existe posibilidad de aislar el sector.

Consecuencia esperada: interrupción parcial y necesidad de estabilización inmediata.

Escenario ER-4: interrupción total

El canal deja de conducir agua hacia la planta.

Consecuencia esperada: afectación directa de la producción y necesidad de instalar la conducción provisional.

Escenario ER-5: colapso progresivo

El daño se extiende por socavación, movimiento del terreno o pérdida sucesiva de apoyo.

Consecuencia esperada: mayor longitud de intervención, dificultad de acceso y riesgo para el personal.

Escenario ER-6: falla del sistema provisional

Puede producirse por:

- Asentamiento de dados.
- Falla de una columna.
- Desplazamiento de un acople.
- Rotura de tubería.
- Sobrepresión.
- Socavación de los apoyos.

Consecuencia esperada: segunda interrupción del servicio y necesidad de reparación inmediata.

Escenario ER-7: emergencia combinada

Colapso del canal acompañado de lluvia intensa, deslizamiento, sismo o interrupción de accesos.

Consecuencia esperada: reducción de la capacidad de respuesta y necesidad de apoyo externo.

7.11. ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE RIESGOS

Para la valoración se adopta una metodología semicuantitativa:

$R = P \times I$

Donde:





R = nivel de riesgo.

P = probabilidad.

I = impacto o consecuencia.

7.7.1 Probabilidad

Valor	Categoría	Descripción
1	Rara	Evento poco probable
2	Poco probable	Puede ocurrir en condiciones excepcionales
3	Posible	Puede ocurrir durante la operación
4	Probable	Existen antecedentes o indicios claros
5	Muy probable	Evento en desarrollo o de ocurrencia inminente

7.7.2 Impacto

Valor	Categoría	Descripción
1	Menor	Sin interrupción y daño fácilmente reparable
2	Moderado	Interrupción breve y daño localizado
3	Significativo	Afectación parcial del servicio
4	Grave	Interrupción total y daño importante
5	Crítico	Colapso mayor, peligro para personas o afectación prolongada

7.7.3 Clasificación

Resultado	Nivel
1 – 4	Bajo
5 – 9	Moderado
10 – 16	Alto
17 – 25	Muy Alto

7.12. EVALUACIÓN Y MATRIZ DE RIESGOS

La evaluación de riesgos se efectuó mediante una metodología semicuantitativa basada en la combinación de la probabilidad de ocurrencia (P) y el impacto o consecuencia (I) de cada evento identificado durante la evaluación del canal de conducción y del sistema provisional proyectado. El nivel de riesgo se determinó mediante la siguiente expresión:

$$R=P \times I$$

donde:

P: Probabilidad de ocurrencia del evento.

I: Impacto o consecuencia sobre la infraestructura, la continuidad del servicio o la seguridad de las personas.

R: Nivel de riesgo.

TABLA 7.8-1 CLASIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE RIESGO

VALOR DEL RIESGO	NIVEL
1 – 4	Bajo
5 – 9	Medio
10 – 16	Alto
17 – 25	Muy Alto

Para efectos de la presente evaluación se adoptó la siguiente clasificación:





Como resultado de la evaluación realizada, se obtuvo la matriz de riesgos que se presenta a continuación, en la cual se identifican los principales eventos que podrían comprometer la estabilidad estructural del canal, la continuidad del abastecimiento y la seguridad durante la operación del sistema provisional.

TABLA 7.8-2 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGOS DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y DEL SISTEMA PROVISIONAL

Código	Evento	Causa principal	P	I	Riesgo	Nivel	Control prioritario
R-01	Socavación bajo la losa	Filtración y lavado de finos	5	5	25	Muy alto	Inspección, drenaje y estabilización
R-02	Colapso del canal	Pérdida progresiva de apoyo	4	5	20	Muy alto	Aislamiento e instalación de bypass
R-03	Deslizamiento de talud	Saturación y erosión	4	5	20	Muy alto	Monitoreo y restricción de acceso
R-04	Interrupción total	Rotura o colapso estructural	4	5	20	Muy alto	Activar respuesta y conducción provisional
R-05	Falla de columna	Asentamiento o falta de arriostre	3	5	15	Alto	Revisión de datos y arriostramiento
R-06	Desacople de tubería	Movimiento axial o apriete deficiente	3	5	15	Alto	Torque, restricción axial y monitoreo
R-07	Rotura de tubería	Impacto, sobrepresión o apoyo deficiente	2	5	10	Alto	Prueba gradual y protección
R-08	Falla de dado	Terreno erosionado	4	4	16	Alto	Mejoramiento y control topográfico
R-09	Caída de trabajador	Talud, altura o superficie húmeda	3	5	15	Alto	Barandas, línea de vida y supervisión
R-10	Golpe por izaje	Carga suspendida	3	5	15	Alto	Plan de izaje y zona de exclusión
R-11	Demora logística	Acceso o falta de repuestos	4	4	16	Alto	Stock y proveedores alternos
R-12	Falla de comunicación	Cobertura o equipos insuficientes	3	4	12	Alto	Radios y medios alternativos
R-13	Sobrepresión	Maniobra brusca	2	5	10	Alto	Llenado gradual y control de presión
R-14	Contaminación del agua	Ingreso de sedimentos o materiales	3	4	12	Alto	Limpieza, purga y control de calidad
R-15	Interrupción de acceso	Deslizamiento o lluvia	3	4	12	Alto	Ruta alternativa y maquinaria disponible





Los riesgos clasificados como Muy Altos requieren la ejecución inmediata de medidas de control, estabilización y respuesta operativa. Los riesgos Altos deberán ser gestionados mediante acciones preventivas obligatorias antes o durante la operación del sistema provisional. Los riesgos Medios serán objeto de monitoreo permanente y mantenimiento preventivo, mientras que los riesgos Bajos serán controlados mediante las prácticas operativas ordinarias y las inspecciones programadas.

7.12.2. *Articulación entre los puntos críticos y la gestión reactiva*

La identificación y priorización de los puntos críticos desarrollada en el Capítulo II constituye la base técnica para la planificación de las acciones de preparación, respuesta y rehabilitación contempladas en el presente Plan de Gestión Reactiva.

Cada punto crítico presenta condiciones particulares de amenaza, vulnerabilidad, probabilidad de falla y afectación potencial sobre la continuidad del abastecimiento de agua cruda hacia las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II. En consecuencia, las medidas de respuesta deberán ejecutarse considerando las características específicas de cada sector, priorizando aquellos cuya falla pueda comprometer la continuidad del servicio o la seguridad de las personas.

La articulación entre el diagnóstico técnico y la gestión reactiva permite:

- Determinar el nivel de alerta aplicable a cada punto crítico.
- Establecer las acciones inmediatas de inspección, aislamiento, control y rehabilitación.
- Identificar a los responsables de la respuesta.
- Determinar los recursos humanos, equipos y materiales requeridos.
- Vincular cada escenario con el Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) correspondiente.
- Priorizar la movilización de recursos hacia los sectores con mayor probabilidad de falla.

TABLA 7.8-3 MATRIZ DE ARTICULACIÓN ENTRE LOS PUNTOS CRÍTICOS, NIVELES DE ALERTA Y RESPUESTA OPERATIVA

Punto crítico	Amenaza principal	Nivel de riesgo	Consecuencia Operativa	Nivel de alerta	Acción inmediata	Responsable	Código POE	Tiempo Máximo de Respuesta
P C-01	Erosión superficial y deficiencia de drenaje	Medio	Deterioro progresivo de la plataforma de apoyo	Verde	Inspección, limpieza y control del drenaje	Responsable de mantenimiento	POE-01	24 h
P C-02	Infiltración, humedad y pérdida localizada de material	Medio	Asentamiento o formación de vacíos bajo el canal	Verde	Inspección especializada, reducción preventiva del caudal y monitoreo	Jefe técnico de operaciones	POE-02	12 h
P C-03	Inestabilidad de talud y	Alto	Desplazamiento del terreno y	Amarilla	Delimitar, controlar el flujo y	Coordinador de emergencias	POE-03	6 h





EPS SEDA HUÁNUCO S.A.



	procesos de erosión		afectación parcial del canal		movilizar equipo técnico	a		
P C-04	Socavación, infiltración y pérdida del terreno de apoyo	Muy Alto	Fisuración, deformación o colapso parcial	Roja	Aislar inmediatamente el área, suspender o controlar el flujo, estabilizar provisionalmente el terreno e iniciar el monitoreo estructural.	Coordinador de emergencia	PO E-04	2 h
P C-05	Colapso del canal e inestabilidad del talud en Pucuchinche	Muy Alto	Interrupción parcial o total del abastecimiento	Roja	Suspender el acceso, aislar el sector, interrumpir o controlar el flujo y activar inmediatamente el sistema provisional de conducción mediante tubería HDPE.	Gerente General / Coordinador de Emergencia	PO E-05	INMEDIATO
P C-06	Erosión activa y pérdida progresiva de la plataforma	Alto	Pérdida de soporte e interrupción futura	Amari	Implementar drenaje provisional, protección del talud, monitoreo geotécnico y evaluación estructural.	Jefe técnico de operaciones	PO E-06	6 H
P C-07	Escorrentía superficial, cárcavas e inestabilidad potencial	Medio	Evolución progresiva de la erosión y afectación futura	Verde	Inspección periódica, control del drenaje y protección superficial	Responsable de mantenimiento	PO E-07	24 H





La presente matriz constituye el vínculo operativo entre el diagnóstico técnico desarrollado en el Capítulo II y los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE) establecidos en los numerales siguientes, permitiendo definir el nivel de alerta, la autoridad responsable, los recursos requeridos y las acciones inmediatas para cada escenario de emergencia identificado en el corredor hidráulico.

7.12.3. Criterios de aplicación y Actualización

La activación de las acciones indicadas en la matriz deberá considerar la evolución real del evento. Un punto crítico inicialmente clasificado en alerta verde podrá pasar a alerta amarilla o roja cuando se presenten, entre otras, las siguientes condiciones:

- Incremento acelerado de la erosión;
- Aparición o ampliación de grietas;
- Asentamientos o desplazamientos del terreno;
- Filtraciones significativas;
- Formación de vacíos debajo de la losa;
- Reducción del caudal conducido;
- Deformación de los elementos del canal;
- Deslizamiento de taludes;
- Colapso parcial o total;
- Riesgo para el personal o la población.

La actualización de la presente matriz será responsabilidad del Coordinador de Emergencia, con el apoyo del equipo técnico multidisciplinario de la EPS SEDA Huánuco S.A., debiendo registrarse las modificaciones efectuadas y las medidas correctivas implementadas durante la atención de cada evento.

7.13. NIVELES DE EMERGENCIA Y ACTIVACIÓN DEL PLAN

7.13.2. Generalidades

El presente Plan de Gestión Reactiva establece niveles de emergencia con la finalidad de definir criterios objetivos para la activación progresiva de las acciones de respuesta, de acuerdo con la magnitud del evento, el nivel de afectación de la infraestructura, el riesgo para las personas y la continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable.

La activación de cada nivel permitirá movilizar oportunamente los recursos humanos, equipos, materiales y medios logísticos necesarios para controlar la emergencia, minimizar los daños y restablecer la operación del sistema en el menor tiempo posible.

La clasificación adoptada se encuentra vinculada a la evaluación de riesgos desarrollada en el numeral 7.8 y a la identificación de los puntos críticos descritos en el Capítulo II del presente informe.



**TABLA 7.9-1. NIVELES DE EMERGENCIA Y ACTIVACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN REACTIVA**

Nivel de alerta	Condición de activación	Alcance de la emergencia	Responsable de activación	Acciones principales
Verde	Presencia de erosión superficial, pequeñas filtraciones, fisuras estables o deterioros menores que no comprometen la continuidad del servicio.	Emergencia controlable mediante actividades de operación y mantenimiento.	Responsable de Mantenimiento	Inspección, monitoreo, limpieza de drenajes, control preventivo y seguimiento técnico.
Amarilla	Incremento de filtraciones, asentamientos, pérdida parcial del apoyo del canal, inestabilidad localizada del talud o reducción parcial del caudal.	Emergencia que requiere intervención técnica especializada y movilización parcial de recursos.	Jefe Técnico de Operaciones	Activación parcial del Comité de Emergencia, control del flujo, evaluación estructural y geotécnica, estabilización provisional y preparación del sistema de conducción temporal.
Roja	Colapso parcial o total del canal, pérdida significativa del terreno de apoyo, interrupción del abastecimiento, riesgo para las personas o posibilidad de colapso inminente.	Emergencia mayor que compromete la continuidad del servicio y requiere respuesta inmediata.	Gerente General / Coordinador de Emergencia	Activación total del Plan de Gestión Reactiva, aislamiento del área, suspensión o control del flujo, implementación inmediata del sistema provisional mediante tubería HDPE, coordinación con autoridades y restablecimiento progresivo del servicio.

7.13.3. Criterios para la activación del plan

La activación del presente Plan de Gestión Reactiva procederá cuando durante la inspección, operación o monitoreo del sistema se identifique cualquiera de las siguientes condiciones:

- Formación de cavidades o vacíos debajo de la losa de fondo.
- Incremento acelerado de procesos de erosión o socavación.
- Deslizamientos o movimientos del terreno que comprometan la estabilidad del canal.
- Aparición de grietas estructurales o deformaciones anormales.
- Reducción significativa del caudal conducido.
- Interrupción parcial o total del abastecimiento de agua cruda.
- Colapso de estructuras de apoyo o del sistema provisional.
- Riesgo inminente para el personal, terceros o infraestructura estratégica.
- Ocurrencia de lluvias extraordinarias, sismos u otros fenómenos naturales que incrementen la vulnerabilidad del sistema.

7.13.4. Autoridad para la Activación

La decisión de activar el presente Plan corresponderá al Gerente General de la EPS SEDA Huánuco S.A., o al funcionario que este designe como Coordinador de Emergencia.

En situaciones de peligro inminente que comprometan la integridad de las personas o la estabilidad del canal de conducción, el Jefe Técnico de Operaciones podrá disponer de manera inmediata el aislamiento del área, la suspensión preventiva de las actividades y la ejecución de





las primeras acciones de control, debiendo informar inmediatamente al Coordinador de Emergencia para la formalización de la activación del Plan.

7.13.5. Desactivación del plan

La emergencia podrá darse por concluida cuando se verifique el cumplimiento de las siguientes condiciones:

- Eliminación o control de la causa que originó la emergencia.
- Restablecimiento de la estabilidad estructural y geotécnica del sector afectado.
- Operación segura del sistema provisional o definitivo.
- Restitución del abastecimiento de agua potable dentro de condiciones operativas aceptables.
- Verificación de la seguridad para el personal y terceros.
- Emisión del informe técnico correspondiente por parte del Coordinador de Emergencia.

La desactivación será autorizada por el Gerente General o el Coordinador de Emergencia, dejando constancia de las acciones ejecutadas, recursos utilizados, daños registrados, tiempos de respuesta y recomendaciones para evitar la recurrencia del evento.

7.13.6. Escenarios operativos de respuesta

Nivel Operativo	Nivel de Alerta Asociado	Condición	Acción
Nivel 0	Operación Normal	Sin evidencias de daño	Inspección rutinaria y mantenimiento preventivo
Nivel 1	Verde	Daños menores	Monitoreo e inspección inmediata
Nivel 2	Amarilla	Daños localizados	Activación parcial del Comité de Emergencia
Nivel 3	Roja	Colapso parcial o interrupción del servicio	Activación total del Plan
Nivel 4	Roja (Emergencia Crítica)	Evento supera la capacidad institucional	Solicitud de apoyo externo y abastecimiento alternativo

Nivel 0: Operación Norma

No existen evidencias de daño activo en el canal de conducción ni en las estructuras asociadas. La infraestructura opera dentro de sus parámetros normales y únicamente se ejecutan actividades rutinarias de operación, inspección y mantenimiento preventivo.

Acciones:

- Inspección programada.
- Limpieza del canal y drenajes.
- Registro del caudal.
- Control de juntas.
- Verificación de taludes.
- Registro fotográfico.





NIVEL 1: ALERTA PREVENTIVA

Se detectan filtraciones, erosión superficial, fisuras estables, asentamientos menores o cualquier condición que pueda evolucionar hacia una emergencia.

Acciones:

- Inspección inmediata.
- Intensificación del monitoreo.
- Restricción preventiva del acceso.
- Preparación del personal y equipos.
- Verificación del stock estratégico.
- Comunicación interna.

NIVEL 2: EMERGENCIA PARCIAL

Existe daño localizado o reducción parcial del caudal sin interrupción total del servicio.

Acciones:

- Activación parcial del Comité de Emergencia.
- Control o reducción del caudal.
- Aislamiento del sector.
- Estabilización provisional.
- Preparación del sistema provisional.

NIVEL 3: EMERGENCIA GRAVE

Existe interrupción total o parcial del servicio, colapso estructural significativo o riesgo inminente de propagación del daño.

Acciones:

- Activación total del Plan de Gestión Reactiva.
- Suspensión o control del flujo.
- Evaluación técnica inmediata.
- Implementación del sistema provisional mediante tubería HDPE.
- Comunicación con autoridades competentes.
- Operación continua de las brigadas.

NIVEL 4: EMERGENCIA CRÍTICA

El evento supera la capacidad operativa de la EPS o compromete simultáneamente la infraestructura, la seguridad de la población y la continuidad del abastecimiento.

Acciones:

- Solicitud de apoyo institucional externo.
- Coordinación con entidades competentes.
- Movilización extraordinaria de recursos.
- Implementación del abastecimiento alternativo mediante camiones cisterna.
- Evaluación de medidas excepcionales conforme a la normativa vigente.

7.14. ORGANIZACIÓN PARA LA RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS

7.14.2. Generalidades

La organización para la respuesta ante emergencias constituye el conjunto de responsabilidades, funciones, recursos humanos y mecanismos de coordinación establecidos





para garantizar una atención oportuna, eficiente y segura frente a eventos que comprometan la estabilidad del canal de conducción, la continuidad del abastecimiento de agua potable y la integridad del personal involucrado.

La estructura organizacional propuesta permite establecer una cadena de mando claramente definida, asignar responsabilidades específicas y optimizar la utilización de los recursos humanos, materiales y logísticos disponibles durante la atención de la emergencia.

La organización establecida en el presente Plan de Gestión Reactiva se encuentra articulada con los niveles de emergencia definidos en el numeral 7.9, la evaluación de riesgos desarrollada en el numeral 7.8 y los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE) contenidos en los numerales siguientes.

7.14.3. Organización del comité de emergencia

La atención de las emergencias será dirigida por el Comité de Emergencia de la EPS SEDA Huánuco S.A., integrado por personal técnico y administrativo responsable de la toma de decisiones, la coordinación operativa y el restablecimiento del servicio.

TABLA 7.10-1. ORGANIZACIÓN DEL COMITÉ DE EMERGENCIA

Cargo	Función Principal
Gerente General	Coordinador General de la Emergencia y máxima autoridad para la toma de decisiones.
Coordinador de Emergencia	Dirigir las acciones operativas, coordinar las brigadas y supervisar la ejecución del Plan.
Jefe Técnico de Operaciones	Evaluar técnicamente la emergencia, definir la estrategia de intervención y supervisar la ejecución de los trabajos.
Responsable de Seguridad y Salud en el Trabajo	Identificar los riesgos, establecer medidas de seguridad y proteger al personal durante la emergencia.
Responsable de Logística	Gestionar el abastecimiento, transporte y disponibilidad de materiales, equipos y maquinaria.
Responsable de Comunicaciones	Mantener la comunicación interna y externa con autoridades, instituciones y población usuaria.
Responsable de Control de Calidad	Verificar la calidad de los materiales, procesos constructivos y funcionamiento del sistema provisional.
Brigada de Evaluación	Inspeccionar los daños, registrar evidencias y elaborar reportes técnicos.
Brigada de Estabilización	Ejecutar acciones para controlar la erosión, estabilizar taludes y asegurar la infraestructura existente.
Brigada de Montaje	Instalar el sistema provisional de conducción y ejecutar las labores de montaje estructural.
Brigada Hidráulica	Controlar el caudal, ejecutar pruebas hidráulicas y supervisar la operación del sistema provisional.
Brigada de Primeros Auxilios	Brindar atención inmediata al personal afectado y coordinar la asistencia médica cuando sea necesaria.

7.14.4. Cadena de mando

Durante la atención de una emergencia se aplicará una estructura jerárquica única, con el propósito de garantizar una adecuada coordinación institucional y evitar la duplicidad de funciones.





El Gerente General ejercerá la dirección general de la emergencia, pudiendo delegar la conducción operativa en el Coordinador de Emergencia cuando las circunstancias lo requieran.

El Coordinador de Emergencia dirigirá las acciones de respuesta y coordinará permanentemente con el Jefe Técnico de Operaciones, quien tendrá a su cargo la evaluación técnica del evento y la supervisión de las brigadas operativas.

Las brigadas de evaluación, estabilización, montaje, hidráulica y primeros auxilios reportarán permanentemente al Jefe Técnico de Operaciones, quien consolidará la información técnica y la comunicará al Coordinador de Emergencia para la toma de decisiones.

Toda decisión relacionada con la suspensión del servicio, implementación del sistema provisional, movilización extraordinaria de recursos o solicitud de apoyo externo deberá ser autorizada por el Gerente General o por el Coordinador de Emergencia, según corresponda.

7.14.5. Funciones y responsabilidades

Las principales funciones de los integrantes del Comité de Emergencia son las siguientes:

GERENTE GENERAL

- Declarar la activación y desactivación del Plan de Gestión Reactiva.
- Autorizar la movilización extraordinaria de recursos.
- Coordinar con las autoridades competentes.
- Aprobar las acciones necesarias para el restablecimiento del servicio.

COORDINADOR DE EMERGENCIA

- Dirigir las acciones operativas durante la emergencia.
- Coordinar el trabajo de las brigadas.
- Supervisar el cumplimiento de los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE).
- Informar permanentemente al Gerente General sobre la evolución de la emergencia.

JEFE TÉCNICO DE OPERACIONES

- Evaluar técnicamente los daños.
- Definir las medidas de estabilización.
- Supervisar la instalación del sistema provisional de conducción.
- Verificar las condiciones para el restablecimiento del servicio.

Responsable de Seguridad y Salud en el Trabajo

- Evaluar permanentemente los riesgos ocupacionales.
- Delimitar zonas de exclusión.
- Verificar el uso de equipos de protección personal.
- Suspender actividades inseguras cuando exista riesgo para el personal.

Responsable de Logística

- Gestionar el abastecimiento de materiales y equipos.
- Coordinar el transporte de maquinaria y personal.
- Mantener actualizado el inventario de recursos estratégicos.
- Garantizar la disponibilidad del stock de emergencia.





Responsable de Comunicaciones

- Activar la cadena de comunicaciones.
- Mantener comunicación con las autoridades competentes.
- Registrar las comunicaciones efectuadas.
- Difundir la información autorizada a los usuarios cuando corresponda.

Responsable de Control de Calidad

- Verificar la calidad de los materiales utilizados.
- Supervisar la correcta ejecución del montaje.
- Revisar las uniones, soldaduras y conexiones del sistema provisional.
- Validar los resultados de las pruebas hidráulicas.

7.14.6. Coordinación interinstitucional

Cuando la magnitud de la emergencia supere la capacidad operativa de la EPS SEDA Huánuco S.A., el Coordinador de Emergencia gestionará la coordinación con las entidades competentes para fortalecer las acciones de respuesta y garantizar la continuidad del servicio.

La coordinación podrá realizarse, según la naturaleza del evento, con las siguientes instituciones:

- Municipalidad Provincial de Huánuco.
- Gobierno Regional de Huánuco.
- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).
- Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS).
- Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú.
- Policía Nacional del Perú.
- Empresas contratistas y proveedores estratégicos.
- Otras entidades públicas o privadas cuya intervención resulte necesaria.

La coordinación interinstitucional deberá efectuarse de manera oportuna, manteniendo un registro de las comunicaciones realizadas, recursos movilizados, acuerdos adoptados y acciones ejecutadas durante la atención de la emergencia.

7.14.7. Organización operativa de la respuesta

La estructura organizacional descrita en el presente capítulo constituye la base para la ejecución de los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE), la movilización de recursos, la coordinación de las brigadas y la toma de decisiones durante todas las etapas de la respuesta ante emergencias.

La actuación coordinada de los integrantes del Comité de Emergencia permitirá optimizar el empleo de los recursos disponibles, reducir los tiempos de respuesta, minimizar los daños a la infraestructura y restablecer el servicio de abastecimiento de agua potable en condiciones seguras y dentro de los tiempos previstos por el presente Plan de Gestión Reactiva.

7.15. PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTANDARIZADOS (POE)

7.15.2. Generalidades

Los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE) constituyen el conjunto de acciones técnicas, operativas y administrativas que deberán ejecutarse de manera ordenada





y coordinada durante la atención de las emergencias identificadas en el presente Plan de Gestión Reactiva.

Su finalidad es establecer una secuencia uniforme de actuación que permita controlar oportunamente la emergencia, proteger al personal, minimizar los daños a la infraestructura, garantizar la continuidad del abastecimiento de agua potable y restablecer el servicio en condiciones seguras.

Cada procedimiento ha sido elaborado considerando la evaluación de riesgos desarrollada en el numeral 7.8, los niveles de emergencia establecidos en el numeral 7.9 y la organización para la respuesta descrita en el numeral 7.10.

Los procedimientos serán aplicados por el Comité de Emergencia y las brigadas operativas, de acuerdo con la naturaleza del evento, el nivel de riesgo identificado y los recursos disponibles.

7.15.3. Estructura de los procedimientos operativos

Todos los Procedimientos Operativos Estandarizados desarrollados en el presente Plan comprenderán como mínimo los siguientes aspectos:

- Objetivo.
- Condiciones de activación.
- Responsable.
- Recursos requeridos.
- Procedimiento de actuación.
- Criterios de cierre.
- Registros.

7.15.4. POE-0: Respuesta ante erosión superficial y deficiencia de drenaje

Objetivo

Controlar oportunamente los procesos iniciales de erosión superficial y deficiencias del drenaje, evitando su evolución hacia condiciones que comprometan la estabilidad del canal de conducción.

Condiciones de activación

El presente procedimiento se aplicará cuando se identifique:

- Erosión superficial;
- Obstrucción de drenajes;
- Pequeñas filtraciones;
- Pérdida localizada de material;
- Formación de cárcavas superficiales.

Responsable

Responsable de Mantenimiento, bajo supervisión del Jefe Técnico de Operaciones.

Recursos requeridos

- Personal de mantenimiento.





- Herramientas manuales.
- Material granular.
- Geotextil.
- Equipos topográficos.
- Equipos de comunicación.
- Equipos de protección personal.

Procedimiento

- Delimitar el área afectada.
- Realizar inspección visual.
- Registrar fotográficamente la condición encontrada.
- Limpiar drenajes y retirar material suelto.
- Reponer el material erosionado cuando corresponda.
- Colocar protección superficial mediante geotextil u otra solución temporal.
- Verificar la estabilidad del sector.
- Registrar la intervención ejecutada.
- Programar inspecciones de seguimiento.

Criterios de cierre

El procedimiento concluirá cuando:

- Desaparezcan los procesos activos de erosión;
- El drenaje opere adecuadamente;
- No existan pérdidas adicionales de material;
- El área quede estabilizada.

Registros

- Ficha de inspección.
- Registro fotográfico.
- Parte diario.
- Informe técnico.

7.15.5. **POE-02: Respuesta ante filtraciones y pérdida localizada del terreno de apoyo**

Objetivo

Establecer el procedimiento técnico para la atención inmediata de filtraciones, pérdida localizada de material de fundación y procesos iniciales de socavación que puedan comprometer la estabilidad estructural del canal de conducción y la continuidad del abastecimiento de agua potable.

Condiciones de Activación

El presente procedimiento será activado cuando durante la inspección, operación o monitoreo del sistema se identifique cualquiera de las siguientes condiciones:

- Aparición de filtraciones en la losa de fondo, muros o juntas del canal.
- Lavado de partículas finas debajo de la estructura.
- Formación de vacíos o cavernas bajo la cimentación.
- Humedad permanente asociada a pérdida de material.





- Hundimientos o asentamientos localizados.
- Incremento progresivo de la socavación.
- Reducción de la capacidad portante del terreno de apoyo.

Responsable

La ejecución del procedimiento estará a cargo del Jefe Técnico de Operaciones, con la participación de la Brigada de Evaluación, la Brigada de Estabilización y el responsable de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Recursos Requeridos

- Personal técnico especializado.
- Equipos topográficos.
- Instrumentos para monitoreo de deformaciones.
- Geotextil.
- Geomalla.
- Material granular seleccionado.
- Bolsas de arena.
- Equipos de bombeo, cuando corresponda.
- Herramientas manuales.
- Equipos de comunicación.
- Equipos de protección personal.



Procedimiento de Actuación

1. Delimitar inmediatamente el área afectada y restringir el acceso del personal no autorizado.
2. Realizar una inspección técnica para identificar el origen, magnitud y evolución de la filtración.
3. Registrar fotográficamente las condiciones observadas y georreferenciar el sector afectado.
4. Evaluar la estabilidad del terreno de apoyo mediante inspección visual y control topográfico.
5. Determinar si la filtración compromete la estabilidad estructural del canal o del sistema provisional.
6. Implementar medidas temporales para controlar la pérdida de material mediante drenajes provisionales, colocación de geotextil, rellenos temporales u otras soluciones de emergencia.
7. Incrementar la frecuencia del monitoreo de asentamientos, deformaciones y evolución de la filtración.
8. Cuando exista riesgo de pérdida progresiva del terreno de apoyo, reducir o controlar el caudal de conducción conforme a las instrucciones del Jefe Técnico de Operaciones.
9. Si la evaluación determina riesgo de colapso estructural, activar inmediatamente el POE-04 o el POE-05, según corresponda.
10. Registrar todas las acciones ejecutadas e informar al Coordinador de Emergencia.



Criterios de Cierre

- El procedimiento podrá darse por concluido cuando se verifique que:
- La filtración ha sido controlada.
- No existe pérdida activa de material de fundación.





- El terreno presenta condiciones estables.
- Los parámetros de monitoreo permanecen dentro de los límites establecidos.
- El Jefe Técnico de Operaciones autorice el retorno a las condiciones normales de operación.

Registros

- Durante la ejecución del procedimiento deberán elaborarse los siguientes documentos:
- Ficha de inspección técnica.
- Registro fotográfico georreferenciado.
- Formato de control de filtraciones.
- Registro topográfico de monitoreo.
- Parte diario de intervención.
- Informe técnico de evaluación y cierre del evento.

Relación con Otros Procedimientos

Cuando durante la aplicación del presente procedimiento se evidencie una evolución desfavorable de la emergencia, deberá activarse el procedimiento correspondiente, de acuerdo con la naturaleza del evento:

- POE-03: Respuesta ante deslizamiento de taludes.
- POE-04: Respuesta ante pérdida del apoyo estructural del canal.
- POE-05: Respuesta ante colapso parcial o total del canal de conducción.

7.15.6. *POE-03: Respuesta ante deslizamiento de taludes*

Objetivo

Establecer el procedimiento técnico para la atención inmediata de deslizamientos, desprendimientos e inestabilidad de taludes que puedan afectar la estabilidad del canal de conducción, comprometer la seguridad del personal o interrumpir el abastecimiento de agua potable.

Condiciones de Activación

El presente procedimiento se activará cuando durante la inspección, operación o monitoreo del sistema se detecte cualquiera de las siguientes condiciones:

- Deslizamiento parcial o total de taludes.
- Formación de grietas longitudinales o transversales en la corona del talud.
- Desprendimiento de bloques de roca o material suelto.
- Incremento acelerado de la erosión superficial.
- Saturación del terreno por lluvias intensas o filtraciones.
- Deformaciones del terreno que comprometan la estabilidad del canal.
- Riesgo inminente de colapso del talud.

Responsable

La ejecución del presente procedimiento estará a cargo del Jefe Técnico de Operaciones, con el apoyo de la Brigada de Evaluación, la Brigada de Estabilización, el Responsable de Seguridad y Salud en el Trabajo y el Coordinador de Emergencia, cuando la magnitud del





evento lo requiera.

Recursos Requeridos

- Personal técnico especializado.
- Equipos topográficos.
- Dron para reconocimiento aéreo (cuando las condiciones lo permitan).
- Maquinaria pesada (excavadora, cargador frontal y volquete).
- Geotextil.
- Geomalla.
- Material granular.
- Sacos terreros.
- Herramientas manuales.
- Equipos de comunicación.
- Equipos de protección personal.

Procedimiento de Actuación

1. Suspender inmediatamente el ingreso de personal al área comprometida y establecer un perímetro de seguridad.
2. Delimitar la zona de riesgo mediante señalización visible y barreras de seguridad.
3. Realizar una evaluación preliminar para determinar la magnitud del deslizamiento y el nivel de afectación del canal.
4. Registrar fotográficamente y georreferenciar el área afectada.
5. Ejecutar un reconocimiento topográfico para identificar movimientos activos del terreno.
6. Evaluar si el deslizamiento compromete la estabilidad estructural del canal de conducción o del sistema provisional.
7. Implementar medidas temporales de estabilización, tales como drenajes provisionales, retiro de material inestable, conformación de bermas, colocación de geotextil, geomalla u otros sistemas de protección temporal.
8. Cuando exista riesgo de propagación del deslizamiento, reducir o suspender el caudal conforme a las instrucciones del Jefe Técnico de Operaciones.
9. Si la estabilidad del canal se encuentra comprometida, activar inmediatamente el POE-04 o el POE-05, según la magnitud del evento.
10. Mantener monitoreo permanente del comportamiento del talud hasta verificar su estabilización.

Criterios de Cierre

El procedimiento podrá darse por concluido cuando:

- El movimiento del talud haya cesado.
- No existan desprendimientos activos.
- Se verifique la estabilidad del terreno mediante inspección técnica.
- El canal pueda operar en condiciones seguras.
- El Coordinador de Emergencia autorice el cierre de la intervención.

Registros

Durante la ejecución del procedimiento deberán elaborarse los siguientes documentos:





- Ficha de inspección geotécnica.
- Registro fotográfico georreferenciado.
- Informe topográfico.
- Registro de monitoreo de desplazamientos.
- Parte diario de intervención.
- Informe técnico de estabilización del talud.

Relación con Otros Procedimientos

Cuando el deslizamiento genere pérdida del terreno de apoyo o afecte directamente la estructura del canal, deberán activarse los siguientes procedimientos:

- POE-04: Respuesta ante pérdida del apoyo estructural del canal.
- POE-05: Respuesta ante colapso parcial o total del canal de conducción.

Observaciones Técnicas

Durante la atención de un deslizamiento se deberá priorizar la seguridad del personal y evitar el ingreso a sectores con movimientos activos del terreno. Toda intervención deberá ejecutarse únicamente cuando las condiciones de estabilidad permitan el acceso seguro de las brigadas y equipos, privilegiando la protección de la vida humana sobre la recuperación de la infraestructura.



7.15.7. **POE-04: Respuesta ante pérdida del apoyo estructural del canal** **Objetivo**

Establecer el procedimiento técnico para la atención inmediata de situaciones en las que el canal de conducción presente pérdida parcial o progresiva del terreno de apoyo, comprometiendo su estabilidad estructural y aumentando el riesgo de fisuración, deformación o colapso.



Condiciones de Activación

El presente procedimiento será activado cuando durante la inspección, monitoreo o evaluación técnica se identifique cualquiera de las siguientes condiciones:

- Pérdida parcial o total del terreno de apoyo bajo la losa de fondo.
- Formación de cavidades o socavaciones.
- Lavado progresivo de material de fundación.
- Incremento de deformaciones longitudinales del canal.
- Fisuración estructural asociada a pérdida de soporte.
- Asentamientos diferenciales.
- Evidencias de trabajo estructural en condición de elemento suspendido.
- Riesgo inminente de colapso.



Responsable

La ejecución del presente procedimiento estará bajo la responsabilidad del Coordinador de Emergencia, con participación del Jefe Técnico de Operaciones, la Brigada de Evaluación, la Brigada de Estabilización, la Brigada Hidráulica y el Responsable de Seguridad y Salud en el Trabajo.





Recursos Requeridos

- Personal técnico especializado.
- Equipos topográficos.
- Equipos de auscultación estructural.
- Instrumentos de medición de deformaciones.
- Maquinaria pesada.
- Material granular.
- Geotextil.
- Geomalla.
- Concreto de fraguado rápido, cuando corresponda.
- Bolsas de arena.
- Herramientas manuales.
- Equipos de comunicación.
- Equipos de protección personal.

Procedimiento de Actuación

1. Suspender inmediatamente cualquier actividad que incremente las cargas sobre el canal afectado.
2. Delimitar el área comprometida y establecer un perímetro de seguridad.
3. Realizar una inspección estructural y geotécnica del sector afectado.
4. Registrar fotográficamente las patologías observadas y georreferenciar el área.
5. Levantar información topográfica para determinar deformaciones, asentamientos y evolución del daño.
6. Evaluar la longitud comprometida y la magnitud de la pérdida del apoyo estructural.
7. Reducir o suspender el caudal cuando exista riesgo para la estabilidad del canal.
8. Implementar medidas provisionales de estabilización del terreno cuando ello sea técnicamente viable.
9. Verificar permanentemente la evolución de fisuras, deformaciones y asentamientos.
10. Si la evaluación determina riesgo de colapso parcial o total, activar inmediatamente el POE-05.
11. Informar al Coordinador de Emergencia y mantener vigilancia permanente hasta controlar el evento.

Medidas de Seguridad

Durante la ejecución del presente procedimiento deberán adoptarse, como mínimo, las siguientes medidas:

- Prohibir el ingreso de personal no autorizado.
- Restringir el tránsito de maquinaria pesada sobre el sector comprometido.
- Mantener vigilancia permanente del comportamiento estructural.
- Utilizar equipos de protección personal.
- Establecer rutas seguras de evacuación.
- Suspender inmediatamente las actividades cuando se detecte incremento de deformaciones.

Criterios de Cierre

El procedimiento podrá darse por concluido cuando:

- Se haya estabilizado el terreno de apoyo.





- No existan deformaciones progresivas.
- Los asentamientos permanezcan dentro de límites aceptables.
- El canal opere sin riesgo estructural.
- El Coordinador de Emergencia autorice el cierre de la intervención.

Registros

Durante la ejecución deberán generarse los siguientes documentos:

- Ficha de inspección estructural.
- Registro fotográfico georreferenciado.
- Informe topográfico.
- Registro de deformaciones y asentamientos.
- Parte diario de intervención.
- Informe técnico de estabilización.
- Acta de autorización para el restablecimiento de las condiciones normales de operación.

Relación con Otros Procedimientos

Cuando la pérdida del apoyo estructural evolucione hacia un colapso parcial o total del canal, deberá activarse inmediatamente el POE-05: Respuesta ante Colapso del Canal de Conducción, constituyendo este el procedimiento de máxima prioridad del presente Plan de Gestión Reactiva.

Observaciones Técnicas

La pérdida del terreno de apoyo constituye uno de los mecanismos de falla más críticos identificados durante la evaluación estructural del canal de conducción. La intervención temprana es fundamental para evitar que la estructura trabaje como un elemento suspendido, condición que incrementa significativamente los esfuerzos de flexión, las deformaciones y la probabilidad de colapso.

7.15.8. *POE-05: Respuesta ante el colapso del canal de conducción*

Objetivo

Establecer el procedimiento técnico y operativo para la atención inmediata de eventos que ocasionen el colapso parcial o total del canal de conducción de agua cruda, garantizando la protección del personal, la reducción de los daños, la implementación del sistema provisional de conducción mediante tubería HDPE y el restablecimiento seguro del abastecimiento de agua hacia las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II.

Condiciones de Activación

El presente procedimiento será activado cuando ocurra cualquiera de las siguientes condiciones:

- Colapso parcial o total del canal de conducción.
- Pérdida total del terreno de apoyo.
- Rotura estructural de la losa, muros o tapas del canal.
- Interrupción total del abastecimiento de agua cruda.





- Deslizamiento de gran magnitud que comprometa la estabilidad del canal.
- Riesgo inminente de colapso detectado por la evaluación técnica.
- Falla del sistema provisional que impida la conducción del caudal.

Responsable

La dirección del procedimiento corresponderá al Coordinador de Emergencia, con la participación del Gerente General, el Jefe Técnico de Operaciones, las brigadas operativas y el responsable de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Recursos Requeridos

Recursos Humanos

- Coordinador de Emergencia.
- Ingeniero Estructural.
- Ingeniero Geotécnico.
- Ingeniero Hidráulico.
- Topógrafo.
- Supervisor de Seguridad.
- Brigadas operativas.
- Operadores de maquinaria.

Equipos

- Excavadora hidráulica.
- Cargador frontal.
- Volquetes.
- Grupo electrógeno.
- Equipo de termofusión.
- Equipo topográfico.
- Dron para inspección.
- Equipos de comunicación.

Materiales

- Tubería HDPE PE100 DN710 SDR17.
- Acoples mecánicos.
- Placas metálicas.
- Columnas metálicas.
- Dados de concreto.
- Geotextil.
- Geomalla.
- Neopreno.
- Pernos de alta resistencia.
- Material granular.

Procedimiento de Actuación

Fase I – Aseguramiento de la zona

1. Activar inmediatamente el Plan de Gestión Reactiva.
2. Suspender el ingreso de personal no autorizado.
3. Delimitar completamente el área de emergencia.
4. Evacuar al personal expuesto.
5. Implementar señalización y zonas de exclusión.





Fase II – Evaluación Inicial

6. Realizar inspección estructural y geotécnica.
7. Levantar información topográfica.
8. Determinar la longitud del tramo colapsado.
9. Evaluar la estabilidad de los taludes.
10. Estimar el volumen del material deslizado.
11. Registrar fotográficamente todos los daños.

Fase III – Control de la Emergencia

12. Suspender o controlar el caudal conforme a las condiciones operativas.
13. Estabilizar provisionalmente el terreno cuando sea posible.
14. Retirar material inestable que represente riesgo inmediato.
15. Habilitar accesos para maquinaria y brigadas.
16. Definir la ubicación de los apoyos del sistema provisional.

Fase IV – Implementación del Sistema Provisional

17. Construir los dados de cimentación.
18. Instalar las columnas metálicas.
19. Colocar las cunas de apoyo.
20. Instalar la tubería HDPE.
21. Ejecutar la termofusión o instalar los acoples mecánicos.
22. Colocar anclajes, pernos y placas.
23. Verificar alineamiento y pendiente.
24. Ejecutar la inspección integral del sistema.

Fase V – Pruebas Hidráulicas

25. Llenar progresivamente la tubería.
26. Purgar completamente el aire.
27. Verificar presión y estanqueidad.
28. Inspeccionar todas las uniones.
29. Verificar apoyos.
30. Corregir cualquier fuga detectada.

Fase VI – Restablecimiento del Servicio

31. Incrementar progresivamente el caudal.
32. Monitorear deformaciones.
33. Controlar asentamientos.
34. Registrar presiones.
35. Verificar la estabilidad del sistema.
36. Autorizar el restablecimiento gradual del abastecimiento.

Medidas de Seguridad

Durante toda la intervención deberán cumplirse las siguientes medidas:

- Uso obligatorio de equipos de protección personal.
- Restricción permanente del acceso al área de emergencia.
- Monitoreo continuo de la estabilidad de los taludes.
- Supervisión permanente durante las maniobras de izaje.
- Verificación diaria de los apoyos estructurales.
- Suspensión inmediata de las actividades ante cualquier condición insegura.
- Comunicación permanente entre todas las brigadas.





Criterios de Cierre

El procedimiento podrá darse por concluido cuando se verifique que:

- El sistema provisional opere de manera estable.
- No existan fugas.
- Los apoyos permanezcan estables.
- Los parámetros hidráulicos se encuentren dentro de los límites de diseño.
- El caudal haya sido restablecido.
- No exista riesgo para el personal.
- El Coordinador de Emergencia autorice el cierre de la emergencia.

Registros

Durante la intervención deberán generarse, como mínimo, los siguientes documentos:

- Acta de activación del Plan.
- Registro fotográfico georreferenciado.
- Informe topográfico.
- Informe estructural.
- Informe geotécnico.
- Registro de soldaduras y uniones.
- Registro de pruebas hidráulicas.
- Registro de monitoreo de deformaciones.
- Parte diario de obra.
- Acta de restablecimiento del servicio.
- Informe técnico final de la emergencia.

Relación con Otros Procedimientos

Este procedimiento constituye el nivel máximo de respuesta previsto en el presente Plan de Gestión Reactiva y se complementa con los siguientes Procedimientos Operativos Estandarizados:

- POE-01: Respuesta ante erosión superficial y deficiencia de drenaje.
- POE-02: Respuesta ante filtraciones y pérdida localizada del terreno de apoyo.
- POE-03: Respuesta ante deslizamiento de taludes.
- POE-04: Respuesta ante pérdida del apoyo estructural del canal.
- POE-06: Monitoreo y seguimiento posterior a la emergencia.
- POE-07: Restablecimiento definitivo de las condiciones operativas.

Observaciones Técnicas

El presente procedimiento constituye el eje principal del Plan de Gestión Reactiva, debido a que establece la secuencia técnica y operativa para enfrentar el escenario de mayor impacto identificado durante la evaluación del canal de conducción. Su aplicación deberá ejecutarse bajo la dirección del Comité de Emergencia y en coordinación con las autoridades competentes cuando la magnitud del evento exceda la capacidad operativa de la EPS SEDA Huánuco S.A.

7.15.9. POE-06: Monitoreo y seguimiento posterior a la emergencia

Objetivo

Establecer el procedimiento para el monitoreo técnico y seguimiento permanente de la infraestructura intervenida, del sistema provisional de conducción y de las condiciones geotécnicas del sector afectado, garantizando que la operación se mantenga dentro de





condiciones seguras hasta la ejecución de la solución definitiva.

Condiciones de Activación

El presente procedimiento será aplicado inmediatamente después de restablecer el abastecimiento mediante el sistema provisional de conducción y permanecerá vigente hasta la implementación de la solución definitiva.

Responsable

La supervisión estará a cargo del Jefe Técnico de Operaciones, con la participación de la Brigada de Evaluación, la Brigada Hidráulica y el Responsable de Control de Calidad.

Recursos Requeridos

- Personal técnico.
- Equipos topográficos.
- Instrumentos de medición de deformaciones.
- Manómetros.
- Equipos de comunicación.
- Vehículo para inspecciones.
- Formatos de inspección y monitoreo.

Procedimiento de Actuación

1. Programar inspecciones periódicas del sistema provisional.
2. Verificar diariamente la estabilidad de los apoyos estructurales.
3. Controlar la presencia de nuevas filtraciones, fisuras o asentamientos.
4. Registrar la presión de operación y el caudal conducido.
5. Inspeccionar el estado de las uniones, pernos, soldaduras y apoyos.
6. Verificar la estabilidad de los taludes y del terreno de fundación.
7. Registrar fotográficamente cualquier variación significativa.
8. Actualizar los registros de monitoreo y emitir reportes técnicos.
9. Informar inmediatamente al Coordinador de Emergencia cualquier condición que represente un incremento del riesgo.
10. Activar nuevamente el procedimiento correspondiente cuando se detecte una condición que comprometa la seguridad del sistema.

Frecuencia del Monitoreo

TABLA 7.11-1. FRECUENCIA DE INSPECCIÓN DEL SISTEMA PROVISIONAL

PERÍODO	FRECUENCIA
Primeras 24 horas	Monitoreo continuo
Primera semana	Inspección diaria
Primer mes	Dos inspecciones por semana
Operación posterior	Inspección semanal
Después de lluvias intensas o sismos	Inspección inmediata

Criterios de Cierre

El monitoreo podrá concluir cuando:

- Se implemente la solución definitiva.
- Se retire el sistema provisional.
- Se verifique la estabilidad permanente del canal.





- La Gerencia General autorice el cierre definitivo de la emergencia.

Registros

- Registro de monitoreo.
- Registro topográfico.
- Registro hidráulico.
- Registro fotográfico.
- Informe semanal.
- Informe mensual.
- Informe final de seguimiento.

7.15.10. POE-07: Restablecimiento definitivo del servicio y cierre de la emergencia

Objetivo

Establecer el procedimiento para concluir formalmente la emergencia, restablecer las condiciones normales de operación del sistema de conducción y documentar las acciones ejecutadas durante la respuesta.

Condiciones de Activación

Este procedimiento se aplicará cuando:

- La emergencia haya sido controlada.
- El sistema opere en condiciones seguras.
- Se haya implementado la solución definitiva o exista autorización para operar con el sistema provisional.

Responsable

El procedimiento será dirigido por el Coordinador de Emergencia, con participación del Gerente General, el Jefe Técnico de Operaciones y el Responsable de Control de Calidad.

Recursos Requeridos

- Personal técnico.
- Equipos de inspección.
- Instrumentos topográficos.
- Formatos de cierre.
- Registro documental de la emergencia.

Procedimiento de Actuación

1. Verificar que la infraestructura opere dentro de los parámetros de diseño.
2. Confirmar la estabilidad estructural y geotécnica del sector intervenido.
3. Revisar el funcionamiento hidráulico del sistema.
4. Verificar la ausencia de fugas, deformaciones y asentamientos.
5. Confirmar que las medidas de seguridad permanezcan implementadas.
6. Consolidar toda la documentación generada durante la emergencia.
7. Elaborar el informe técnico final.
8. Identificar las lecciones aprendidas y proponer acciones de mejora.
9. Actualizar el Plan de Gestión Reactiva cuando corresponda.
10. Emitir el acta de cierre de la emergencia.





Criterios para Declarar el Restablecimiento del Servicio

El servicio podrá considerarse restablecido cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- Operación hidráulica estable.
- Presiones dentro de los parámetros establecidos.
- Ausencia de fugas.
- Estabilidad de apoyos y taludes.
- Condiciones seguras para el personal.
- Conformidad técnica emitida por el Jefe Técnico de Operaciones.
- Aprobación del Gerente General o del Coordinador de Emergencia.

Registros

- Acta de cierre de la emergencia.
- Informe técnico final.
- Registro de recursos utilizados.
- Registro de costos.
- Registro fotográfico.
- Relación de daños.
- Informe de lecciones aprendidas.
- Actualización del Plan de Gestión Reactiva.

Observaciones Técnicas

La culminación de una emergencia no implica únicamente el restablecimiento del servicio, sino también la evaluación integral de la respuesta ejecutada, la identificación de oportunidades de mejora y la actualización de los procedimientos operativos para fortalecer la capacidad institucional frente a futuros eventos.

7.16. COMUNICACIONES, COORDINACIÓN Y CADENA DE LLAMADAS

7.16.2. Generalidades

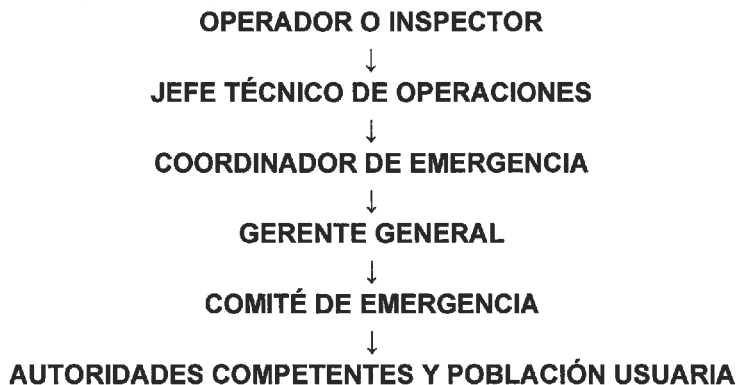
La comunicación constituye un elemento esencial para garantizar una respuesta rápida, coordinada y eficaz durante la atención de emergencias que afecten el canal de conducción de agua cruda. La transmisión oportuna de la información permitirá activar los niveles de emergencia, movilizar los recursos disponibles, coordinar las acciones de respuesta y mantener informadas a las autoridades competentes y a la población usuaria.

Las comunicaciones deberán desarrollarse respetando la cadena de mando establecida en el numeral 7.10 del presente Plan, evitando duplicidad de instrucciones y asegurando que toda decisión operativa sea canalizada a través del Comité de Emergencia.

7.12.2 Cadena de Comunicaciones

Al detectarse una anomalía, la comunicación seguirá el siguiente orden jerárquico:





Toda comunicación deberá efectuarse en el menor tiempo posible, garantizando la confiabilidad de la información y el registro de las acciones ejecutadas.

7.16.3. Contenido del Reporte Inicial

El reporte inicial deberá contener como mínimo la siguiente información:

- Fecha y hora del evento.
- Ubicación exacta del sector afectado.
- Coordenadas UTM (cuando sea posible).
- Punto crítico involucrado (PC-01 al PC-07).
- Tipo de evento identificado.
- Nivel de emergencia declarado.
- Extensión aproximada del daño.
- Estado del caudal.
- Riesgo para las personas.
- Fotografías del área afectada.
- Condiciones de accesibilidad.
- Necesidad de maquinaria, equipos o personal especializado.
- Recursos requeridos.
- Acción inmediata adoptada.
- Nombre y cargo del responsable que emite el reporte.

7.12.4 Medios de Comunicación

Durante la atención de la emergencia deberán mantenerse disponibles, como mínimo, los siguientes medios de comunicación:

- Teléfonos móviles.
- Radios portátiles.
- Grupo institucional de mensajería instantánea.
- Correo electrónico institucional.
- Directorio telefónico actualizado en formato físico y digital.
- Medio alternativo de comunicación ante pérdida de señal.
- Formatos estandarizados para el reporte de emergencias.
- Responsable del registro y control de las comunicaciones.





Los equipos de comunicación deberán verificarse periódicamente para asegurar su correcto funcionamiento durante una emergencia.

7.16.4. Puesto de Comando de Campo (PCC)

Cuando la emergencia sea clasificada como Nivel Amarillo o Nivel Rojo, el Coordinador de Emergencia dispondrá la instalación del Puesto de Comando de Campo (PCC) en un lugar seguro, próximo al área afectada y con condiciones adecuadas para dirigir las operaciones. El Puesto de Comando de Campo tendrá las siguientes funciones:

- Coordinar las acciones de las brigadas operativas.
- Centralizar y validar la información técnica.
- Administrar los recursos humanos, materiales y logísticos.
- Registrar las decisiones adoptadas durante la emergencia.
- Coordinar con las autoridades e instituciones de apoyo.
- Mantener comunicación permanente con la Gerencia General y el Comité de Emergencia.
- Consolidar la información para la elaboración de los informes técnicos.

7.16.5. Tiempos Máximos de Comunicación

La comunicación de la emergencia deberá realizarse dentro de los tiempos máximos establecidos en la siguiente tabla.

TABLA 7.12-1. TIEMPOS MÁXIMOS DE COMUNICACIÓN

EVENTO	TIEMPO MÁXIMO
Detección del evento	Inmediato
Comunicación al Jefe Técnico de Operaciones	Hasta 5 minutos
Comunicación al Coordinador de Emergencia	Hasta 10 minutos
Comunicación al Gerente General	Hasta 15 minutos
Activación del Comité de Emergencia	Hasta 20 minutos
Comunicación a autoridades competentes	Hasta 30 minutos
Comunicación a la población usuaria	Según la evolución del evento y una vez implementadas las primeras medidas de control

7.16.6. Coordinación Interinstitucional

Cuando la magnitud de la emergencia supere la capacidad operativa de la EPS SEDA Huánuco S.A., el Coordinador de Emergencia gestionará la coordinación con las entidades competentes para fortalecer las acciones de respuesta y garantizar la continuidad del servicio. La coordinación podrá realizarse, según corresponda, con las siguientes instituciones:

- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).
- Centro de Operaciones de Emergencia (COE).
- Gobierno Regional de Huánuco.
- Municipalidad Provincial de Huánuco y municipalidades involucradas.





- Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS).
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).
- Policía Nacional del Perú.
- Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú.
- Establecimientos de salud.
- Empresas de energía eléctrica y telecomunicaciones.
- Contratistas, proveedores estratégicos y operadores de maquinaria.
- Otras instituciones cuya participación resulte necesaria.

Toda coordinación deberá registrarse indicando la fecha, hora, institución contactada, funcionario responsable y acciones acordadas.

7.16.7. Comunicación a la Población Usaria

La información dirigida a la población deberá emitirse de manera clara, oportuna y verificable, indicando como mínimo:

- Sector afectado.
- Causa de la interrupción del servicio.
- Nivel de emergencia declarado.
- Restricciones temporales de uso del agua.
- Tiempo estimado para el restablecimiento del servicio.
- Medidas alternativas de abastecimiento de agua potable.
- Recomendaciones para el uso racional del recurso hídrico.
- Medios oficiales para la obtención de información actualizada.



Toda comunicación oficial será emitida por el Gerente General o por el funcionario expresamente autorizado, evitando la difusión de información no confirmada que pueda generar alarma o desinformación entre la población.

7.16.8. Registro y Control de las Comunicaciones

Durante toda la emergencia deberá mantenerse un registro cronológico de las comunicaciones efectuadas, el cual incluirá:

- Fecha y hora de la comunicación.
- Medio utilizado.
- Nombre y cargo del emisor y del receptor.
- Resumen de la información transmitida.
- Decisiones adoptadas.
- Recursos solicitados o movilizados.
- Acciones de seguimiento.

El registro de comunicaciones formará parte del expediente técnico de la emergencia y servirá como sustento para la evaluación posterior de la respuesta institucional y la actualización del presente Plan de Gestión Reactiva.





7.17. PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN INMEDIATA

7.17.2. Generalidades

Los Protocolos de Actuación Inmediata constituyen una guía operativa simplificada para la atención inicial de los eventos identificados en el presente Plan de Gestión Reactiva. Su finalidad es orientar las primeras acciones de respuesta durante los minutos iniciales de la emergencia, permitiendo reducir los riesgos para las personas, minimizar los daños a la infraestructura y facilitar la aplicación de los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE) desarrollados en el numeral 7.11.

La aplicación de los presentes protocolos no reemplaza los Procedimientos Operativos Estandarizados, sino que constituye la fase inicial de respuesta hasta la activación del procedimiento específico correspondiente.

7.17.3. Protocolo de Actuación ante Filtraciones o Procesos de Erosión Acciones inmediatas

1. Registrar la ubicación exacta del evento.
2. Delimitar y señalizar el área afectada.
3. Evaluar la magnitud de la filtración o del proceso de erosión.
4. Inspeccionar la losa, muros, juntas y taludes.
5. Reducir el caudal cuando exista riesgo para la estabilidad del canal.
6. Implementar drenajes provisionales cuando corresponda.
7. Verificar la existencia de vacíos bajo la estructura.
8. Instalar puntos de control topográfico o testigos de fisuración.
9. Comunicar inmediatamente al Coordinador de Emergencia.
10. Activar el **POE-02**, cuando corresponda.

7.17.4. Protocolo de Actuación ante Colapso Parcial del Canal Acciones inmediatas

1. Suspender el ingreso al área afectada.
2. Controlar o suspender el caudal.
3. Evacuar al personal expuesto.
4. Delimitar la zona de exclusión.
5. Evaluar la estabilidad estructural y geotécnica.
6. Determinar la extensión real del daño.
7. Habilitar accesos seguros para las brigadas.
8. Preparar el montaje del sistema provisional.
9. Mantener vigilancia permanente.
10. Activar el **POE-05**.

7.17.5. Protocolo de Actuación ante Interrupción Total del Servicio Acciones inmediatas

1. Confirmar la interrupción del abastecimiento.
2. Informar inmediatamente al Coordinador de Emergencia.
3. Evaluar la autonomía operativa de la PTAP y de los reservorios.
4. Comunicar la situación a las áreas operativas.
5. Movilizar tuberías, accesorios y equipos.
6. Activar el abastecimiento alternativo cuando corresponda.





7. Organizar los turnos de intervención.
8. Informar periódicamente la evolución de la emergencia.
9. Activar el **POE-05**.

7.17.6. Protocolo de Actuación ante Falla del Sistema Provisional
Acciones inmediatas

1. Reducir inmediatamente la presión.
2. Aislar el tramo comprometido.
3. Prohibir el ingreso al área presurizada.
4. Drenar completamente la tubería.
5. Revisar apoyos, uniones y accesorios.
6. Sustituir el componente defectuoso.
7. Ejecutar nuevamente la prueba hidráulica.
8. Reanudar progresivamente el servicio.
9. Activar el **POE-06**, cuando corresponda.

7.17.7. Protocolo de Actuación ante Deslizamientos
Acciones inmediatas

1. Suspender inmediatamente las actividades.
2. Evacuar al personal.
3. Delimitar la zona de exclusión.
4. Evaluar grietas y desplazamientos.
5. Prohibir el ingreso de maquinaria sin autorización técnica.
6. Implementar drenajes superficiales provisionales.
7. Solicitar evaluación geotécnica.
8. Reubicar temporalmente la conducción cuando corresponda.
9. Activar el **POE-03**.

7.17.8. Protocolo de Actuación ante Accidentes del Personal
Acciones inmediatas

1. Suspender las actividades.
2. Asegurar el área.
3. Brindar primeros auxilios.
4. Solicitar atención médica.
5. Mantener libre la ruta de evacuación.
6. Reportar inmediatamente el incidente.
7. Preservar las evidencias.
8. Reanudar las actividades únicamente con autorización del Responsable de Seguridad y Salud en el Trabajo.

7.17.9. Relación con los Procedimientos Operativos Estandarizados

Los presentes protocolos constituyen acciones de respuesta inmediata y deberán complementarse con los Procedimientos Operativos Estandarizados (POE) establecidos en el numeral 7.11 del presente Plan.

Cada protocolo activa el procedimiento correspondiente según la naturaleza del evento, garantizando una respuesta progresiva, organizada y técnicamente sustentada.





PROTOCOLO	POE ASOCIADO
Filtración y erosión	POE-02
Colapso parcial	POE-05
Interrupción total	POE-05
Falla del sistema provisional	POE-06
Deslizamiento	POE-03
Accidente del personal	Procedimiento SST y Plan de Emergencia

7.18. RECURSOS, LOGÍSTICA Y SEGURIDAD PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

7.18.2. Generalidades

La atención oportuna y eficaz de una emergencia depende de la disponibilidad inmediata de recursos humanos, materiales, equipos, maquinaria y medios logísticos que permitan ejecutar las acciones previstas en el presente Plan de Gestión Reactiva.

La EPS SEDA Huánuco S.A. deberá mantener permanentemente actualizado un inventario de recursos estratégicos destinados a la atención de emergencias, así como establecer mecanismos de coordinación con proveedores, contratistas y entidades públicas que aseguren la disponibilidad inmediata de dichos recursos cuando la magnitud del evento supere la capacidad operativa institucional.

La planificación logística comprenderá la identificación de los recursos disponibles, su ubicación, responsables, tiempos máximos de movilización y procedimientos para su reposición, garantizando la continuidad de las operaciones durante toda la emergencia.

7.18.3. Recursos Humanos

La atención de las emergencias será ejecutada por el Comité de Emergencia y las brigadas operativas descritas en el numeral 7.10, contando con personal técnico y administrativo capacitado para responder de manera inmediata.

TABLA 7.14-1. RECURSOS HUMANOS PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Cargo / Brigada	Función Principal	Disponibilidad
Gerente General	Dirección estratégica y toma de decisiones	Permanente
Coordinador de Emergencia	Dirección operativa de la respuesta	Permanente
Jefe Técnico de Operaciones	Evaluación técnica y supervisión	Permanente
Responsable de Seguridad y Salud	Seguridad del personal	Permanente
Responsable de Logística	Gestión de recursos	Permanente
Responsable de Comunicaciones	Coordinación institucional	Permanente
Brigada de Evaluación	Inspección de daños	Según activación
Brigada de Estabilización	Control geotécnico	Según activación
Brigada de Montaje	Instalación del sistema provisional	Según activación
Brigada Hidráulica	Operación del sistema provisional	Según activación
Brigada de Primeros Auxilios	Atención inicial del personal	Según activación

7.14.3 Recursos Materiales Estratégicos

La EPS SEDA Huánuco S.A. deberá mantener un inventario mínimo de materiales estratégicos para garantizar la atención inmediata de las emergencias y la implementación del sistema provisional de conducción.



**TABLA 7.14-2. INVENTARIO MÍNIMO DE MATERIALES ESTRATÉGICOS**

RECURSO	UNIDAD	DISPONIBILIDAD
Tubería HDPE PE100 DN710 SDR17	m	Según longitud del sistema provisional
Acoples mecánicos	und	Según diseño
Equipo de termofusión	und	1
Geotextil	m ²	Según requerimiento
Geomalla	m ²	Según requerimiento
Material granular	m ³	Según requerimiento
Sacos terreros	und	Stock permanente
Pernos de alta resistencia	und	Stock permanente
Placas metálicas	und	Según diseño
Apoyos metálicos	und	Según diseño
Elementos de señalización	und	Stock permanente
Equipos de protección personal	juegos	Stock permanente

Nota: Las cantidades específicas deberán determinarse en función del diseño definitivo del sistema provisional, la longitud del tramo crítico y la capacidad de almacenamiento de la EPS SEDA Huánuco S.A.

**7.18.4. Maquinaria y Equipos**

La respuesta operativa requerirá la disponibilidad inmediata de maquinaria y equipos especializados para ejecutar las actividades de estabilización, montaje del sistema provisional y rehabilitación inicial.

**TABLA 7.14-3. MAQUINARIA Y EQUIPOS PARA EMERGENCIAS**

Equipo	Finalidad	Disponibilidad
Excavadora hidráulica	Excavaciones y estabilización	Propia o contratada
Cargador frontal	Movimiento de materiales	Propio o contratado
Volquetes	Transporte de materiales	Propios o contratados
Camión grúa	Izaje de estructuras	Contratado
Camionetas 4x4	Transporte del personal técnico	Disponible
Equipo topográfico	Control geométrico	Disponible
Dron	Inspección aérea	Disponible
Motobombas	Drenaje de emergencia	Disponible
Grupo electrógeno	Suministro eléctrico	Disponible
Equipos de comunicación	Coordinación operativa	Permanente

**7.18.5. Logística para la Atención de Emergencias**

La logística deberá garantizar la movilización inmediata de los recursos humanos, materiales y equipos hacia el sector afectado.

Para ello, la EPS SEDA Huánuco S.A. deberá mantener permanentemente actualizados:

- Directorio de proveedores estratégicos.
- Convenios con empresas de maquinaria pesada.
- Relación de contratistas especializados.
- Inventario de materiales estratégicos.
- Registro de equipos operativos.





- Rutas de acceso a los puntos críticos.
- Plan de transporte de materiales y equipos.
- Registro de tiempos máximos de movilización.

Los recursos deberán movilizarse de acuerdo con el nivel de emergencia declarado y las prioridades establecidas por el Coordinador de Emergencia.

7.18.6. Seguridad durante la Atención de Emergencias

Toda intervención deberá ejecutarse bajo estrictas condiciones de seguridad, priorizando la protección de la vida, la salud del personal y la integridad de la infraestructura.

Como mínimo deberán implementarse las siguientes medidas:

- Elaboración del ATS e IPERC antes del inicio de las actividades.
- Uso obligatorio de equipos de protección personal.
- Delimitación y señalización del área de trabajo.
- Establecimiento de zonas de exclusión.
- Supervisión permanente de la estabilidad de taludes.
- Control del ingreso de personal y maquinaria.
- Comunicación permanente entre brigadas y el Puesto de Comando de Campo.
- Suspensión inmediata de las actividades cuando exista riesgo inminente.
- Registro y análisis de incidentes, accidentes y condiciones inseguras.

7.18.7. Control y Reposición de Recursos

Después de cada emergencia, el Responsable de Logística realizará la verificación del inventario de recursos utilizados y gestionará su reposición inmediata, asegurando que el stock estratégico permanezca disponible para futuras contingencias.

Asimismo, se elaborará un informe logístico que incluirá:

- Relación de recursos utilizados.
- Estado de los equipos y maquinaria.
- Materiales consumidos.
- Recursos pendientes de reposición.
- Costos estimados de la atención de la emergencia.
- Recomendaciones para fortalecer la capacidad de respuesta.

7.19. PLAN DE ABASTECIMIENTO ALTERNATIVO DE AGUA POTABLE

7.19.2. Generalidades

Cuando una emergencia produzca la interrupción parcial o total del canal de conducción de agua cruda y comprometa el funcionamiento de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II, la EPS SEDA Huánuco S.A. implementará un Plan de Abastecimiento Alternativo con la finalidad de garantizar el suministro temporal de agua potable a la población afectada mientras se restablece el servicio.

El abastecimiento alternativo deberá ejecutarse de manera planificada, priorizando la atención de la población vulnerable, los establecimientos esenciales y los sectores con mayor





afectación, asegurando la calidad sanitaria del agua distribuida y la continuidad mínima del servicio.

La activación del presente Plan corresponderá al Gerente General o al Coordinador de Emergencia, una vez declarada la interrupción parcial o total del sistema de conducción.

7.19.3. Objetivos

El Plan de Abastecimiento Alternativo tiene los siguientes objetivos:

- Garantizar el suministro temporal de agua potable durante la interrupción del servicio.
- Priorizar la atención de establecimientos esenciales y población vulnerable.
- Reducir los impactos sociales, sanitarios y operativos derivados de la emergencia.
- Optimizar el empleo de los recursos logísticos disponibles.
- Restablecer progresivamente el abastecimiento normal una vez superada la emergencia.

7.19.4. Priorización de la Atención

Durante la emergencia, el abastecimiento alternativo deberá realizarse conforme al siguiente orden de prioridad:

TABLA 7.15-1. PRIORIZACIÓN DE USUARIOS

Prioridad	Usuarios
1	Hospitales y establecimientos de salud
2	Plantas de tratamiento y reservorios estratégicos
3	Centros educativos utilizados como albergues temporales
4	Instituciones públicas esenciales
5	Centros poblados con mayor afectación
6	Población en general

La priorización podrá modificarse cuando existan razones de salud pública, riesgo sanitario o situaciones de emergencia debidamente justificadas.

7.19.5. Modalidades de Abastecimiento

El abastecimiento alternativo podrá efectuarse mediante:

- Camiones cisterna autorizados.
- Tanques estacionarios temporales.
- Reservorios móviles.
- Sistemas provisionales de conducción.
- Otros medios técnicamente viables autorizados por la EPS SEDA Huánuco S.A.

Todos los vehículos y recipientes destinados al transporte de agua potable deberán cumplir las condiciones sanitarias establecidas por la autoridad competente.

7.19.6. Determinación de la Demanda de Emergencia

La demanda de agua potable durante la emergencia deberá calcularse considerando:

- Población afectada.
- Dotación mínima de emergencia.
- Duración estimada de la interrupción.





- Capacidad de almacenamiento disponible.
- Número de viajes diarios de los camiones cisterna.
- Recursos logísticos disponibles.
-

TABLA 7.15-2. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA DEMANDA

PARÁMETRO	VALOR	OBSERVACIÓN
Población afectada	Según evaluación de la emergencia	Actualizable
Dotación mínima	Según lineamientos de la EPS y autoridad competente	Ajustable
Duración de la emergencia	Según evaluación técnica	Variable
Capacidad de cisterna	Según vehículo disponible	Variable
Número de viajes	Según demanda	Variable

Nota: Los valores específicos deberán definirse durante la emergencia con base en la población efectivamente afectada, la disponibilidad de recursos y las disposiciones de la autoridad sanitaria.

7.19.7. Procedimiento para la Distribución del Agua

La distribución del agua potable comprenderá las siguientes etapas:

1. Declaración de la emergencia.
2. Activación del Plan de Abastecimiento Alternativo.
3. Identificación de la población afectada.
4. Priorización de sectores.
5. Programación de rutas.
6. Carga de los camiones cisterna.
7. Distribución del agua potable.
8. Registro de los volúmenes entregados.
9. Supervisión de la calidad del agua.
10. Evaluación permanente del servicio.

7.19.8. Control Sanitario

Durante el abastecimiento alternativo deberán implementarse las siguientes medidas:

- Verificación de la limpieza y desinfección de los camiones cisterna.
- Control del cloro residual.
- Muestreo periódico de la calidad del agua.
- Registro de las inspecciones sanitarias.
- Protección de los puntos de distribución.
- Capacitación del personal encargado de la distribución.

7.19.9. Registro y Control Operativo

Durante la emergencia deberán mantenerse los siguientes registros:

- Bitácora diaria de distribución.
- Registro de viajes realizados.
- Volumen distribuido por sector.
- Población atendida.
- Horarios de distribución.
- Incidencias registradas.
- Reclamos de usuarios.





- Reportes de calidad del agua.

7.19.10. *Restablecimiento del Servicio*

Una vez restablecida la operación del sistema de conducción y verificada la continuidad del abastecimiento mediante la infraestructura definitiva o provisional, el Coordinador de Emergencia dispondrá la desactivación gradual del abastecimiento alternativo.

La suspensión del servicio mediante camiones cisterna deberá efectuarse únicamente cuando se confirme que el suministro de agua potable ha recuperado condiciones normales de continuidad, calidad y presión.

Asimismo, se elaborará un informe técnico que incluirá:

- Volumen total distribuido.
- Recursos utilizados.
- Sectores atendidos.
- Costos operativos.
- Incidentes registrados.
- Lecciones aprendidas.
- Recomendaciones para mejorar futuros planes de abastecimiento alternativo.

7.20. RECURSOS HUMANOS MÍNIMOS

7.20.2. *Generalidades*

La atención de las emergencias previstas en el presente Plan de Gestión Reactiva requerirá la participación de personal profesional, técnico y operativo con experiencia en estructuras, geotecnia, hidráulica, topografía, seguridad y salud en el trabajo, así como en el montaje y operación del sistema provisional de conducción.

El personal mínimo señalado en el presente numeral constituye el recurso humano referencial necesario para iniciar las acciones de respuesta frente a una emergencia. La conformación de los equipos de trabajo deberá realizarse conforme a la organización establecida en el numeral 7.10 del presente Plan, priorizando la seguridad del personal, la continuidad del servicio y el restablecimiento oportuno del sistema de conducción.

TABLA 7.16-1. RECURSOS HUMANOS MÍNIMOS PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

7.20.3. *Organización del Personal*

El personal mínimo señalado en la Tabla 7.16-1 deberá integrarse en brigadas operativas conforme a la estructura organizacional definida en el numeral 7.10 del presente Plan de Gestión Reactiva.

La asignación de funciones será realizada por el Coordinador de Emergencia, quien dispondrá la conformación de los frentes de trabajo de acuerdo con la magnitud del evento, el nivel de emergencia declarado y las necesidades operativas.

7.20.4. *Disponibilidad del Personal*

La EPS SEDA Huánuco S.A. deberá mantener actualizado el registro del personal que integra el





Comité de Emergencia y las brigadas operativas, verificando periódicamente:

- Disponibilidad del personal.
- Competencias técnicas.
- Certificaciones vigentes.
- Capacitación en seguridad y respuesta a emergencias.
- Participación en simulacros.
- Datos de contacto para activación inmediata.

Cuando la magnitud de la emergencia exceda la capacidad operativa institucional, el Coordinador de Emergencia gestionará la incorporación de personal adicional mediante contratos de emergencia, convenios interinstitucionales o servicios especializados.

7.21. EQUIPAMIENTO ESTRATÉGICO

Se deberá disponer o asegurar la disponibilidad inmediata de:

- Estación total.
- Nivel topográfico.
- Detector de armaduras.
- Esclerómetro.
- Manómetros calibrados.
- Caudalímetro.
- Torquímetros.
- Equipo de soldadura.
- Grupo electrógeno.
- Bombas de achique.
- Equipo de termofusión.
- Equipo de perforación.
- Iluminación portátil.
- Radios.
- Camilla y botiquín.
- Extintores.
- Equipos de rescate.
- Equipos de izaje.
- Vehículo de supervisión.
- Equipo de registro fotográfico.

7.22. MATERIALES ESTRATÉGICOS Y STOCK DE EMERGENCIA

MATERIAL	STOCK RECOMENDADO
Tubería HDPE DN710	Longitud del tramo crítico más reserva
Acoples DN710	Mínimo 2 unidades de reserva
Empaques y juntas	Un juego por acople más reserva
Columnas HSS	Según número de apoyos más una unidad
Cunas metálicas	Según apoyos más una unidad
Placas de transición	Un juego completo
Pernos M24	Cantidad de diseño más 20 %
Neopreno de 10 mm	Cantidad requerida más 20 %
Electrodos E7018	Según consumo más reserva
Grout no retráctil	Stock para montaje y reparación
Cemento y agregados	Para dados y reparación





Acero de refuerzo	Según dados
Geotextil	Para cimentaciones y protección
Geomalla	Para mejoramiento de terreno
Geomembrana	Para impermeabilización
Material granular	Volumen para mejoramiento
Selladores	Stock para juntas y perforaciones
Combustible	Reserva operativa
EPP	Juego completo por trabajador más reserva

Los materiales deberán mantenerse identificados, protegidos y sometidos a inspecciones periódicas.

7.23. LOGÍSTICA DE EMERGENCIA

La logística deberá prever:

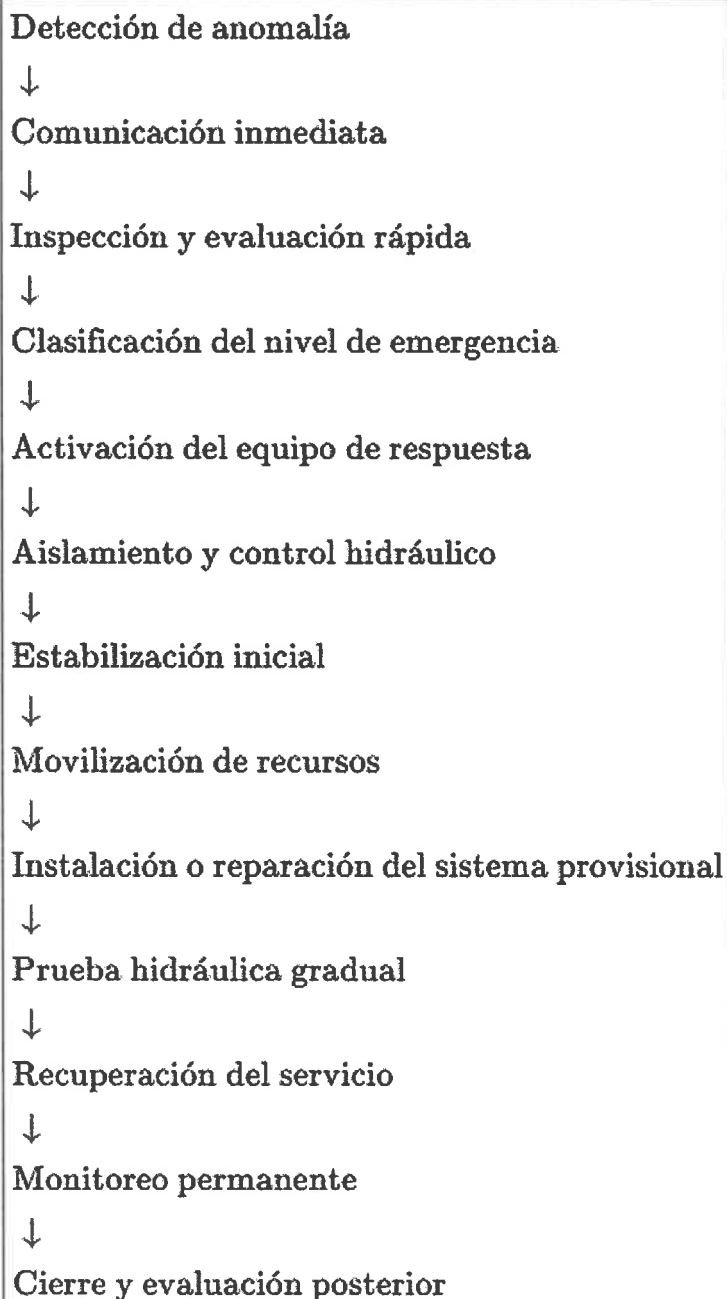
- Proveedores principales y alternos.
- Rutas de acceso.
- Vehículos adecuados.
- Zonas de descarga.
- Horarios de transporte.
- Combustible.
- Repuestos.
- Alimentación.
- Agua para el personal.
- Iluminación nocturna.
- Turnos de trabajo.
- Protección frente a lluvia.
- Almacén temporal.
- Vigilancia.
- Gestión de residuos.
- Transporte de personal.
- Área para mantenimiento de equipos.

En caso de interrupción prolongada, deberá evaluarse la movilización de mecanismos alternativos de abastecimiento, como camiones cisterna, priorizando establecimientos de salud y sectores críticos. El fortalecimiento de la capacidad de las EPS mediante cisternas y otros recursos de respuesta forma parte de las acciones recientes para asegurar el acceso al agua durante emergencias operativas.



7.24. FLUJOGRAMA DE ACTIVACIÓN E INTERVENCIÓN

El proceso general será:



Cuando la inspección determine peligro inminente para el personal, el proceso deberá pasar directamente a evacuación, aislamiento y solicitud de apoyo, sin iniciar trabajos de recuperación hasta disponer de condiciones seguras.





7.25. PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN Y CONTINUIDAD DEL SERVICIO

7.25.2. Evaluación inicial

Se determinará:

- Disponibilidad de almacenamiento.
- Caudal mínimo requerido.
- Tiempo máximo admisible de interrupción.
- Longitud del bypass.
- Número de apoyos.
- Estado de accesos.
- Disponibilidad de materiales.

7.25.3. Aislamiento del tramo

El sector afectado será cerrado y drenado. No se iniciará la instalación mientras exista descarga no controlada.

7.25.4. Preparación de apoyos

Se ejecutará:

- Limpieza.
- Excavación.
- Mejoramiento.
- Compactación.
- Dados.
- Placas base.
- Control topográfico.

7.25.5. Instalación de la tubería

La conducción provisional se montará respetando:

- DN710 SDR17.
- Luz máxima de 4.10 m.
- Uniones sobre apoyos.
- Neopreno en cunas.
- Apoyo fijo definido.
- Apoyos guiados o deslizantes.
- Arriostramiento de columnas.

7.25.6. Prueba

La prueba comprenderá:

1. Inspección visual.
2. Llenado lento.
3. Purga.
4. Incremento gradual.
5. Verificación de fugas.
6. Control de presión.
7. Medición de flecha.





8. Control de asentamiento.
9. Aprobación técnica.

7.25.7. Restablecimiento progresivo

El caudal se recuperará por etapas:

- Caudal inicial reducido.
- Periodo de observación.
- Incremento intermedio.
 - Nueva inspección.
 - Caudal de operación.

No deberá alcanzarse inmediatamente el caudal crítico de 800 L/s.

7.26. ACCIONES DE REHABILITACIÓN

Luego de controlar la emergencia se deberán implementar:

- Estabilización del terreno.
- Relleno o inyección de vacíos.
- Reposición de drenajes.
- Protección de taludes.
- Reparación de accesos.
- Retiro de material colapsado.
- Reconstrucción temporal de bordes.
- Protección frente a lluvias.
- Evaluación detallada de los tramos contiguos.
- Elaboración de la solución definitiva.
- Recuperación ambiental del área.

La rehabilitación deberá orientarse a restablecer provisionalmente las condiciones básicas del servicio, sin confundirla con la reconstrucción definitiva de la infraestructura.

7.27. MONITOREO DURANTE LA OPERACIÓN PROVISIONAL

El monitoreo deberá comprender:

PARÁMETRO	CONTROL
Caudal	Registro operativo
Presión	Manómetro en puntos definidos
Flecha de tubería	Medición inicial y periódica
Acoples	Fugas y movimiento axial
Columnas	Verticalidad y deformación
Dados	Asentamiento y fisuración
Taludes	Grietas y desprendimientos
Terreno	Erosión y socavación
Pernos	Aflojamiento o corrosión
Soldaduras	Fisuras y deterioro
Neopreno	Desplazamiento
Accesos	Conservación y transitabilidad





La memoria de cálculo establece como controles principales la luz entre apoyos, la excentricidad de conexiones, la flecha inicial, la fisuración durante el apriete, la condición de las soldaduras y el incremento gradual de caudal y presión.

Frecuencia Propuesta

- Primeras 24 horas: inspección continua o por turnos.
- Primera semana: inspección diaria.
- Primer mes: dos inspecciones semanales.
- Operación posterior: inspección semanal y después de lluvias, sismos o maniobras extraordinarias.

La frecuencia deberá incrementarse ante cualquier cambio observado.

7.28. CIERRE DE LA EMERGENCIA Y RETORNO A LA NORMALIDAD

Para declarar el cierre se deberá contar con:

- Servicio restablecido.
- Sistema estable.
- Ausencia de fugas relevantes.
- Presión controlada.
- Apoyos sin asentamientos.
- Zona segura.
- Accesos habilitados.
- Inventario de recursos.
- Registro de daños.
- Informe técnico.
- Programa de monitoreo.
- Recomendaciones para la solución definitiva.

El cierre de la emergencia no implica necesariamente el retiro inmediato del sistema provisional. Este podrá continuar operando hasta que se ejecute la solución permanente, bajo inspección y mantenimiento.

7.29. EVALUACIÓN POSTERIOR Y LECCIONES APRENDIDAS

Después de la respuesta se elaborará un informe que incluya:

- Cronología.
- Causa probable.
- Daños.
- Tiempo de interrupción.
- Personal movilizado.
- Equipos empleados.
- Materiales consumidos.
- Dificultades.
- Incidentes de seguridad.
- Costos.





- Tiempo de recuperación.
- Comportamiento de la tubería provisional.
- Cumplimiento de protocolos.
- Medidas correctivas.

Se evaluarán particularmente:

- Rapidez de la comunicación.
- Disponibilidad de materiales.
- Accesibilidad.
- Capacidad de los proveedores.
- Funcionamiento de los turnos.
- Eficacia del mando.
- Seguridad de las maniobras.
- Coordinación institucional.

7.30. CAPACITACIÓN, SIMULACROS Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN

7.30.2. Capacitación

El personal deberá capacitarse en:

- Reconocimiento de señales de falla.
- Evaluación rápida de daños.
- Operación de válvulas.
- Seguridad en taludes.
- Izaje.
- Montaje de HDPE.
- Instalación de acoples.
- Primeros auxilios.
- Comunicaciones.
- Uso de extintores.
- Evacuación.
- Registro de información.

7.30.3. Simulacros

Se deberán realizar ejercicios que incluyan:

- Interrupción total del canal.
- Activación de la cadena de llamadas.
- Movilización de materiales.
- Evaluación de tiempos.
- Simulación de montaje.
- Atención de un trabajador accidentado.
- Falla de comunicaciones.
- Operación nocturna.
- Recuperación gradual del servicio.

Los ejercicios de simulación permiten comprobar los protocolos y el restablecimiento





progresivo de servicios esenciales antes de enfrentar un evento real.

7.30.4. Actualización

El capítulo deberá revisarse:

- Anualmente.
- Después de una emergencia.
- Después de cada simulacro.
- Cuando cambien los responsables.
- Cuando se modifique la infraestructura.
- Cuando se incorporen nuevos equipos.
- Cuando cambien proveedores o accesos.
- Cuando se identifiquen nuevos peligros.
- Cuando se actualice la normativa aplicable.

La actualización comprenderá:

- Directorios.
- Inventarios.
- Planos.
- Matriz de riesgos.
- Protocolos.
- Recursos.
- Rutas.
- Responsables.
- Lecciones aprendidas





CAPÍTULO XIV

CONCLUSIONES

- La evaluación integral del canal de conducción de agua cruda permitió establecer que la infraestructura mantiene, en términos generales, la capacidad hidráulica necesaria para abastecer a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable Cabritopampa I y II; sin embargo, presenta sectores con vulnerabilidad estructural y geotécnica que requieren intervenciones prioritarias para garantizar la continuidad del servicio.
- El principal mecanismo que originó el colapso del tramo ubicado en el sector Pucuchinche no corresponde a una falla por insuficiencia resistente del concreto, sino a la pérdida progresiva del apoyo del terreno provocada por procesos de infiltración, erosión, lavado de finos, socavación y movimientos del terreno, que modificaron el comportamiento estructural del canal hasta producir su colapso.
- Los ensayos esclerométricos efectuados evidencian que el concreto conserva resistencia suficiente para condiciones normales de operación. En consecuencia, el deterioro observado no puede atribuirse exclusivamente al envejecimiento del material, sino principalmente a la degradación progresiva del terreno de fundación.
- El análisis estructural demuestra que, mientras la losa de fondo permanece apoyada sobre el terreno natural, las solicitaciones por flexión y corte son reducidas y compatibles con el funcionamiento ordinario del canal. No obstante, cuando se pierde dicho apoyo, la estructura cambia su mecanismo resistente y desarrolla esfuerzos significativamente mayores que pueden originar fisuración y colapso.
- El análisis desarrollado confirma que la estabilidad del canal depende directamente de la interacción entre la estructura de concreto y el terreno de fundación. En consecuencia, cualquier intervención definitiva deberá considerar simultáneamente la rehabilitación estructural y la estabilización geotécnica del corredor hidráulico.
- Durante la inspección técnica se identificaron siete (07) puntos críticos distribuidos a lo largo del corredor hidráulico, evidenciando que el problema no se limita al tramo colapsado, sino que existen otros sectores con condiciones similares de vulnerabilidad que requieren intervención preventiva.
- Las principales amenazas identificadas corresponden a precipitaciones intensas, infiltración, saturación del terreno, erosión, socavación, movimientos en masa y actividad sísmica, las cuales actúan de manera conjunta incrementando el nivel de riesgo del sistema de conducción.
- El diseño del sistema provisional mediante tubería HDPE PE100 DN710 SDR17 constituye una solución técnicamente viable para garantizar la continuidad temporal del abastecimiento de agua potable durante la ejecución de las obras de rehabilitación definitiva, siempre que se respeten los criterios de diseño, separación máxima entre apoyos, restricciones de montaje y procedimientos constructivos establecidos en la presente consultoría.
- Las verificaciones estructurales realizadas para columnas, cunas, placas, pernos, soldaduras, apoyos y dados de cimentación demuestran que el sistema provisional posee capacidad suficiente para resistir las acciones hidráulicas, gravitacionales y operativas previstas, manteniendo adecuados márgenes de seguridad para su funcionamiento temporal.
- El procedimiento constructivo desarrollado establece una secuencia técnica que reduce significativamente los riesgos durante el montaje, operación y desmontaje del sistema provisional, garantizando la seguridad del personal y la integridad de la infraestructura existente.
- El Plan de Gestión Reactiva formulado proporciona una metodología organizada para la





atención de emergencias mediante la identificación de amenazas, evaluación de vulnerabilidades, análisis de riesgos, establecimiento de protocolos de actuación, organización de recursos y procedimientos para la recuperación progresiva del servicio.

- La continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable dependerá no solamente de la rehabilitación del tramo colapsado, sino de la implementación de una estrategia integral de gestión del riesgo que incluya monitoreo permanente, estabilización geotécnica, mantenimiento preventivo, control del drenaje superficial y actualización periódica del Plan de Gestión Reactiva.





CAPÍTULO IX

RECOMENDACIONES

1. Ejecutar prioritariamente la estabilización geotécnica del sector Pucuchinche mediante estudios específicos de mecánica de suelos, drenaje, estabilidad de taludes y diseño de obras permanentes que eliminen las causas que originaron el colapso.
2. Implementar el sistema provisional de conducción conforme a los criterios técnicos establecidos en la presente consultoría, respetando las dimensiones, materiales, especificaciones de fabricación, separación máxima entre apoyos, condiciones de cimentación y procedimientos constructivos desarrollados.
3. Realizar una evaluación estructural detallada del canal existente mediante inspecciones complementarias, detección de armaduras, extracción de testigos de concreto y ensayos especializados cuando sea necesario, con la finalidad de determinar la capacidad resistente real de los elementos estructurales.
4. Implementar un programa permanente de monitoreo del corredor hidráulico que considere controles topográficos, inspecciones visuales, seguimiento de fisuras, medición de deformaciones, evaluación de asentamientos y control de procesos erosivos en los sectores críticos.
5. Mejorar integralmente el sistema de drenaje superficial y subterráneo, incorporando obras de captación y evacuación de aguas pluviales que reduzcan la infiltración hacia el terreno de fundación y disminuyan el riesgo de erosión y socavación.
6. Recuperar y proteger la franja de seguridad del canal, restringiendo intervenciones antrópicas que alteren las condiciones originales del terreno, modifiquen el drenaje natural o incrementen las cargas sobre los taludes.
7. Programar inspecciones técnicas después de lluvias intensas, sismos o eventos extraordinarios, verificando especialmente la estabilidad de los taludes, el estado de los apoyos, la aparición de nuevas fisuras y la evolución de los procesos de erosión.
8. Mantener un stock estratégico de tuberías, acoples, perfiles metálicos, pernos, materiales de reparación y equipos de emergencia que permita una respuesta inmediata ante interrupciones del sistema.
9. Capacitar periódicamente al personal operativo y de mantenimiento en los procedimientos establecidos en el Plan de Gestión Reactiva, incluyendo simulacros de respuesta, instalación del sistema provisional, seguridad durante emergencias y recuperación del servicio.
10. Actualizar el Plan de Gestión Reactiva al menos una vez por año o inmediatamente después de la ocurrencia de una emergencia significativa, incorporando las lecciones aprendidas, los resultados del monitoreo y las modificaciones que experimente la infraestructura.
11. Desarrollar un programa de mantenimiento preventivo basado en la inspección periódica del corredor hidráulico, priorizando el control de drenajes, la limpieza de obras hidráulicas, la protección contra la erosión y la rehabilitación de sectores con deterioro incipiente.
12. Como recomendación final, se propone que la EPS SEDA Huánuco S.A. considere la elaboración de un Plan Maestro de Rehabilitación del Corredor Hidráulico, orientado a intervenir integralmente los sectores vulnerables identificados durante la presente consultoría. Dicho plan deberá integrar criterios estructurales, geotécnicos, hidráulicos, ambientales y de gestión del riesgo, con el objetivo de garantizar la seguridad, resiliencia y continuidad del servicio de abastecimiento de agua potable a largo plazo.

