

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“EVALUACIÓN DE LOS DAÑOS OCASIONADOS EN  
EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DEBIDO AL  
TERREMOTO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007 EN LA  
PROVINCIA DE PISCO”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO SANITARIO**

**PRESENTADO POR:**

**ALCÁNTARA TORIBIO, MARCO ANTONIO  
LIMA, PERÚ**

**2013**

### **DEDICATORIA**

A los hombres y mujeres que sacrificando todo hicieron un esfuerzo físico y mental para darle a la humanidad una mejor calidad de vida.

### **PENSAMIENTOS**

La naturaleza destruye primero lo que el hombre construyó mal. Es nuestro deber vivir en armonía con la naturaleza. Lo último que puede perder el ser humano es el agua; por eso, se debe construir sistema de agua y saneamiento sismo resistentes.

### **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento especial al Ingeniero Julio Kuroiwa por despertar en mí la inspiración de investigar. Agradezco al Banco Mundial por darme la oportunidad de desarrollar una investigación de renombrada importancia como es el caso de dotarle de agua a la población y evitar quitarle el servicio, aun cuando haya sufrido un terremoto.

## RESUMEN

El 15 de agosto del 2007 ocurrió un sismo de magnitud 7.9 escala de Momento y VI-IX, según la escala de Mercalli. Sucedió a las 18:40:47 hora local, con una duración de 175 segundos. Tuvo su epicentro a 40km al oeste de Chíncha y 150km al sur oeste de Lima, con hipocentro a 39km de profundidad. Hubo 513 fallecidos, 291 heridos, 431 mil damnificados, 76000 viviendas destruidas, daños en las líneas vitales agua, desagüe, luz, comunicación, transporte.

Los principales daños observados en el sistema de agua y desagüe fueron: El agua superficial captada por canales tuvo un corte del servicio y aumento de la turbiedad por destrucción del canal de conducción. El agua sub superficial captada por galerías filtrantes aumento en turbiedad por ingreso de agua contaminada por las grietas que se presentaron en paredes de los cámaras de inspección. El agua subterránea captada por pozos presentó un deterioro de la calidad ya que ingresó arena al agua producto de la aceleración del suelo. La estructura tuvo una pérdida de verticalidad. En la línea de conducción, hubo diversos puntos donde la tubería se rompió producto de la deformación del suelo ya que presentó desplazamiento horizontal y vertical. Se pudo notar que en los lugares con suelo blando saturado sufrió más daños, ya que hubo licuación del suelo. Los daños fueron en la unión entre las tuberías, cuando se juntaron sufrieron esfuerzos de compresión. Debido a esto se rompieron las campanas de las tuberías especialmente en tubería de material de asbesto cemento y concreto reforzado, En reservorio de almacenamiento de tipo apoyados no mostró daños. Los que sí sufrieron daños fueron los reservorios elevados con vigas y columnas, presentaron daños en los nudos entre las columnas y vigas. En estos nudos, se desprendió el concreto de revestimiento y dejó descubierto el acero.

En las redes de distribución, hubo deterioro en las tuberías de material de concreto reforzado, asbesto cemento, hierro fundido y aisladamente en tubería de PVC. Los daños fueron en las uniones y cuerpo del tubo, donde fueron sometido a compresión y desplazamiento, producto de la aceleración del suelo, En las conexiones domiciliarias, las averías fueron en los empalmes entre la tubería con los accesorios o en la unión entre tuberías; estas uniones se realizaron mediante pegamentos que con el sismo se desprendieron.

En las redes colectores, los daños fueron en las tuberías de concreto simple normalizado, estas con el tiempo ya se deterioran, producto de la acción química de los sulfatos. Con el sismo, estas tuberías se comportan como galletas, ya que el concreto no trabaja a tracción y cuando ocurre un sismo las fuerzas que se presentan son tracción, compresión, corte y torsión. Los buzones ubicados en suelos blandos tienden a elevarse respecto del nivel del terreno.

En las estaciones de bombeo se cayeron los tableros electromecánicos, presentaron grietas en los muros y techos, rotura de accesorios de hierro fundido como es el caso de estación de bombeo de Leticia que se rompió la válvula check y se tardó más de 15 días en conseguir el reemplazo: En la estación de San Miguel, en Pisco se cayó el transformador que alimenta a la estación de bombeo.

Las principales recomendaciones para proteger infraestructuras de agua y saneamiento cuando ocurra un sismo son: en la captación mediante galerías filtrantes, los muros de las cámaras de inspección deben ser colocando wáter stop en las juntas de construcción, añadir fibras al concreto y cubrir con polietileno. La línea de conducción debe ser considerada una línea vital antisísmica, para ello se debe colocar tubería de alta ductilidad con uniones soldadas, ya sea mediante bridas para el caso de tubería de hierro dúctil o fusión para polietileno. Este tipo de instalación es necesaria cuando la tubería cruza suelos blandos donde puedan sufrir licuación, Los reservorios no deben ser elevados y si necesariamente es elevado debe tener soporte de muros sólidos y no columnas con vigas. Las redes se deben sectorizar considerando el mapa de peligros y con tuberías de alta ductilidad como Hierro Dúctil o Polietileno. En las conexiones domiciliarias, las uniones entre tubería y los accesorios se recomienda roscadas y no pegadas. En los colectores, las tuberías deben ser de material de alta ductilidad, de preferencia en los primarios o emisores. Las tuberías no deben presentar uniones flexibles sino soldadas y debe haber flexibilidad en la unión entre la tubería y el buzón.

El sistema recomendable es una línea vital diseñada para soportar terremotos, para ello se debe diseñar colocando disipadores sísmicos que trabaje como un fusible. Este dispositivo debe ser una unión tipo acople rápido con suficiente holgura y traslape que observe las aceleraciones del suelo y el desplazamiento de la tuberías.

---

## INDICE GENERAL.

DEDICATORIA .....	2
PENSAMIENTOS .....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN.....	5
INDICE GENERAL. ....	7
Índice de Esquemas .....	10
Índice de Figuras .....	10
Índice de Fotografías .....	10
Índice de Tablas. ....	12
Índice de Planos. ....	14
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>15</b>
GENERALIDADES .....	15
1.1 INTRODUCCIÓN.....	16
1.2 OBJETIVOS .....	17
1.3 CONCEPTOS BÁSICOS .....	18
1.4 EXPERIENCIA INTERNACIONAL.....	22
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>24</b>
DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LAS CIUDADES AFECTADAS POR EL TERREMOTO DEL 2007 .....	24
2.1 EL TERREMOTO DE LA REGIÓN ICA DEL 15 DE AGOSTO DE 2007 .....	25
2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE PISCO. ....	28
2.2.1 Descripción del sistema de agua del distrito de Pisco.....	29
2.2.1.1. Captación: galería de filtración en Cabeza de Toro .....	30
2.2.1.2. Línea de conducción.....	30
2.2.1.3. Reservorio de almacenamiento: .....	31
2.2.1.4. Estación de bombeo.....	33

---

2.2.1.5.	Redes matrices y de distribución.....	33
2.2.1.6.	Conexiones domiciliarias.....	34
2.2.1.7.	Esquema del sistema de agua.....	35
2.2.2	Descripción del sistema de saneamiento del distrito de Pisco.....	36
2.2.2.1.	Redes de alcantarillado.....	36
2.2.2.2.	Colectores.....	37
2.2.2.3.	Cámaras de bombeo de desagüe.....	38
2.2.2.4.	Emisor principal.....	39
2.2.2.5.	Planta de tratamiento de aguas residuales.....	39
2.2.2.6.	Esquema del sistema de saneamiento de la ciudad de Pisco y San Andrés.....	41
<b>CAPÍTULO III</b>	.....	<b>42</b>
DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS QUE CAUSÓ EL SISMO EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO.....		<b>42</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR EL TERREMOTO DEL 2007 EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE PISCO.....		43
3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS CAUSADOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA.....		43
3.1.1.1 Galería filtrante.....		43
3.1.1.2 Línea de conducción.....		48
3.1.1.3 Cámara de bombeo de agua.....		54
3.1.1.4 Reservorio de almacenamiento.....		56
3.1.1.5 Redes de distribución.....		59
3.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS CAUSADOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE SANEAMIENTO.....		66
3.1.2.1 Colectores.....		66
3.1.2.2 Interceptor e emisor.....		69
3.1.2.3 Estación de bombeo de agua residual.....		71
3.1.2.4 Plantas de tratamiento de agua residual (PTAR).....		76
3.1.3 EFECTOS POST SISMO QUE AFECTÓ LA OPERACIÓN DEL SISTEMA.....		79
3.1.3.1 Problemas en la infraestructura causados por el factor social.....		79
3.1.3.2 Efectos en la salud de la población.....		79
3.1.3.3 Efectos en la economía de la EPS.....		81
3.2 EVALUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LA		

CIUDAD DE CAÑETE .....	83
3.3 EVALUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE CHINCHA.....	89
3.4 EVALUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ICA.....	93
3.5 DAÑOS MÁS COMUNES OCASIONADOS POR SISMO EN LOS SISTEMAS DE AGUA Y SANEAMIENTO .....	101
3.6 IMPACTO ECONÓMICO QUE CAUSÓ EL SISMO EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO. ....	103
3.7 EVALUACIÓN DEL RIESGO PARA ESTIMAR LA VULNERABILIDAD DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE PISCO. ....	104
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>109</b>
ENSEÑANZAS PARA PROTEGER INFRAESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO.....	109
4.1. LECCIONES APRENDIDAS DEL SISMO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007 .....	110
4.2. ANÁLISIS DE LOS ERRORES COMETIDOS EN EL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO QUE TUVO COMO CONSECUENCIA LOS DAÑOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA AGUA Y SANEAMIENTO. ....	113
4.3. PLAN PARA MITIGAR Y PROTEGER LAS ESTRUCTURAS DE SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO FRENTE A LA OCURRENCIA DE UN DESASTRE NATURAL COMO EL SISMO. ....	119
4.4. MATRIZ DE RECOMENDACIONES PARA PROTEGER SISTEMAS DE AGUA POTABLE CUANDO OCURRA UN SISMO.....	121
4.5. PLAN PARA MITIGAR Y PROTEGER LAS ESTRUCTURAS DE SISTEMA DE SANEAMIENTO FRENTE A LA OCURRENCIA DE UN DESASTRE NATURAL COMO EL SISMO. ....	127
4.6. MATRIZ DE RECOMENDACIONES PARA PROTEGER SISTEMAS DE SANEAMIENTO ANTE LA CORRENCIA DE UN SISMO .....	128
4.7. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD – RIESGOS MINIMIZADOS .....	131
4.8. COMPARACIÓN DEL RIESGO CON LOS EFECTOS DISUASIVOS PARA LA MINIMIZACIÓN DEL RIESGO DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO. ....	135
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>138</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	138
5.1. CONCLUSIONES .....	139

5.1.1.	Sistemas de agua. ....	139
5.1.2.	Sistemas de alcantarillado. ....	140
5.1.3.	Conclusiones generales. ....	141
5.2.	RECOMENDACIONES .....	142
5.2.1.	Sistemas de agua. ....	142
5.2.2.	Sistemas de alcantarillado. ....	143
5.2.3.	Recomendaciones Generales .....	144
<b>CAPÍTULO VI</b> .....		<b>146</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>146</b>
6.1.	REFERENCIAS .....	147

### Índice de Esquemas

Esquema 1: Sistema de agua de Pisco y San Andrés .....	35
Esquema 2: sistema de saneamiento de Pisco y San Andrés .....	41
Esquema 3: Sistema de agua de Pisco. ....	106
Esquema 4: Sistema de saneamiento de Pisco .....	108

### Índice de Figuras

Figura 1: Propagación de las ondas del sismo .....	18
Figura 2: Determinación preliminar de epicentros.....	19
Figura 3: Esquema de ubicación de Pisco .....	28

### Índice de Fotografías

Fotografía 1: Tapa de la cámara de la galería filtrante.....	44
Fotografía 2: Interior de la cámara.. .....	44
Fotografía 3: Vista de la cámara en el lecho del río Pisco .....	45
Fotografía 4: Vigas de refuerzo en la cámara agrietada. ....	45
Fotografía 5: Centro poblado Humay .....	46
Fotografía 6: Descarga directa al río cerca de la galería filtrante. ....	46
Fotografía 7: Tubería de CR con desplazamiento lateral.....	49
Fotografía 8: Tubería CR con desplazamiento lateral .....	49
Fotografía 9: Rotura de campana en tubería CR .....	50
Fotografía 10: Inclinación de la tubería por deformación del suelo .....	50
Fotografía 11: Deformación permanente del suelo .....	51

---

Fotografía 12: Efectos de la rotura de la tubería .....	51
Fotografía 13: Punto de rotura de tubería .....	52
Fotografía 14: Punto con fuga de agua visible .....	52
Fotografía 15: Cámara de válvula de aire .....	53
Fotografía 16: Desplazamiento del techo de la cámara de válvula de purga. ....	53
Fotografía 17: Electrobomba dañado.....	54
Fotografía 18: Estructura con daños menores.....	54
Fotografía 19: EB de San Clemente.....	55
Fotografía 20: Hundimiento de la vereda en EB de San Clemente.....	55
Fotografía 21: RE-01 Después del Sismo .....	56
Fotografía 22: RE-01 Antes del sismo .....	56
Fotografía 23: Rotura de Tubería de F <sup>o</sup> F <sup>o</sup> .....	57
Fotografía 24: Daño en la viga .....	57
Fotografía 25: Reservorio apoyado RA-02.....	58
Fotografía 26: Sistema de clorinación.....	58
Fotografía 27: Reservorio apoyado RA-03.....	59
Fotografía 28: Tubería con rotura .....	60
Fotografía 29: Tubería de AC con rotura.....	60
Fotografía 30: Tubería de AC con reparación anti técnico .....	61
Fotografía 31: Tubería de F <sup>o</sup> F <sup>a</sup> en Pisco Cercado .....	61
Fotografía 32: Tubería de AC en proceso de rehabilitación .....	62
Fotografía 33: Tubería de PVC utilizado en la rehabilitación. ....	62
Fotografía 34: Ubicación dónde falló tubería de PVC.....	63
Fotografía 35: Conexión domiciliaria .....	63
Fotografía 36: Redes colectores colapsados .....	67
Fotografía 37: Limpieza con equipo hidrojet .....	67
Fotografía 38: Equipo de hidrojet.....	68
Fotografía 39: Máquina balde.....	68
Fotografía 40: Limpieza con varillas.....	69
Fotografía 41: EB Las Casuarinas.....	71
Fotografía 42: Tubería mal reparada. ....	72
Fotografía 43: EB San Martín.....	72
Fotografía 44: EB Leticia.....	73
Fotografía 45: Válvula Check .....	73
Fotografía 46: EB Miguel Grau.....	74
Fotografía 47: EB San Andrés.....	74

---

Fotografía 48: PTAR Túpac Amaru .....	76
Fotografía 49: Cerco perimétrico de PTAR Túpac Amaru .....	76
Fotografía 50: PTAR Boca de Río .....	77
Fotografía 51: Grieta en la talud de la laguna Boca de Río .....	77
Fotografía 52: Punto donde se rompió la tubería .....	85
Fotografía 53: Falla producto del Sismo .....	85
Fotografía 54: Grieta en el talud de la laguna .....	87
Fotografía 55: Cámara de bombeo de desagüe .....	87
Fotografía 56: Reparación de un pozo de agua .....	93
Fotografía 57: Reservorio elevado de Ica .....	96
Fotografía 58: Reservorio elevado de Ica .....	96
Fotografía 59: Reservorio de Aquijes .....	97
Fotografía 60: Reservorio del Centro Poblado Cachiche .....	97
Fotografía 61: Laboratorio de micro medición de EMAPICA .....	98
Fotografía 62: Tubería de AC en Ica .....	99
Fotografía 63: Colector principal Av. Siete Villa Valverde .....	99
Fotografía 64: Bombeo directo a buzón de colector colapsado .....	99
Fotografía 65: Laguna de oxidación de EMAPICA .....	100
Fotografía 66: Surtidor improvisado en RE-01 .....	111
Fotografía 67: Tubería CR colapsado .....	111

### Índice de Tablas.

Tabla 1: Características de la línea de conducción. ....	31
Tabla 2: Características de los reservorios de almacenamiento. ....	32
Tabla 3: Tubería de redes de distribución. ....	33
Tabla 4: Metrado de redes existentes de agua potable de Pisco Cercado .....	34
Tabla 5: Metrado de redes existentes de agua potable – San Andrés. ....	34
Tabla 6: Resumen de redes de alcantarillado .....	38
Tabla 7: Características de la planta de tratamiento de aguas residuales. ....	40
Tabla 8: Reparación y mantenimiento en la línea de conducción y redes de distribución. ....	43
Tabla 9: Mantenimiento en la redes de alcantarillado. ....	66
Tabla 10: Estación de bombeo de Pisco .....	71
Tabla 11: Índice morbilidad en Pisco .....	79
Tabla 12: Montos de facturación y recaudación. ....	81

---

Tabla 13: Resumen de daños en otros distritos de Cañete.....	88
Tabla 14: Resumen de reparaciones de fugas visibles.....	89
Tabla 15: Relación de proyectos ejecutados en el sistema de agua dañados por el sismo del 2007.....	92
Tabla 16: Relación de proyectos ejecutados en el sistema de alcantarillado.....	92
Tabla 17: Relación de proyectos financiados para atender la emergencia.....	93
Tabla 18: Relación de pozos de agua en Ica.....	94
Tabla 19: Cuadro de las características físicas de los reservorios y su estado.....	95
Tabla 20: Daños VS causa del problema.....	101
Tabla 21: Daños VS causa del problema.....	102
Tabla 22: Impacto económico por causa del sismo en millones.....	103
Tabla 23: Probabilidad de ocurrencia (P).....	104
Tabla 24: La gravedad de las consecuencias para el agua potable (C).....	104
Tabla 25: Eficacia de disuasión (E).....	104
Tabla 26: La gravedad de las consecuencias para el alcantarillado (c).....	105
Tabla 27: Evaluación del riesgo para el sistema de agua – sin medidas preventivas.....	105
Tabla 28: Evaluación del riesgo para el sistema de alcantarillado – sin medidas preventivas.....	107
Tabla 29: Análisis de los errores en captación.....	113
Tabla 30: Análisis de los errores en línea de conducción.....	114
Tabla 31: Análisis de errores en sistemas de bombeo.....	115
Tabla 32: Análisis de errores en almacenamiento.....	115
Tabla 33: Análisis de errores en aducción y distribución.....	116
Tabla 34: Análisis de errores en recolección y conducción.....	117
Tabla 35: Análisis de errores en estaciones de bombeo.....	117
Tabla 36: Análisis de los errores en PTAR.....	118
Tabla 37: Matriz de recomendaciones para captación.....	121
Tabla 38: Matriz de recomendaciones para PTAP.....	122
Tabla 39: Matriz de recomendaciones para PTAP.....	123
Tabla 40: Matriz de recomendaciones para líneas de conducción.....	124
Tabla 41: Matriz de recomendaciones para almacenamiento.....	125
Tabla 42: Matriz de recomendaciones para aducción y distribución.....	126
Tabla 43: Matriz de recomendaciones para recolección y conducción.....	128
Tabla 44: Matriz de recomendaciones para estaciones de bombeo.....	129
Tabla 45: Matriz de recomendaciones para PTAR.....	129
Tabla 46: Matriz de recomendaciones para PTAR.....	130

---

---

Tabla 47: Evaluación del riesgo para el sistema del agua – con medidas preventivas. .	134
Tabla 48: Comparación de la reducción del riesgo en fuente de agua.....	135
Tabla 49: Comparación de la reducción del riesgo en línea de conducción.....	135
Tabla 50: Comparación de la reducción del riesgo en estación de bombeo.....	136
Tabla 51: Comparación de la reducción del riesgo en reservorios.....	136
Tabla 52: Comparación de la reducción del riesgo en redes y conexiones.....	136

### **Índice de Planos.**

Plano 01: Ubicación de los buzones de la galería filtrante cabeza de toro.....	47
Plano 02: Ubicación de los daños en el sistema de agua.....	64
Plano 03: Mapa de peligros vs daños en el sistema agua.....	65
Plano 04: Ubicación de los daños en el sistema de alcantarillado.....	70
Plano 05: Mapa de peligros vs daños en las estaciones de bombeo.....	75
Plano 06: Mapa de peligros vs daños en el sistema alcantarillado.....	78

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES**

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El BANCO MUNDIAL a través del equipo agua y saneamiento (WSP) está elaborando una guía práctica para reducir daños en sistemas de agua y saneamiento cuando ocurra fenómenos intensos como sismos, deslizamientos e inundaciones. En este documento, se presenta el estudio de caso del sismo del 15 de Agosto del 2007, ocurrido en costa central del Perú. Este estudio de caso será utilizado como referencia por el Ing. Julio Kuroiwa para desarrollar la guía, por el encargo del BANCO MUNDIAL.

Los datos fueron obtenidos de las empresas prestadoras de servicio: EMAPA CAÑETE, SEMAPACH, EMAPISCO y EMAPICA, así como los reportes de SEDAPAL, SUNASS e información obtenida en la web. En el capítulo II, se presenta la **descripción de los componentes del sistema de agua y saneamiento de la ciudad de Pisco**. En el capítulo III, se muestra todos los daños que causó el sismo en Pisco, Cañete, Chincha e Ica. En el punto 3.7 se muestra el resultado de la estimación del riesgo para el sistema de agua de Pisco. En en los planos 3, 5 y 6 se ha geo-referenciado el mapa de peligros de Pisco cercado con los daños en los componentes del sistema de agua y alcantarillado. En el capítulo IV, se presenta las **enseñanzas y recomendaciones para proteger infraestructuras del sistema de agua y saneamiento**. En la primera parte, se muestra las enseñanzas; en la segunda, las medidas que deben adoptarse para mitigar daños en sistema de agua y saneamiento. Luego se presenta las matrices de daños y recomendaciones por cada componente. En el punto 4.7, se presenta la tabla 47 que indica cuanto se disminuiría el riesgo cuando se aplique las recomendaciones de la presente tesis. Finalmente, en el capítulo V, se presenta las conclusiones y recomendaciones.

## 1.2 OBJETIVOS

### Objetivo general:

- Proponer medidas de mitigación y prevención para reducir las pérdidas en los componentes más vulnerables del sistema de agua y saneamiento cuando ocurra un terremoto.

### Objetivos Específicos:

- Investigar sobre los daños que afectaron al sistema de agua y saneamiento en Pisco y San Andrés, ocasionados por el terremoto del 2007, de manera complementaria, en Ica, Chincha y Cañete. Los daños del sistema de agua y saneamiento de Pisco se correlaciona en los mapas de peligro preparado por el Programa de Ciudades Sostenibles de INDECI / PNUD.
- Proponer mejoras en la atención de emergencia en el abastecimiento de agua a ciudades con el sistema de agua y saneamiento colapsado, después de un terremoto

### 1.3 CONCEPTOS BÁSICOS

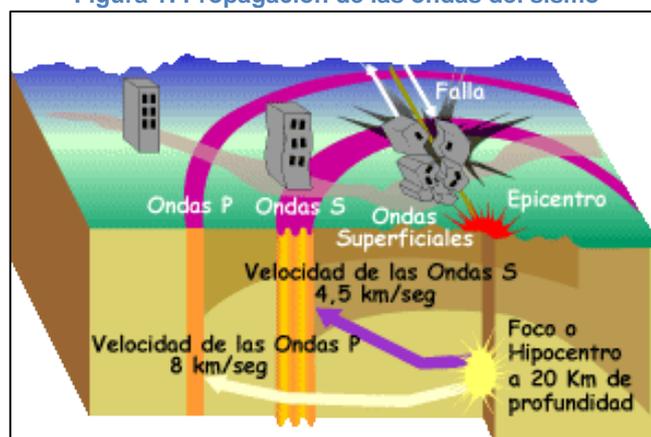
#### TERREMOTO

El terremoto es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producido por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Los más comunes se producen por la ruptura de fallas geológicas. También pueden ocurrir por otras causas como, por ejemplo, fricción en el borde de placas tectónicas, procesos volcánicos o incluso ser producidos por el hombre al realizar pruebas de detonaciones nucleares subterráneas.

#### Propagación de un terremoto

El movimiento sísmico se propaga mediante ondas elásticas (similares al sonido), a partir del hipocentro. Las ondas sísmicas se presentan en tres tipos principales: El movimiento sísmico se propaga mediante ondas elásticas (similares a las del sonido) a partir del hipocentro. Las ondas sísmicas son de tres tipos principales:

Figura 1: Propagación de las ondas del sismo



Fuente: Internet- biblioteca de investigaciones

- **Ondas longitudinales, primarias o P.** Ondas de cuerpo que se propagan a velocidades de 8 a 13 km/s en el mismo sentido que la vibración de las partículas. Circulan por el interior de la Tierra, donde atraviesan líquidos y sólidos. Son las primeras que registran los aparatos de medición o sismógrafos. De ahí su nombre «P».
- **Ondas transversales, secundarias o S.** Son ondas de cuerpo más lentas

que las anteriores (entre 4 y 8 km/s). Se propagan perpendicularmente en el sentido de vibración de las partículas. Atraviesan únicamente sólidos. En los sismógrafos se registran en segundo lugar.

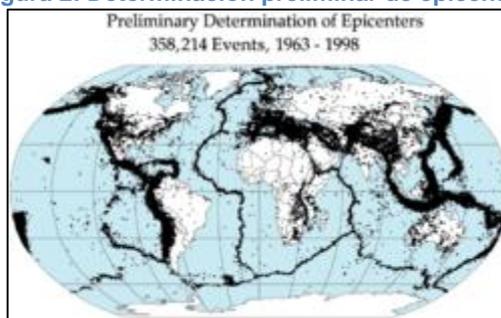
- **Ondas superficiales.** Son las más lentas: 3,5 km/s. Resultan de interacción de las ondas P y S a lo largo de la superficie terrestre. Son las que causan más daños. Se propagan a partir del epicentro. Son similares a las ondas (olas) que se forman sobre la superficie del mar. En los sismógrafos se registran en último lugar.

### MEDICIÓN DE TERREMOTOS

Se realiza a través de un instrumento llamado sismógrafo. Este instrumento registra en un papel la vibración de la Tierra producida por el sismo (sismograma). Nos informa la magnitud y la duración. Este instrumento registra dos tipos de ondas: las superficiales, que viajan a través de la superficie terrestre y que producen la mayor vibración de esta ( y probablemente el mayor daño) y las centrales o corporales, que viajan a través de la Tierra desde su profundidad.

#### Escalas de magnitudes

Figura 2: Determinación preliminar de epicentros



Fuente: Internet- Wiquimedia

#### Magnitud de Escala Richter

Representa la energía sísmica liberada en cada terremoto y se basa en el registro sismográfico. Es una escala que crece en forma semilogarítmica, de manera que cada punto de aumento puede significar un aumento de energía diez o más veces mayor. Una magnitud 4 no es el doble de 2, sino que 100 veces mayor.

### **Magnitud en escala Richter**

- Menos de 3.5 Generalmente no se siente, pero es registrado
- 3.5 - 5.4 A menudo se siente, pero sólo causa daños menores.
- 5.5 - 6.0 Ocasiona daños ligeros a edificios.
- 6.1 - 6.9 Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
- 7.0 - 7.9 Terremoto mayor. Causa graves daños.
- 8 o mayor Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

(NOTA: Esta escala es "abierta", de modo que no hay un límite máximo teórico).

### **Escalas de intensidades**

#### **INTENSIDAD O ESCALA DE MERCALLI**

(Modificada en 1931 por Harry O. Wood y Frank Neuman)

Escala sismológica de Mercalli, de 12 puntos, desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos según los efectos y daños causados a distintas estructuras. Debe su nombre al físico italiano Giuseppe Mercalli.

Se expresa en números romanos. Esta escala es proporcional, de modo que una Intensidad IV es el doble de II, por ejemplo. Es una escala subjetiva, para cuya medición se recurre a encuestas, referencias periodísticas, etc. Permite el estudio de los terremotos históricos, así como los daños de los mismos. Cada localización tendrá una Intensidad distinta para un determinado terremoto, mientras que la Magnitud será única para dicho sismo.

- I. Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
- II. Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
- III. Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los

vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un vehículo pesado. Duración estimable.

IV. Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un vehículo pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.

V. Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.

VI. Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplacados o daño en chimeneas. Daños ligeros.

VII. Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal proyectadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.

VIII. Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían vehículos motorizados.

IX. Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.

X. Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se

---

tuercen; considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes; invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.

XI Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie; puentes destruidos; anchas grietas en el terreno, las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio; hundimientos y derrumbes en terreno suave; gran torsión de vías férreas.

XII Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno; perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares); objetos lanzados en el aire hacia arriba.

#### 1.4 EXPERIENCIA INTERNACIONAL

Se incluyen los daños en los sistemas de agua y alcantarillado causados por los sismos de Northridge, CA (Mw 6.7) de 1994, y el de Kobe, Japón (M7.8) de 1995, que pusieron fuera de servicio líneas vitales de dos modernas e importantes áreas metropolitanas: Los Ángeles, CA en los EE.UU. y Kobe, Japón. Las respectivas investigaciones fueron realizadas sistemáticamente, aplicando una nueva especialidad: la Ingeniería Sísmica de Líneas Vitales (Lifelines Earthquake Engeneering) que en la década de los 1990 ya había desarrollado una metodología reconocida por la comunidad técnico-científica internacional, como una importante contribución para la comprensión del comportamiento sísmico de componentes de S A y A, y reducir daños en sus componentes.

#### **EL SISMO DE NORTHRIDGE DE 1994 Y EL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LOS ÁNGELES, CA. DAÑOS EN SUS PRINCIPALES COMPONENTES**

Se describen los daños causados por el terremoto en Northridge de 1994, el sector noroeste de la metropolitana de Los Ángeles, empezando por las fuentes del agua cruda, hasta que el agua llega a los usuarios finales.

Las fuentes de agua cruda se ubican a más de 250 km. de distancia del epicentro del sismo, en la lluviosa parte norte del estado de California, y el caudaloso río Colorado, ubicado al este de Los Ángeles. Estas fuentes alimentan 5 plantas de tratamiento de agua a través de varios acueductos. Además cuentan con pozos de agua dentro de la ciudad que incrementan el agua disponible.

## **EFFECTOS DEL TERREMOTO DE KOBE, JAPÓN DE 1995 EN SU SISTEMA DE AGUA POTABLE.**

Los daños y pérdidas en el sistema de agua potable del puerto de Kobe fueron muy severos, por las altas intensidades sísmicas (XI MMI), debido a que la falla tectónica con trazo visible cruzó parte de la ciudad y luego corrió en sentido paralelo a la dirección principal de desarrollo urbano de ésta, que se ubica en una alargada franja relativamente angosta de suelo fangoso y saturado de agua, entre las montañas Rocko, que es roca rígida, y el mar, que humedece permanentemente los suelos finos cercanos.

Según el Departamento de Agua de Kobe (KWD, Sel) las pérdidas totales, incluyendo la reducción de ingresos al dejar de prestar servicios entre uno y tres meses, ascendieron a US\$ 350 millones (de 1995), los costos directos para reparar los destrozos se estimaron en US\$ 242 millones (Matsushita, 1998)<sup>3.8</sup>. Colapsó el 6to. piso del Municipio de Kobe, donde se ubicaba la oficina matriz del Departamento de Agua de Kobe-KWD. Allí se perdieron varios documentos técnicos del S A y A de la ciudad, como los planos de las tuberías de agua.

Se dañaron: 1 de las 3 presas de almacenamiento de agua cruda; 2 tramos sobre un total de 43 km de acueductos de agua cruda, incluyendo el colapso de muros de concreto armado del túnel Sengai; 6 tramos sobre un total de 200 km de tuberías matrices de distribución de agua; el reservorio de servicio Egeyama, que se partió en dos, perdiéndose su contenido de agua tratada, sobre un total de 119 tanques; 1,757 roturas de tuberías de distribución. Se dañaron 89,584 conexiones domiciliarias de pequeño diámetro de 650,000 servicios existentes. Las dos últimas fallas fueron las más numerosas y graves; el costo de reparación ascendió a US\$ 192 millones, equivalente al 55% de los gastos de reparación y mejoramiento del sistema de agua potable de Kobe.

## **CAPÍTULO II**

### **DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LAS CIUDADES AFECTADAS POR EL TERREMOTO DEL 2007**

## 2.1 EL TERREMOTO DE LA REGIÓN ICA DEL 15 DE AGOSTO DE 2007

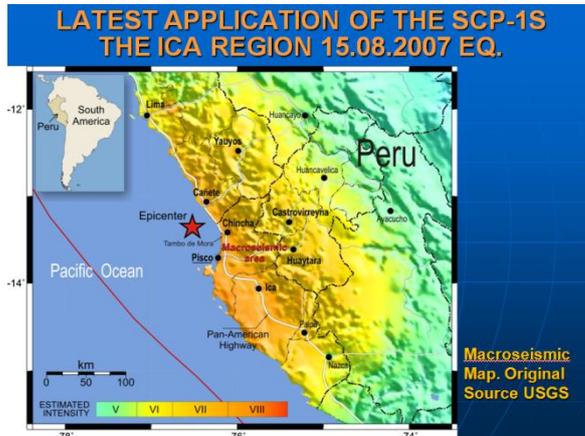
A las 18 h 41 m, hora local, el 15 de agosto de 2007, un terremoto de magnitud Mw 8.0 (USGS), Mw 7.9 (IGP), ocurrió en el mar, frente a las costas de la región Ica. Las coordenadas fueron 76.5°W y 13.32°S. Afectó el sur medio del Perú, que incluyen las provincias de Pisco, Chincha e Ica, de la región Ica; el sur de Lima y las provincias oeste de Ayacucho y Huancavelica.

La actividad sísmica en el Perú es dominada por la interacción de la placa Nazca que se introduce o subduce debajo de la placa Sudamericana. Según mediciones satelitales precisas, estas placas se acercan una a la otra, a razón 7-9 cm/año, acumulando así la enorme energía que se libera al ocurrir terremotos.

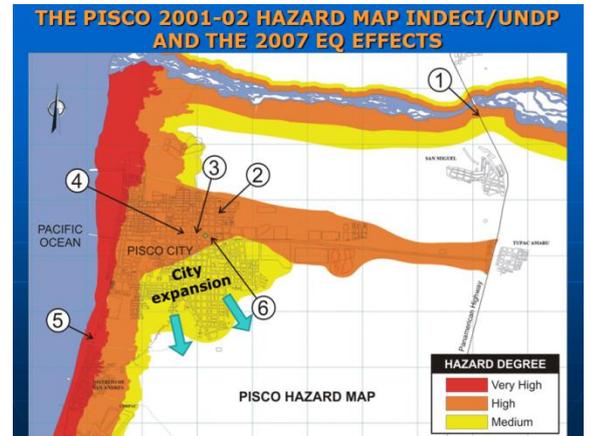
El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) reportó oficialmente 519 víctimas, 1,291 heridos y unas 80,000 viviendas que colapsaron o fueron severamente afectadas, la mayoría casas de adobe y construcciones antiguas de albañilería y edificaciones de concreto armado sin diseño sismo-resistente.

El sismo tuvo claros efectos de microzona. Estos fueron visualizados en los mapas de peligros desarrollados en los años 2001-2002 por el Programa Ciudades Sostenibles INDECI/PNUD. Por las características del suelo de Pisco consistente en arena fina y limo, con la napa freática muy cerca de la superficie se estimaba que allí ocurrirían altas intensidades. En efecto, ello sucedió, llegando la intensidad a VIII MMI en la franja costera de Pisco playa, donde además ocurrió licuación parcial de suelo, y fue invadido por un tsunami con olas de altura (run up) de 2 a 3 metros.

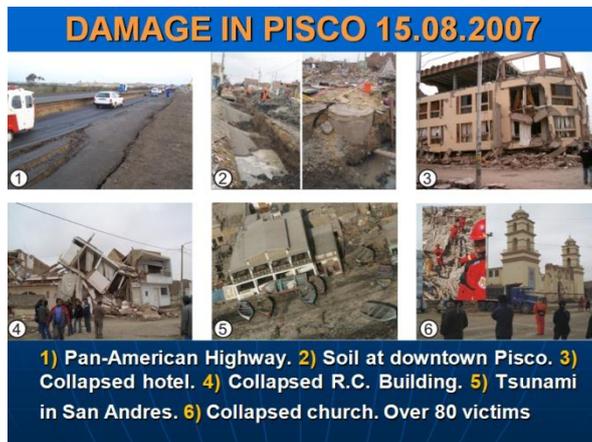
Las investigaciones de validación, efectuadas entre octubre de 2007 y mayo de 2008, indicaron los sectores calificados con peligro muy alto, alto y medio, coincidieron bastante bien con los resultados de los estudios del 2001-2002, y con los efectos reales del sismo del 15 de agosto del 2007.



Área macrosísmica del terremoto de la Región Ica del 15 de agosto de 2007. Fuente USGS.



Mapa de peligros de Pisco y ubicación de daños mostrados en la próxima imagen.



DAÑOS EN PISCO 15.08.2007

1. Daños en la Carretera Panamericana Acceso al Puente Huamaní.
2. Daños en tuberías de agua y desague en suelo compacto muy húmedo.
3. Colapso del Hotel Embassy.
4. Colapso del edificio de concreto armado.
5. Tsunami en San Andrés.
6. Colapso de la Catedral de Pisco.

El mapa de peligros de Tambo de Mora de 2001-2002 indicaba que allí ocurrirían altas intensidades sísmicas y licuación generalizada de suelos, como sucedió durante el terremoto. Como consecuencia de ello, manzanas enteras de viviendas se hundieron entre 0.60 m y 1 m. Ejemplo la cárcel provincial de Chíncha, ubicada en Tambo de Mora, sufrió severos efectos del sismo. Todos los cercos colapsaron y permitió la fuga de los internos. En la oscuridad, los reos



DAÑOS POR LICUACIÓN DE SUELOS EN TAMBO DE MORA

1. Licuación
2. Hundimiento de la cárcel.
3. Volcán de arena.
4. Desplazamiento lateral (lateral spread) de un muro.
5. Hundimiento de una casa.
6. Iglesia evangélica de adobe sin daños, construida cortando un montículo de suelo muy firme.

sintieron que el agua les llegaba hasta los tobillos, por el tsunami que inundó el área, como por la eyección del agua del subsuelo a través de grietas y conos volcánicos. En ese centro carcelario varios edificios se hundieron en la misma magnitud que las viviendas, e inclusive hubo desplazamiento lateral (lateral spread) de varios muros, a pesar de estar construidos en un terreno plano.

Los deterioros en líneas vitales, como carreteras y sistemas de agua y desagüe quedaron claramente influenciados por las características de suelos, geología y topografía del lugar. Por ejemplo, la base y carpeta asfáltica de la carretera Panamericana sur quedaron destruidas entre los kilómetros 190 y 200, a consecuencia de las filtraciones de agua de una irrigación que existe en una plataforma superior, donde se riega por inundación.

En ese tramo de carretera, el gramalote –pasto de suelo salitroso, que crece hacia el oeste de la carretera Panamericana, presenta hasta ahora, las grietas escalonadas que se produjeron en el suelo. En el km 200, donde una alcantarilla de concreto armado sirve para cruzar una pequeña quebrada seca en un 95% del tiempo, de la humedad en subsuelo subsiste y causó la falla por corte de la alcantarilla de dos ojos, y desplazamiento lateral del carril derecho de la carretera Panamericana hacia el lado no confinado (oeste). Fue también notoria la licuación de suelo y desplazamiento lateral de la plataforma de la aproximación desde el sur hacia el puente Huamaní, que cruza el río Pisco.

Estos son algunos ejemplos que demuestran gran influencia de las características del suelo en el grado de daños de edificaciones, líneas vitales como carreteras y tuberías de agua y desagüe. En Pisco y Tambo de Mora, las tuberías quedaron destruidas y puestas fuera de servicio.

Los bordes de las pozas de la planta de tratamiento de aguas servidas de Boca del Río se fracturaron en varios lugares. En la zona predomina suelo con grano fino porque se ubica en la parte baja del valle de Pisco, donde, por la poca pendiente del terreno, fueron depositados a baja velocidad. En pozos de tratamiento de aguas servidas, el fondo de dichos tanques y sus bordes están saturados de agua, lo que explica los daños que ocurrieron en esa planta de tratamiento.

## 2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE PISCO.

### UBICACIÓN

La provincia de Pisco es una de las cinco provincias que conforman el departamento de Ica, perteneciente a la Región peruana de Ica. Se ubica en la parte nor central de la región y limita, al norte con la provincia de Chincha, al este con la región Huancavelica, al sur con la provincia de Ica y al oeste con el Océano Pacífico.

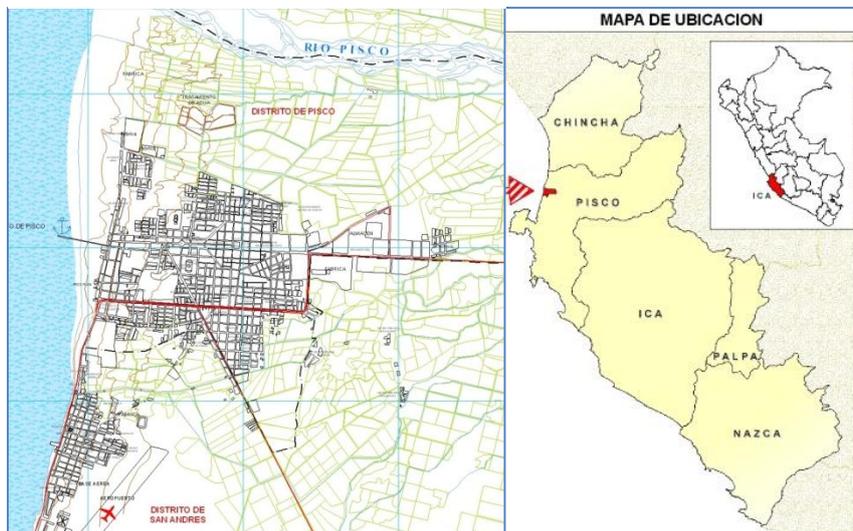
**Las localidades del áreas de estudio son;** el distrito de Pisco, con una extensión de 24.92 Km<sup>2</sup>, ubicada a una altura de 17 m.s.n.m. y una densidad de 2,174 hab. /Km<sup>2</sup>; el distrito de San Andrés, con una extensión de 39.45 Km<sup>2</sup>, ubicada a 3 m.s.n.m. y una densidad de 358.30 hab. /Km<sup>2</sup>. Se ubica entre las coordenadas (UTM WGS 84):

Norte: 8'481,000 m. a 8'486,000 m.

Este: 368,000 m. a 376,000 m.

Altitud: Entre 0 y 80 m.s.n.m.

Figura 3: Esquema de ubicación de Pisco



Fuente: PMO DE EMAPISCO

### VÍA DE ACCESO

La principal vía de acceso terrestre al área de estudio es la carretera Panamericana sur, que une longitudinalmente las provincias del departamento

de Ica y que le permite a Pisco y San Andrés, tener una comunicación fluida con las ciudades de Chincha, Cañete, Lima e Ica.

### **CLIMA Y TOPOGRAFIA**

El clima de la provincia de Pisco tiene por lo general un clima típico de la costa central, con relativa presencia de lluvias durante todo el año, con temperaturas que según datos estadísticos del SENAMHI, arrojan los siguientes resultados:

Temperatura máxima promedio                      30° C.

Temperatura mínima promedio                      14° C.

Temperatura promedio                                      21° C.

La topografía del terreno es relativamente plana con pendientes mínimas que no predominan.

### **POBLACION**

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (Censo 2005), la población de la provincia de Pisco fue de 116,865 habitantes. La población total para el distrito de Pisco es de 54,193 habitantes y del distrito de San Andrés de 14,134 habitantes. El distrito de Pisco es el más poblado de la provincia, albergando el 46.0% del total, le sigue San Clemente con el 14.8% y San Andrés con el 12.0%.

### **VIVIENDA**

La condición social de la población a nivel provincial está reflejada en las condiciones del sector vivienda. Según datos del censo 1993 (Fuente: INEI) el 41.0% del total de viviendas son de ladrillos; el 52.0%, de adobe o quincha; y el 7.0% restante, de otros materiales. Por otro lado, solo el 16.0% de las viviendas tienen techo de concreto; el 63.0%, de caña o estera; y el resto, de otros materiales.

#### **2.2.1 Descripción del sistema de agua del distrito de Pisco.**

El sistema de abastecimiento de agua de la ciudad de Pisco, Túpac Amaru y San Andrés cuenta con los siguientes componentes.

- a. Captación, galería de filtración en Cabeza de Toro
- b. Línea de conducción, Cabeza de Toro - Pisco

- c. Reservorio de almacenamiento, R1, R2 y R3
- d. Redes de distribución
- e. Conexiones domiciliarias

#### **2.2.1.1. Captación: galería de filtración en Cabeza de Toro**

**Descripción:** Es un sistema de Galerías de filtración consistente en 02 tuberías paralelas una de recolección y transporte y la otra ranurada que capta mediante filtración natural el agua del acuífero y de recarga superficial, con 19 cámaras o buzones de Inspección ubicados a cada 200m. Este sistema que es totalmente hermético funciona íntegramente por gravedad

**Ubicación:** Está ubicada en el lecho del río Pisco a la altura de la compuerta del canal de Cabeza de Toro, sector del Fundo San Ignacio, distrito de Humay, provincia de Pisco.

**Drenes:** 19 drenes de 200m cada una

**Profundidad:** 8.00m

**Longitud:** 3.7km

**Capacidad:** En la época de lluvias en la sierra, su producción máxima en época de avenida es hasta 650 litros por segundo; en épocas de estiaje, 340 litros por segundo. El rendimiento promedio es de 400 litros por segundo. Hidráulicamente la capacidad de producción es 770 litros por segundo.

#### **2.2.1.2. Línea de conducción.**

**Descripción:** Conduce la producción de agua de la galería de filtración Cabeza de Toro hasta la ciudad de Pisco, en una longitud total de 30.52 km y funciona por gravedad. En los puntos bajos de la línea vieja se han instalados válvulas de purga (P3 al P8) con un diámetro de 150mm y en los puntos altos de la línea vieja, cuentan con válvulas de aire (V3 y V4) con diámetro nominal DN= 50mm instaladas en buzones de concreto.

La línea de conducción tiene 7 cámaras rompe presión, para limitar la presión de trabajo y evitar el golpe de ariete. Además, tiene instalado 2 macro medidores, el primero se ubica en la transición de la galería de filtración a la línea de conducción (MM 1) y el segundo idéntico, en Villa Túpac Amaru (MM 2); con el objetivo de controlar tanto la producción de la fuente de agua como las posibles pérdidas en el camino.

**Ubicación:** su trazo está a la margen izquierda del río Pisco y en su trayecto reparte el agua para los distritos de San Clemente y Túpac Amaru, después del cual llega al reservorio R-2 y R-1

**Material:** concreto reforzado, PVC, HD.

**Longitud:** Tiene dos tramos perfectamente definidos, el primero desde la Galería de filtración hasta la zona de Cuchilla Vieja (12Km.), fue instalada en el año 1,999; y el segundo, data del año 1,981, tiene una longitud de aproximadamente 18Km

**Diámetro:** 20", 24"

**Capacidad:** El caudal de diseño es de 440 l/s.

Tabla 1: Características de la línea de conducción.

Tramo		Longitud (m)	Material	Diámetro (mm)	Caudal máx (l/s)	Año de instalación
de	a					
BC-0	MM 1	12.58	PVC	600	510.00	2000
MM 1	CRP 1	2,457.24	PVC	450	440.00	2000
CRP 1	CRP 2	2,579.59	HD	500	530.00	2000
CRP 2	CRP 3	2,373.62	CR	500	525.00	2000
CRP 3	CRP 4	3,423.69	CR	500	440.00	2000
CRP 4	CRP 5	2,144.80	CR	500	465.00	2000
CRP 5	CRP 6	6,755.00	CR	600	790.00	1981
CRP 6	CRP 7	6,220.00	CR	600	600.00	1981
CRP 7	MM 2	183.64	AC	600	600.00	1981
MM 2	RA-2	4,371.86	AC	500	762.00	1981
		30,522.02				

Fuente: EMAPISCO S.A.

### 2.2.1.3. Reservorio de almacenamiento:

Pisco cuenta con dos reservorios. Estos abastecen simultáneamente a la ciudad de Pisco y San Andrés y otro que abastece a Túpac Amaru.

#### Reservorio de almacenamiento: RE-1

**Descripción:** El Reservorio Elevado, denominado RE-1, es de tipo Intze y fue construido en 1,961 y rehabilitado por PRONAP en 1998. El diámetro de la cuba es de 21.0 m.

**Ubicación:** Se encuentra ubicado en las mismas instalaciones donde actualmente está funcionando las oficinas provisionales de EMAPISCO.

**Material:** Concreto armado

**Capacidad:** 1400m<sup>3</sup> de capacidad

#### **Reservorio de almacenamiento: RA-2**

**Descripción:** Es un reservorio tipo apoyado que cuenta con su caseta de cloración por inyección al vacío. Fue construido en el año 1981, El diámetro es de 28.00 m, Abastecen a la ciudad de Pisco y San Andrés. Cuenta con un macromedidor, que controla el volumen de agua que consume los distritos de Pisco y San Andrés.

**Material:** Concreto armado

**Capacidad:** El volumen útil es de 3,800 m3

#### **Reservorio de almacenamiento: RA-3**

**Descripción:** Es un reservorio tipo apoyado, Abastece a la ciudad de Túpac Amaru, se alimenta a través de una estación de bombeo que, a su vez, es alimentada de una derivación de 10" de la línea de conducción en la CRP-7. El sistema de desinfección cuenta con dos equipos de clorinación. Uno de ellos inyecta cloro gas a la línea de impulsión que va al reservorio RA-3; y el otro, a una línea de derivación de 10" de la línea de conducción, que abastece a la zona baja del distrito de Túpac Amaru. Cabe mencionar que esta parte de la población no tiene volumen de regulación, se abastece directamente de la línea de conducción; las 24 horas.

**Ubicación:** Está ubicado en el distrito de Túpac Amaru

**Material:** Concreto armado

**Capacidad:** El volumen útil es de 1000 m3

**Tabla 2: Características de los reservorios de almacenamiento.**

Nombre	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Tipo	Fecha de construcción	Estado
RE-01 (Pisco y San Andrés)	1400	Elevado	1960	Malo
RA-02 (Pisco y San Andrés)	3800	Apoyado	1981	Bueno
RA-03 (Tupac Amaru-Zona Alta)	1000	Apoyado	1995	Bueno

Fuente: EMAPISCO S.A.

#### 2.2.1.4. Estación de bombeo.

La Estación de Bombeo se ubica en el Distrito de Túpac Amaru, el cual impulsa el agua hacia el reservorio RA-3, que abastece a la zona alta del mismo distrito. Fue construida el año 1995. Se instaló una bomba horizontal de 40 HP, la misma que fue rehabilitada el año 2000 por la KFW, donde se instaló la 2da bomba horizontal de 50 HP. Estas trabajan en forma alternada.

#### 2.2.1.5. Redes matrices y de distribución.

**Descripción:** El sistema de distribución de Túpac Amaru, Casalla y San Miguel es independiente al de Pisco y Las Redes matrices y de distribución de Pisco y San Andrés. Tienen una longitud de aproximadamente 129.53 Km. Inicialmente estuvieron diseñadas para trabajar como 02 zonas de presión, perfectamente definidas: la zona alta de Pisco abastecida con el RA-2 y la zona baja de Pisco y San Andrés abastecida por el RE-1; sin embargo, por la constante manipulación de válvulas y empalmes realizados por EMAPISCO, se ha perdido este concepto de distribución.

**Longitud y material:** Tienen una longitud de 137Km los cuales 47.2Km son de PVC; 78.9Km, de Asbesto Cemento; 10.9Km, de FºFº

**Presión:** presión en punto más alto 6 m.c.a.

**Perdida de agua:** 70%

**Continuidad:** 6 horas

**Tabla 3: Tubería de redes de distribución.**

Distrito	Tubería Existente			Total (m)
	PVC	AC	FºFº	
Pisco	35971	61218	9492	106681
San Andrés	8920	13926		22846
Túpac Amaru	28030	9756		37786
Total	72921	84900	9492	167313
Estado	Bueno	Malo	Malo	

Fuente: EMAPISCO S.A.

**Tabla 4: Metrado de redes existentes de agua potable de Pisco Cercado**

DN (mm)	Tubería Existente			Total (m)	Tipo
	PVC	AC	F°F°		
50	-	2,035	30	2,065	redes secundarias
80	1,466	789	3,655	5,91	
100	33,244	19,483	2,546	55,273	
150	5,12	6,058	2,078	13,256	
200	9,679	3,23	935	13,844	Redes matrices
250	1,722	2,05	123	3,895	
300	2,4	580	125	3,105	
350	4,2	215	-	4,415	
450	3,387	1,531	-	4,918	
<b>Total</b>	<b>61,218</b>	<b>35971</b>	<b>9492</b>	<b>106681</b>	

Fuente: EMAPISCO S.A.

**Tabla 5: Metrado de redes existentes de agua potable – San Andrés.**

DN (mm)	Tubería Existente			Total (m)	Tipo
	AC	PVC	F°F°		
50	183	-	-	183	Redes secundarias
80	161	-	-	161	
100	9408	8301	-	17709	
150	1712	619	-	2331	
200	414	-	-	414	Redes matrices
250	701	-	-	701	
300	1347	-	-	1347	
<b>Total</b>	<b>13926</b>	<b>8920</b>	<b>0</b>	<b>22846</b>	

Fuente: EMAPISCO S.A.

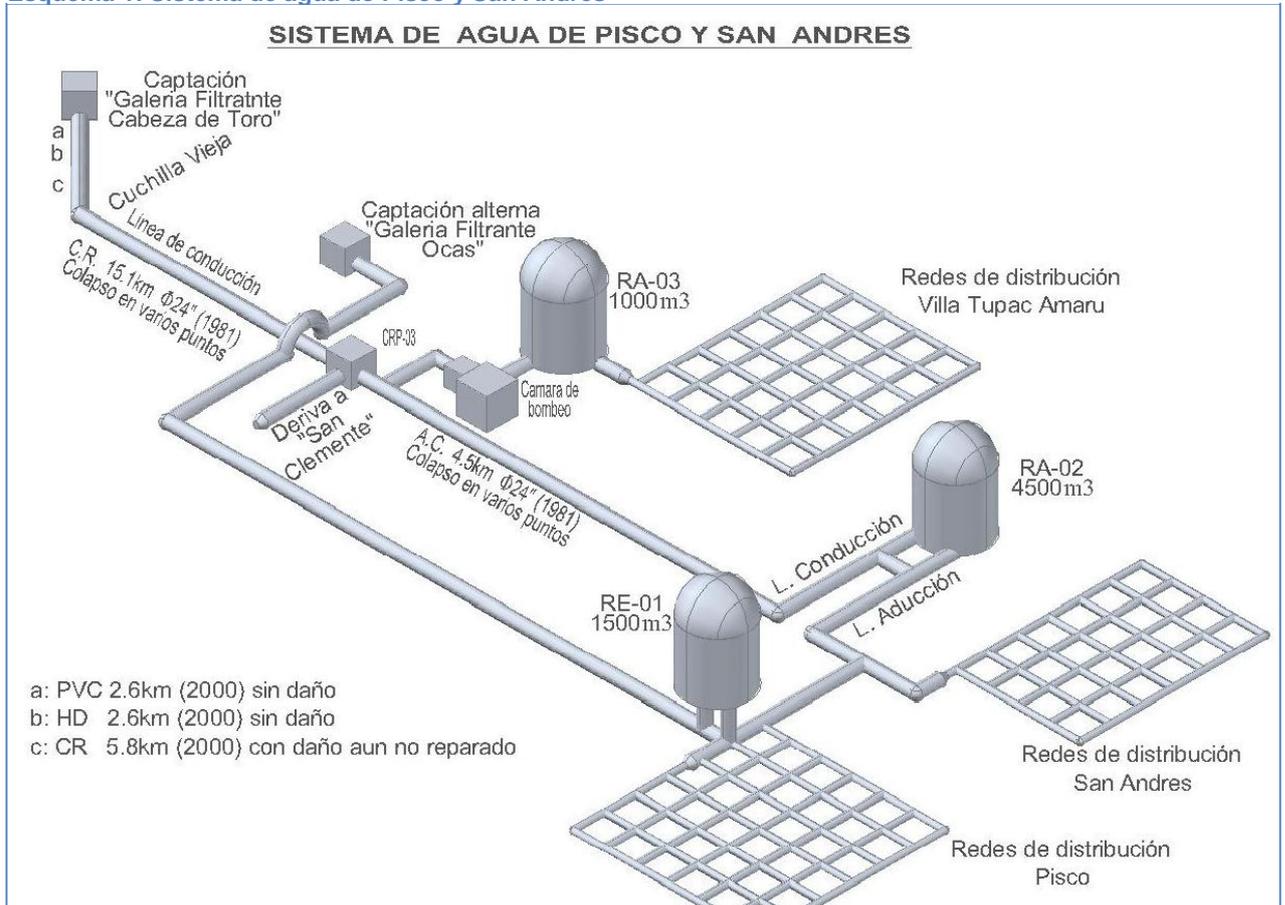
#### 2.2.1.6. Conexiones domiciliarias.

La EPS, al 31 de diciembre del 2007, registró 17,589 conexiones totales de agua potable, de las cuales, cerca del 94% corresponden a la categoría Doméstica y algo más del 5% a la categoría Comercial. La categoría Industrial no llega a representar ni el 0.2% del total de usuarios.

El número de conexiones activas, al 2007, fue de 12,444; equivalente al 70.8 % del total de conexiones. Por diferencia, existían 5,145 conexiones inactivas.

### 2.2.1.7. Esquema del sistema de agua.

Esquema 1: Sistema de agua de Pisco y San Andrés



Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.2 Descripción del sistema de saneamiento del distrito de Pisco.

Sistema de recolección y conducción de las aguas residuales domésticas de Pisco, San Andrés y Túpac Amaru cuenta con los siguientes componentes.

- a. Redes de alcantarillado
- b. Colectores
- c. Cámara de bombeo
- d. Emisores
- e. Planta de tratamiento de aguas residuales

#### 2.2.2.1. Redes de alcantarillado.

El sistema de alcantarillado de Pisco funciona por gravedad en la parte alta y por bombeo en las partes bajas, impulsando sus desagües hasta un interceptor, el cual transporta las aguas residuales hasta un emisor y de allí, a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Boca de Río”. El sistema cuenta con una estación de bombeo principal Leticia, que recibe los desagües de la parte baja de Pisco y de dos estaciones de bombeo pequeñas, correspondientes a dos centros poblados.

El sistema de alcantarillado de San Andrés funciona por bombeo, con 2 estaciones de bombeo, una de ellas construida el año 2008 y la otra rehabilitada también el año 2008. Las dos estaciones impulsan los desagües hacia el interceptor Abraham Valdelomar, que conduce las aguas residuales a la estación de bombeo de Leticia ubicada en la ciudad de Pisco.

El sistema de alcantarillado de Túpac Amaru que incluye a los centros poblados de Casalla y San Miguel; tiene un sistema mixto; ya que las aguas residuales de Túpac Amaru y Casalla discurren íntegramente por gravedad, mientras que el sistema de alcantarillado de San Miguel está conformado, además, por dos estaciones de bombeo. Todos confluyen en un emisor que lleva las aguas servidas hasta las lagunas de oxidación, ubicadas al lado sur de los centros poblados.

#### **2.2.2.2. Colectores**

Este sistema de Pisco conformado por siete cuencas, contando con una red de colectores que tiene 81.7Km con 1200 buzones, un interceptor de 3.3Km, líneas de Impulsión con un total de 1.8Km de longitud, un emisor de 1.8Km de longitud y cuatro estaciones de bombeo.

El sistema de Túpac Amaru que incluye a los centros poblados de Casalla y San Miguel tiene una longitud total de 16.9 Km, en su mayoría con tubería C.S.N. de DN 200mm. Es un sistema relativamente nuevo ya que fue instalado entre los años 1,995 y 1,996.

El Colector principal, denominado San Juan de Dios, cuya longitud es de 2.3 km. y con diámetro de 400 a 500mm, de material concreto simple normalizado, descarga al emisor general. Este colector descarga desagües provenientes de la parte alta de Pisco.

El colector principal San Isidro (Andina) se inicia en la asociación de Vivienda Fundo El Tiempo, por la parte posterior de la Asociación de Vivienda San Pedro, Este Colector tiene una longitud de 2,419.40 m con diámetros que varía de 300mm a 400mm. De C.S.N. descarga el desagüe en la estación de Bombeo Leticia.

El colector principal Balta se inicia con la llegada de la línea de Impulsión de la cámara de bombeo San Martín. Tiene una longitud total de 1,253 m. con diámetros que varían de 250mm a 350 mm.

El colector principal Abraham Valdelomar se inicia en el cruce de Camino Real y al Av. Abraham Valdelomar cuyos diámetros varían de 355mm a 720 mm. Fue renovado el año 2007. Se encuentra operativo y en buen estado. Intercepta los desagües de la parte alta de la ciudad de Pisco y recibe las descarga de los desagües provenientes de las cámaras de bombeo de San Andrés y las deriva por gravedad hacia el emisor general.

Tabla 6: Resumen de redes de alcantarillado

Distrito	Tubería Existente		Total (m)
	PVC	CSN	
Pisco	41623,21	31376,79	73000
San Andrés	8108,45	12891,55	21000
Túpac Amaru	-	16933,76	16933,76
Total	49731,66	61202,1	110933,76

Fuente: EMAPISCO S.A.

### 2.2.2.3. Cámaras de bombeo de desagüe.

Se tiene en total 7 cámaras de bombeo; de las cuales, 3 se ubican en el sistema de alcantarillado de Pisco; 2, en San Andrés; y las otras 2, en Túpac Amaru.

La cámara de bombeo de San Andrés Antigua: con un caudal de impulsión de 30 l/seg. Las bombas tienen una potencia de 30 HP. Son controladas por un tablero eléctrico. Desde esta se impulsa hacia Pisco utilizando una línea de 250 mm con una distancia 3.3. km., descargando en el buzón en la intersección de las Av. Comercio y las Américas. Anteriormente se derivaba por gravedad al colector principal denominado San Juan de Dios; pero por estar colapsado dicho colector la descarga es evacuada por el colector Abraham Valdelomar y éste deriva los desagües por gravedad al emisor general y luego derivado a las lagunas de oxidación Boca de Río.

La cámara de bombeo de San Andrés Nueva presenta: con un caudal de impulsión de 30 l/seg. Las bombas tienen una potencia de 30 HP, y son controladas por un tablero eléctrico. Es impulsada hacia Pisco utilizando una línea de 250mm, en una distancia 2.5 km, desde la Cámara de bombeo de San Andrés Nueva hasta descargar al colector principal Abraham Valdelomar.

En la estación de bombeo existente de Leticia, tiene un área de terreno de 600m<sup>2</sup>, La cámara de bombeo tiene 4.0 m. de diámetro. Cuenta con una cámara húmeda de 7.30 m. de profundidad y una cámara seca de 3.05 m de altura.

La cámara de bombeo Miguel Grau no está cercada. Su capacidad muchas veces es rebasada por el flujo de desagües provenientes del A.H. Miguel Grau, El desagüe es impulsado a través de una tubería de PVC C-7.5 de 85.95 m. de

longitud y descargando en un buzón de descarga ubicado en la Av. Paracas, y luego, por gravedad, el desagüe es derivado hacia la estación de bombeo de Leticia.

#### **2.2.2.4. Emisor principal**

El sistema de alcantarillado de Pisco y San Andrés, cuenta con un emisor general que recibe las descargas de los desagües de Pisco, Pisco Playa y San Andrés, mediante la línea de impulsión de Leticia, el colector San Juan de Dios, Colector Abraham Valdelomar y del colector Industrial, para finalmente descargar las aguas residuales a las Lagunas de Estabilización “Boca del Río”.

#### **2.2.2.5. Planta de tratamiento de aguas residuales.**

Las aguas servidas de Pisco y San Andrés son tratados en la planta de tratamiento de aguas servidas denominada Boca de Río, y las aguas servidas de Túpac Amaru, Casalla y San Miguel se tratan en el PTAR-Villa Túpac Amaru.

#### **Planta de Tratamiento Aguas Residuales “Boca de Río”**

Las aguas servidas de Pisco y San Andrés son dispuestas en la planta de tratamiento de aguas servidas denominada Boca de Río, la cual está constituida por una batería de 06 lagunas, 02 anaeróbicas, 02 facultativas y 02 de maduración en serie, además de cámara de rejillas y cámara de bombeo de desagües; en un área aproximado de 23 Has. Esta planta data del año 2000, y no sufrió mayores daños por efecto del sismo del 2007. Tiene un funcionamiento adecuado y está ubicada en el sector norte de Pisco.

Los desagües reciben tratamiento previo mediante una cámara de rejillas, luego son impulsados al canal de ingreso a las lagunas mediante 2 bombas tornillo que funcionan alternadamente. En el canal de ingreso, se reparte el caudal en dos que ingresan a las lagunas anaerobias.

El efluente de las lagunas anaeróbicas pasa a las lagunas facultativas y luego pasan a las lagunas de maduración; donde finalmente fluyen al canal de recolección de aguas residuales tratadas.

Los efluentes de la planta de tratamiento descargan al río Pisco ubicado a una distancia aproximada de 500 de la PTAR.

### Planta de Tratamiento Aguas Residuales “Villa Túpac Amaru”

La planta de tratamiento de aguas servidas del distrito de Túpac Amaru, Casalla y San Miguel, está constituido por una batería de 02 lagunas facultativas en paralelo, ubicadas en la parte sur del distrito. Esta planta data del año 1995.

#### Características de la planta de tratamiento de aguas residuales.

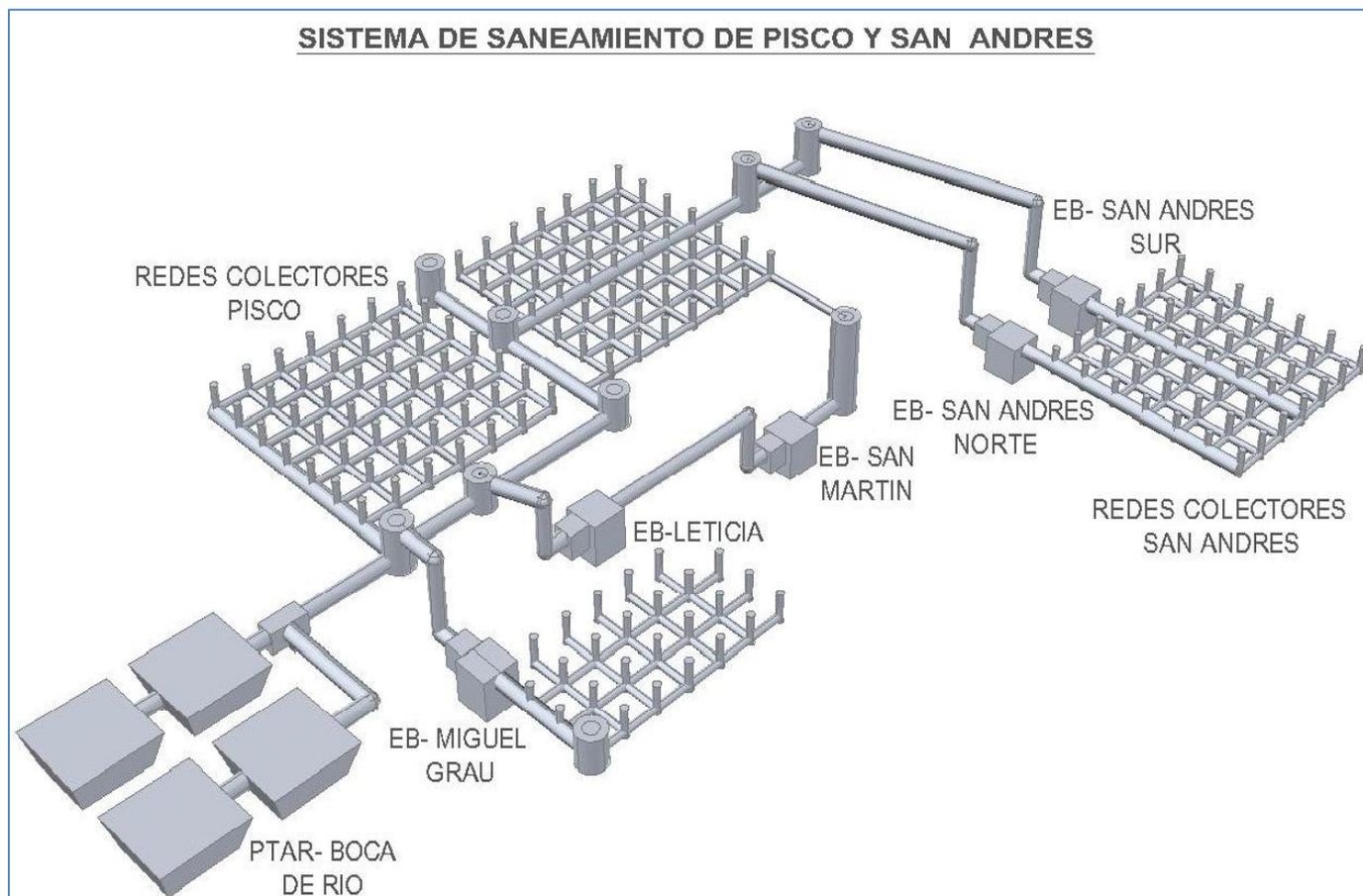
Tabla 7: Características de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Nombre	Tipo de tratamiento	Unidades	Área	Caudal	Caudal de Diseño
			(Ha)	(lps)	(lps)
Boca de Rio	Primario:	2	1	100	160
	Lagunas anaerobias				
	Secundario:	2	6	100	160
	Lagunas facultativas				
	Terciario:	2	9,2	100	160
	Lagunas Maduración				
Villa Túpac Amaru	Primario: Lagunas facultativas	2	1	10,5	25

Fuente: EMAPISCO S.A.

### 2.2.2.6. Esquema del sistema de saneamiento de la ciudad de Pisco y San Andrés.

Esquema 2: sistema de saneamiento de Pisco y San Andrés



Fuente: Elaboración propia

### **CAPÍTULO III**

#### **DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS QUE CAUSÓ EL SISMO EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO.**

### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR EL TERREMOTO DEL 2007 EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE PISCO.

#### 3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS CAUSADOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA.

El resumen de los daños en las tuberías de la línea de conducción y redes de distribución se indican en el cuadro siguiente. El cuadro muestra el número de reparaciones de las fugas visibles, pero no se puede saber exactamente cuánto daño fueron en fugas no visibles, razón por la cual, cuando rehabilitaron, consideraron cambiar todo el tramo que tenía material de asbesto cemento y hierro fundido.

**Tabla 8: Reparación y mantenimiento en la línea de conducción y redes de distribución.**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PISCO	TOTAL
Reparación de tuberías de 24"	unidad	19	105
Reparación de tuberías de 14"	unidad	2	
Reparación de tuberías de 8 a 12"	unidad	16	
Reparación de tuberías hasta 6"	unidad	68	
Reparación de conexiones domiciliarias	unidad	335	335
Mantenimiento de válvulas de 8" a 12"	unidad	68	117
Mantenimiento de válvulas hasta 6"	unidad	49	

Fuente: SEDAPAL

##### 3.1.1.1 Galería filtrante.

La fuente de abastecimiento de agua para San Clemente, Pisco, Túpac Amaru, San Andrés e Independencia tienen como fuente de agua la galería de filtración Alberto Toguchi Arakawa, que tiene una capacidad de 350lps en época de estiaje y 650lps en época de avenida. En el 2007 sufrió daños a pesar de ser estructuras relativamente nuevas (2000). Los daños fueron específicamente en las cámaras de inspección N° 2, 4, 6, 9 y 18. Estos buzones tienen una profundidad de 8 metros. Se presentó grietas entre la unión de dos cuerpos de concreto prefabricado, en las juntas de construcción donde hubo infiltración de agua superficial y sub superficial contaminadas con alta turbiedad. La medida adoptada fue aislar los tramos que presentaban este problema luego se procedió a rehabilitar.

Fotografía 1: Tapa de la cámara de la galería filtrante.



Fuente: Propia

Fotografía 2: Interior de la cámara..



Fuente: Propia

En la fotografía N° 1, se muestra la parte exterior de la cámara de inspección de la galería filtrante ubicada en el lecho del río Pisco a la altura de Humay. En la fotografía N° 2, se muestra como ingresa el agua por las paredes que se agrietaron como consecuencia del movimiento del suelo.

Fotografía 3: Vista de la cámara en el lecho del río Pisco



Fuente: Propia

Fotografía 4: Vigas de refuerzo en la cámara agrietada.



Fuente: Propia.

En la fotografía N° 4, se muestra la cámara de la galería filtrante donde hicieron una rehabilitación para solucionar las grietas provocadas por el sismo. Se nota unas vigas; si bien solucionan la parte estructural, pero no llegaron a solucionar la hidráulica ya que el agua sigue filtrándose pero en menor proporción.

Fotografía 5: Centro poblado Humay



Fuente: Propio

Fotografía 6: Descarga directa al río cerca de la galería filtrante.



Fuente: Propia

En la fotografía N° 5, se muestra la población de Humay; y en la fotografía N° 6, se muestra el punto de descarga de aguas residuales sin tratamiento ninguno al río Pisco, justo donde se ubican las galerías filtrantes Cabeza de Toro que capta el agua del río Pisco. Es evidente que el agua del río tiene altas concentraciones de coliformes que ingresan a la galería por las grietas que estas tienen en las paredes de las cámaras. Para evitar esta contaminación se aisló varios tramos de la galería, dejándolos inoperativos.

P-01

**PLANO 01: UBICACIÓN DE LOS BUZONES DE LA GALERÍA FILTRANTE  
CABEZA DE TORO**

### 3.1.1.2 Línea de conducción.

La línea de conducción que sale desde la galería filtrante Cabeza de Toro hasta un tramo de 12 km, en cuchilla vieja, es relativamente nuevo. Este tramo es de material de hierro dúctil de 24 pulgadas que en el 2007 sólo tuvo algunos daños en puntos aislados donde presentaron fuga de agua como consecuencia del terremoto. Específicamente, la fuga fue por la unión entre las tuberías.

El tramo de cuchilla vieja hasta Túpac Amaru es tubería de concreto reforzado de 24 pulgadas de diámetro, como se muestra en la fotografía N°7. Tiene una longitud de 18Km. Este tramo sí tuvo mayores daños. Se registraron hasta cuatro roturas; específicamente, la rotura fue en la campana de la tubería. La tubería desde Túpac Amaru hasta el reservorio es de asbesto cemento de 24 pulgadas. Este tramo también presentó hasta 5 puntos de rotura.

Se observaron 05 puntos de fuga entre las zonas de Murga y Paracas como punto de referencia la válvula de purga 1.

En la zona de Cuchilla Vieja, se encuentra la válvula de purga 2, la cual se encontraba inundada a causa de filtraciones del terreno hacia el interior de la cámara. Se encontró dos puntos de fuga en esta zona. La cámara de la válvula de purga N° 03, ubicada en la zona Cuchilla Vieja, estuvo inundada.

En la válvula de purga N° 05, se ha producido el fenómeno de licuación del terreno, el cual ha originado una inclinación de la cámara.

En la zona de Chongos, a 2 Km. antes de la válvula de purga N° 05, se encontraba descubierta un tramo de tubería que fue inicialmente planteada para su reparación. Actualmente hay dos puntos de fuga en las uniones, siendo estas dos puntos vulnerables debido a la posible contaminación externa.

En la línea de conducción, debido al agrietamiento de los terrenos por donde cruza la tubería, esta se desprendió y se desalineó como se muestra en las siguientes fotografías.

**Fotografía 7: Tubería de CR con desplazamiento lateral**

Fuente: SEDAPAL

**Fotografía 8: Tubería CR con desplazamiento lateral**

Fuente: SEDAPAL

En la fotografía N° 7 y 8 se ve cómo se produce desplazamiento horizontal de la tubería. Estos se separan en las uniones flexibles con anillo de jebes. Para rehabilitar, se tiene que excavar toda la zona afectada. Sería diferente si tuvieran uniones fijas estos no se separarían cada tubería sino en puntos ya establecidos, la colocación de disipadores sísmicos que sería como un acople rápido con más espacio para que la tubería no se desempalme.

Fotografía 9: Rotura de campana en tubería CR



Fuente: SEDAPAL

Fotografía 10: Inclinación de la tubería por deformación del suelo



Fuente: SEDAPAL

En la fotografía N° 09, se nota que la parte de la espiga de la tubería ejerce una fuerza de compresión y la parte de la campana está expuesta a tracción y como el concreto no trabaja a tracción, falla. La parte de la campana se agrieta y deja descubierto el acero de refuerzo y toda la línea queda destruida. En la fotografía N° 10, vemos que hay un desplazamiento vertical. Estos daños se evitarían y se utilizaran tubería de alta ductilidad que permita deformaciones y no se rompan cuando están expuestos a estos esfuerzos.

Fotografía 11: Deformación permanente del suelo



Fuente: SEDAPAL

Fotografía 12: Efectos de la rotura de la tubería



Fuente: SEDAPAL

En la fotografía de N° 11, se ve cómo quedó el suelo, con una deformación permanente, con grietas producto del desplazamiento vertical y horizontal. En la fotografía N° 12, se observa una inundación en terreno agrícola por rotura de tubería de la L.C. Esta rotura representó un alto costo de indemnizar al propietario.

**Fotografía 13: Punto de rotura de tubería**

Fuente: Propio

**Fotografía 14: Punto con fuga de agua visible**

Fuente: Propio

En la fotografía N° 13 y 14, se nota que hay fuga de agua visible. Esto es en la tubería de la línea de conducción a la altura de Murga. La fuga se da en la tubería de concreto reforzado de 28 pulgadas construidas en el año 2000, sobre suelo gravo arcilloso saturado, que cruza un canal de regadío. En zona se observó 3 puntos de fugas expuestas, cercanos al canal.

Fotografía 15: Cámara de válvula de aire



Fuente: Propia

Fotografía 16: Desplazamiento del techo de la cámara de válvula de purga.



Fuente: Propia

En la fotografía N° 15, se ve una cámara de válvula de aire que no fue afectado por el sismo a pesar de estar ubicado en suelo blando arena limosa. En la fotografía N° 16, se ve el agrietamiento y desplazamiento horizontal de 5 pulgadas del techo de una cámara de válvula de purga.

### 3.1.1.3 Cámara de bombeo de agua

La estación de bombeo de Villa Túpac Amaru sufrió daños en sus estructuras de concreto, produciéndose grietas en las paredes y techos. Asimismo, una electrobomba quedó fuera de servicio.

Fotografía 17: Electrobomba dañado



Fuente: Propia

Fotografía 18: Estructura con daños menores



Fuente: Propia

En la fotografía N° 17, se muestra la electrobomba que quedó fuera de servicio luego del sismo. En la fotografía N° 18, se muestra la parte exterior de la sala de máquina de la estación de bombeo de Túpac Amaru. En ella se nota el agrietamiento y hundimiento de la vereda.

Fotografía 19: EB de San Clemente.



Fuente: Propia

Fotografía 20: Hundimiento de la vereda en EB de San Clemente.



Fuente: Propia

En la fotografía N° 19, se muestra la precariedad de la estación de bombeo de San Clemente. En la fotografía N° 20, se muestra los daños menores que causó el sismo, En esta estación, al igual que en la estación de Túpac Amaru, la vereda se agrietó y se produjo hundimiento; pero la parte estructural de la edificación no fue afectado.

#### 3.1.1.4 Reservorio de almacenamiento.

##### Reservorio elevado R1

Está ubicado en la avenida Fermín Tangüis principal ingreso a Pisco. Tiene una capacidad de 1400m<sup>3</sup>. Fue construido el año 1960. Es elevado, apoyado sobre un sistema de vigas y columnas de concreto armado. Fue el reservorio que más sufrió durante el sismo de 2007. Los daños se produjeron principalmente en la estructura de soporte, en el sistema de vigas y columnas, presentando grietas en sus extremos cerca de los nudos. En algunos puntos, el recubrimiento de concreto se desprendió, quedando el refuerzo a la vista. En la actualidad está fuera de servicio.

Fotografía 22: RE-01 Antes del sismo



Fuente: EMAPISCO

Fotografía 21: RE-01 Después del Sismo



Fuente: Propia

En fotografía N° 21, se muestra el reservorio elevado antes del sismo y en fotografía N° 22 se muestra, el reservorio después del sismo quedó colapsado con daño estructural.

Fotografía 23: Rotura de Tubería de F°F°



Fuente: EMAPISCO

Fotografía 24: Daño en la viga



Fuente: Propio

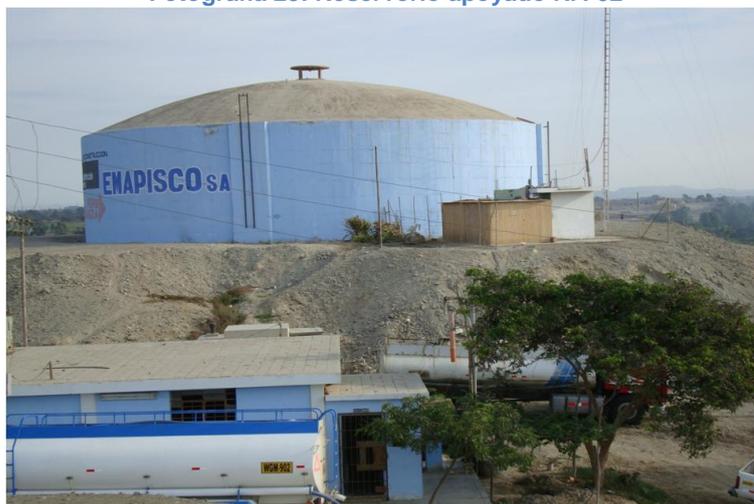
En la fotografía N° 23, se muestra en los instantes que se rompió la tubería de ingreso de fierro causando inundación. En la fotografía N° 24 se muestra los daños estructurales donde el acero queda al descubierto. El daño se produjo porque este tipo de estructura tiene baja rigidez, Este reservorio quedó colapsado y representa un peligro para las oficinas de EMAPISCO que se ubica al costado.

### **Reservorio apoyado R2.**

Tiene una capacidad de 4500m<sup>3</sup>, reservorio cilíndrico de concreto armado apoyado sobre el corte de un pequeño promontorio, suelo seco y compacto. Resistió el terremoto de 2007 sólo presentó la fractura en el dado de anclaje de

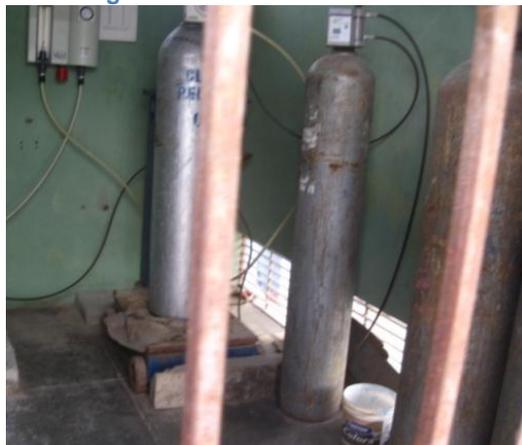
la línea de ingreso, rotura de la tubería de ingreso a la cuba de material de hierro fundido y el deterioro del sistema de inyección de cloro al vacío.

**Fotografía 25: Reservorio apoyado RA-02**



Fuente: Propio

**Fotografía 26: Sistema de clorinación**



Fuente: Propio

En la fotografía N° 25, se muestra el reservorio apoyado sobre un suelo compacto que no tuvo efecto alguno en la estructura del reservorio pero sí se rompió una tubería de hierro fundido. En la fotografía N° 26, se muestra el sistema de inyección de cloro gaseoso al agua. Este fue cambiado en el 2007. Note que las botellas no tienen cadena de seguridad. Con el sismo se caen y deterioran todo el sistema de clorinación.

### **Reservorio apoyado R3.**

Está ubicado en la villa Túpac Amaru. Tiene una capacidad de 1000m<sup>3</sup>. Es de tipo apoyado y fue construido en 1995. No presentó daño. Está funcionando adecuadamente y abastece a las poblaciones de Casalla y San Miguel. Sin embargo, el sistema de clorinación colapsó en los reservorios R2 y R3.

**Fotografía 27: Reservorio apoyado RA-03**



Fuente: Propio

#### **3.1.1.5 Redes de distribución**

Las tuberías que más se dañaron son las tuberías de material de asbesto cemento, concreto reforzado, hierro fundido y un punto aislado de tubería de polivinilo de cloruro (PVC). En total se identificaron 84 puntos, rotura de tubería en las redes de distribución. Estos puntos representaban a la fugas visibles pero no se detectó exactamente el número de fugas no visibles. Hubo 355 conexiones domiciliarias fueron afectados con una característica de desprendimiento de la tubería en la unión con pegamento. Hubo en total 117 válvulas que recibieron mantenimiento para poder sectorizar y restablecer el servicio por etapas y zonas.

#### **Zona de Túpac Amaru, Casalla y San Miguel**

Las redes matrices tienen 28 km de longitud, de los cuales 5.4 km son de asbesto cemento y 22.6 km son de PVC. En esta zona se presentaron 35 puntos de roturas, en su mayoría en tuberías de asbesto cemento.

### Zona de Pisco y San Andrés

En esta zona las redes de 137 km, se detectaron 200 puntos de rotura de tuberías, con fugas de agua. La mayoría de estas tuberías son de asbesto cemento. En los tramos que tienen tuberías de fierro fundido revestido con mortero de cemento, se han producido, aparentemente, desprendimientos del revestimiento del mortero, lo que ha dejado expuesto el fierro al agua, ocasionándose la corrosión de dicho material.

Fotografía 28: Tubería con rotura



Fuente: EMAPISCO

Fotografía 29: Tubería de AC con rotura



Fuente: EMAPISCO

En la fotografía N° 28, se puede notar que la tubería no tiene una buena protección con material seleccionado, El material de base (cama) y la primera capa de relleno no tienen arena gruesa sino exceso de gravas. En la fotografía N° 29, se muestra tubería de asbesto cemento. Estas tuberías tienen una limitada resistencia a los esfuerzos de corte y tracción que se producen por el desplazamiento del suelo cuando aumenta la aceleración.

Fotografía 30: Tubería de AC con reparación anti técnico



Fuente: EMAPISCO

Fotografía 31: Tubería de F<sup>0</sup>F<sup>a</sup> en Pisco Cercado



Fuente: Propio

En la fotografía N° 30, se ve una reparación no técnica. Solo amarraron con jebe y colocaron dado de concreto. Esto se debe al escaso recurso de la EPS. En la fotografía N° 31, se muestra la tubería de hierro fundido en el estado actual en que se encuentra. Se nota que está totalmente corroído.

Fotografía 32: Tubería de AC en proceso de rehabilitación



Fuente: EMAPISCO

Fotografía 33: Tubería de PVC utilizado en la rehabilitación.



Fuente: EMAPISCO

En la fotografía N° 32 y 33, se muestra que el personal de EMAPISCO ha rehabilitado toda la zona que tenía tubería, principalmente, de asbesto cemento y reemplazaron con tubería de material de polivinilo de cloruro (PVC).

**Fotografía 34: Ubicación dónde falló tubería de PVC**



**Fuente: Propio**

**Fotografía 35: Conexión domiciliaria.**



**Fuente: Propio**

En la fotografía N° 34, se muestra el único punto donde la tubería de PVC sufrió una rotura. Nótese que es un canal con suelo saturado, posiblemente haya sufrido mayores desplazamiento que provocaron el daño. En la fotografía N° 35, se observa una conexión domiciliaria típica con uniones empalmadas con pegamento. Este tipo de unión se desprenden con la aceleración del suelo.

P-02

**PLANO 02: UBICACIÓN DE LOS DAÑOS EN EL SISTEMA DE AGUA**

P-03

**PLANO 03: MAPA DE PELIGROS VS DAÑOS EN EL SISTEMA AGUA**

### 3.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS CAUSADOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE SANEAMIENTO.

El sistema de alcantarillado de Pisco es mixto, con áreas de drenaje por gravedad, y otras por bombeo. San Andrés trabaja enteramente por bombeo. Todas las aguas residuales de Pisco y San Andrés son tratadas en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Boca de Río. El sistema de Túpac Amaru y Casalla trabajan a gravedad, pero el de San Miguel trabaja por bombeo. Todos los efluentes de estas zonas se tratan en la PTAR de Villa Túpac Amaru. Se estima que cerca del 60% de las tuberías de alcantarillado habrían colapsado.

En el siguiente cuadro se indica el mantenimiento realizado en el año 2007 para rehabilitar el servicio de alcantarillado.

**Tabla 9: Mantenimiento en la redes de alcantarillado.**

Descripción	Unidad	Pisco
Limpieza de colectores con hidrojet	m	3199
Limpieza de colectores con máquina de balde	m	5000
Limpieza de colectores con varilla	unidad	83
Cambio de colector	tramos	2

Fuente: SEDAPAL

#### 3.1.2.1 Colectores

##### Zona de Túpac Amaru, Casalla y San Miguel

Las redes de colectores en esta zona tienen 16.9 km de longitud, la mayoría de concreto simple normalizado (CSN), con un diámetro de 200mm. Es un sistema relativamente reciente, que fue construido en 1995 - 96. Esta zona no sufrió daños significativos; sólo colapso en un tramo de 220m de longitud.

##### Zona de Pisco y San Andrés

En esta zona, las redes de colectores tienen una longitud total aproximada de 87.1 km con tuberías de PVC y CSN. Casi 53.3 km son de CSN, que por su material y antigüedad, colapsaron. Por ello, se ha planteado la rehabilitación y reemplazo de aproximadamente 22 km de tuberías de diámetros de 200, 250, 315, 355 y 450 mm, con tuberías de PVC

**Fotografía 36: Redes colectores colapsados.**

Fuente: SEDAPAL

**Fotografía 37: Limpieza con equipo hidrojet**

Fuente: SEDAPAL

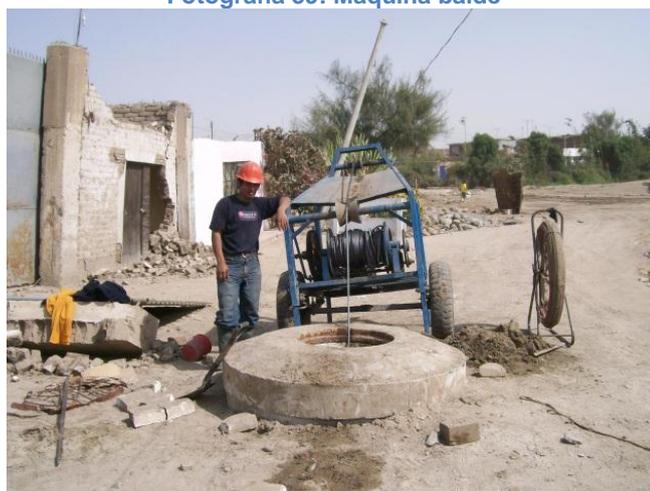
En la fotografía N° 36, se muestra un tramo del colector colapsado donde el agua residual aflora a la vía pública y causa olor desagradable, proliferación de vectores e incremento del riesgo de una epidemia pero en Pisco pudo controlarse. En la fotografía N° 37, se muestra la tubería con material de CSN. Esta tubería presenta el lomo totalmente desintegrado a consecuencia de la corrosión del concreto por los ácidos sulfúricos, producto de la descomposición de la materia orgánica. Este fenómeno ya había sucedido antes del sismo y cuando se produjo el movimiento del suelo, conformado por grava arcilla y limo, taponeó completamente la tubería provocando atoros e inundaciones.

Fotografía 38: Equipo de hidrojet



Fuente: SEDAPAL

Fotografía 39: Máquina balde



Fuente: EMAPISCO

En la fotografía N° 38, se muestra el equipo hidrojet que realiza la limpieza del colector succionando el agua estancado, e introduciendo agua a presión. Este tipo de trabajo es necesario para poder desaguar el agua residual estancado casi en toda la ciudad de Pisco. Se estima un total de 3199 metros de colectores limpiados con esta metodología. En la fotografía N° 39, se muestra el equipo máquina balde que consiste en hacer pasar por la tubería una cuchara jalado por un motor por medio de un cable acerado. Esto realiza la limpieza de sedientos depositados en la tubería

**Fotografía 40: Limpieza con varillas**

Fuente: Propio

En la fotografía N° 40, se muestra a las personas que están realizando la limpieza del colector por medio de las varillas acerados que en el extremo tiene una espiral que atrapa lo que está atorado en la tubería, pudiendo ser trapo, botellas, bolsas, etc. Nótese la precariedad del trabajo del personal de EMAPISCO. No tiene ningún tipo de EPP.

### 3.1.2.2 Interceptor e emisor.

El interceptor ha sufrido el colapso por causa del sismo. Estas tuberías de concreto simple normalizado(CSN) de diferentes diámetros con unión flexible, en la mayoría, tiene una antigüedad de más de 40 años de servicio.

Se produjo elevación de los buzones producto del movimiento sísmico. Los buzones sin tapa se llenó con escombros, producto de la demolición de las viviendas. El Colapso de la tubería ha generado represamiento de los desagües y desborde de los mismos por los buzones, generando malos olores, creando malestar en la población y riesgo potencial de epidemia y/o enfermedades infecciosas. El porcentaje de infiltración de aguas subterráneas es alto. La napa freática se encuentra en promedio a 2mts de profundidad con respecto al nivel natural del terreno. Los suelos son inestables.

P-04

**PLANO 04: UBICACIÓN DE LOS DAÑOS EN SISTEMA DE  
ALCANTARILLADO**

### 3.1.2.3 Estación de bombeo de agua residual.

Los daños en las cámaras de bombeo no fueron significativos. Solo ocurrió daños severo en la estación Leticia, ubicada en zona de peligro muy alto del mapa de peligro. En el cuadro siguiente, se muestra el resumen de los daños comparando sobre qué tipo de suelo se ubican.

Tabla 10: Estación de bombeo de Pisco

CB-D	Daños	Tipo de suelo
Las Casuarinas	Falla en subestación eléctrica con rotura del transformador	Arena limosa seco
San Marín	Sin daños	Arena seca
Leticia	Hundimiento de caisson. Daños en estructuras eléctricas. Rotura del válvula check, caída del cerco perimétrico.	Arena limosa con napa freática de 0 a 1mt.
Miguel Grau	Solo Inundación	Arena limosa con napa freática de 0 a 1mt.
San Andrés	Solo inundación	Gravo arenoso

Fuente: Propio

#### CB-D las Casuarinas.

No ha sufrido colapso mayor en su infraestructura, salvo la caída de la subestación eléctrica que dejó a la C.D sin energía eléctrica por varios días. En la parte estructural, solo presenta grietas superficial en los muros. No compromete la estructura de la cámara.

Fotografía 41: EB Las Casuarinas



Fuente: Propio

Fotografía 42: Tubería mal reparada.



Fuente: Propio

En la fotografía N° 41, se muestra la subestación eléctrica al costado de la CB que está rehabilitado. En la fotografía N° 42, se muestra la tubería de impulsión de 110mm PVC UF C-7.5 ISO 4422 que tiene una reparación provisional. Solo lo amarraron con jebe para solucionar la fuga.

#### **CB-D San Martín,**

Está ubicado al Oeste del pueblo joven San Miguel, consta de 02 cámaras, una seca con 02 bombas verticales de 10 hp, con capacidad de bombeo de 15 lts/seg, una cámara húmeda con capacidad de 43.98 m<sup>3</sup>. Fue construido en 1,995 en el 2007 no sufrió ningún daño.

Fotografía 43: EB San Martín



Fuente: Propio

**CB-D Leticia.**

Está ubicado al oeste del cercado de Pisco. Consta de una sola cámara, con capacidad de 97.26 m<sup>3</sup> HDT 19 mt, 03 electrobombas sumergibles de 30 hp, Q = 85 lts/seg y un grupo electrógeno de emergencia de 100 kw ,1300m línea de impulsión con tubería de PVC UF ISO 4422, diámetro de 350mm. Fue construido en 1981. Los daños fueron: hundimiento del caisson, caída del tablero electromecánico, caída del cerco perimétrico y rotura de la válvula check de hierro fundido.

**Fotografía 44: EB Leticia****Fuente: Propio****Fotografía 45: Válvula Check****Fuente: EMAPISCO****CB-D Miguel Grau**

En el 2007 la CB-D Miguel Grau sufrió la inundación, producto del maremoto pos sismo. Por la antigüedad y la falta de capacidad, se cambió por una nueva cámara de mayor capacidad.

---

Fotografía 46: EB Miguel Grau



Fuente: EMAPISCO

#### **CB-D San Andrés Sur.**

En el 2007 solo presentó inundación por el maretazo ocurrido después del sismo. En la zona de San Andrés después del sismo, construyeron otra cámara de bombeo San Andrés norte.

Fotografía 47: EB San Andrés



Fuente: Propio

P-05

**PLANO 05: MAPA DE PELIGROS VS DAÑOS EN LAS ESTACIONES  
BOMBEO**

---

### 3.1.2.4 Plantas de tratamiento de agua residual (PTAR)

#### PTAR-Túpac Amaru

Esta planta está destinada al tratamiento de los efluentes domésticos de los distritos de Túpac Amaru, Casalla y San Miguel, y consta de una batería de dos lagunas facultativas. Está ubicada en el sur de Túpac Amaru. La planta no sufrió daños como resultado del terremoto de 2007.

Fotografía 48: PTAR Túpac Amaru



Fuente: Propio

Fotografía 49: Cerco perimétrico de PTAR Túpac Amaru



Fuente: Propio

En la fotografía N° 48, se muestra la laguna de Túpac Amaru. En esta laguna no se evidencia ningún daño en la talud causado por el sismo. En la fotografía N° 49, se muestra el cerco perimétrico caído y sin malla, pero se estimó que fue ocasionado por otras causas, no por el sismo.

### **PTAR- Boca de Río**

En esta planta, se efectúa el tratamiento de los efluentes domésticos de los distritos de Pisco y San Andrés. Los daños producidos en ella fueron: fisura en el talud de la laguna facultativa; el cerco perimétrico colapsó en varios tramos; y cayó el cableado interno de energía eléctrica

**Fotografía 50: PTAR Boca de Río**



**Fuente: Propio**

**Fotografía 51: Grieta en la talud de la laguna Boca de Río**



**Fuente: EMAPISCO**

En la fotografía N° 50, se muestra que el cerco perimétrico de la planta Boca de Río ha colapsado producto del terremoto. En la fotografía N° 51, se muestra una grieta de 5 a 15 cm en una longitud, aproximada, de 245m, en un lado del extremo de la corona del dique de la laguna facultativa N° 1.

P-06

**PLANO 06: MAPA DE PELIGROS VS DAÑOS EN EL SISTEMA  
ALCANTARILLADO**

### 3.1.3 EFECTOS POST SISMO QUE AFECTÓ LA OPERACIÓN DEL SISTEMA.

#### 3.1.3.1 Problemas en la infraestructura causados por el factor social.

##### En estructuras de alcantarillado

- Incremento notable de los buzones sin tapa producto de la mala práctica de algunas personas. En este caso se vuelve en punto crítico ya que ingresa sólidos al sistema, además pueden caer personas y causar una tragedia.
- Relleno en los buzones con desmonte producto de la remoción de los escombros de las viviendas.
- Necesidad de realizar mantenimiento y limpieza de buzones y tubería con equipo hidroyet, máquina balde o varillas.

##### En estructuras de agua potable

- Robo de las tapas de las válvulas de control.
- Robo de los grifos contra incendio, específicamente, la parte de la cabeza.
- Deterioro de las cajas de las conexiones domiciliarias por rotura de la tapa y el marco producto de la eliminación del desmonte con maquinaria.

#### 3.1.3.2 Efectos en la salud de la población.

##### Incremento del índice de morbilidad.

En el cuadro siguiente se muestra los números de casos que fueron atendidos por enfermedades diarreicas agudas en el Hospital San Juan de Dios de Pisco, durante los años 2004, 2006, 2007, 2008. Cabe resaltar el número de casos mostrados son los casos atendidos en el mencionado hospital.

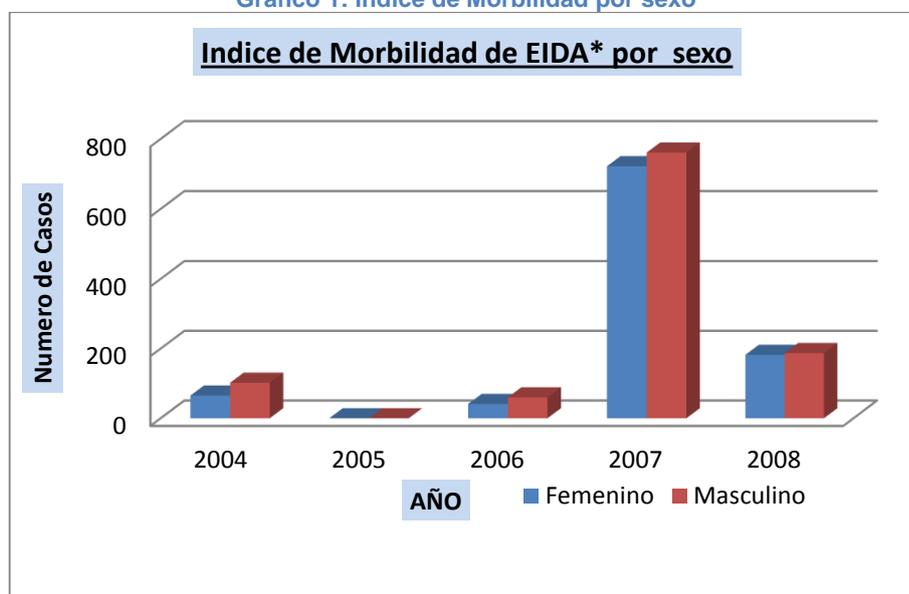
Tabla 11: Índice morbilidad en Pisco

Año	Masculino	Femenino	Total	Var. (%)
2004	102	65	167	125%
2006	60	41	101	75%
2007	761	722	1483	1107%
2008	187	182	369	275%

Fuente: Propio

Promedio de los años 2004 y 2006 es 134. Se toma como referencia para calcular la variación durante los años de emergencia (2007)

Grafico 1: Índice de Morbilidad por sexo

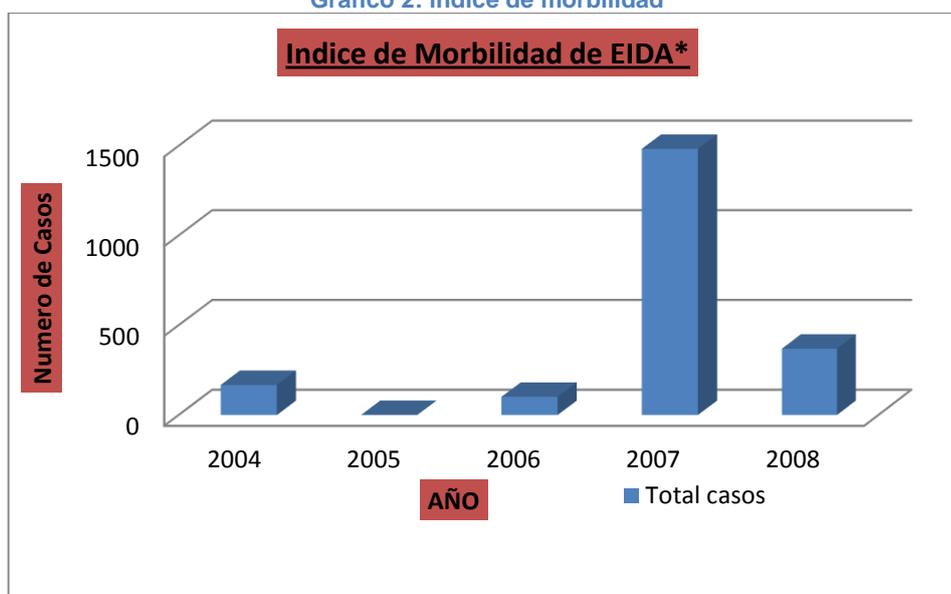


Fuente: Propia

\*EIDA: Enfermedades Infecciosas Diarreicas Agudas.

En gráfico anterior se muestra el número de casos por sexo que fueron atendidos en el Hospital de Pisco durante los años 2004 al 2008. Se puede notar que en el género masculino se presentó mayor número.

Grafico 2: Índice de morbilidad



Fuente: Propia

\*EIDA: Enfermedades Infecciosas Diarreicas Agudas.

En el gráfico anterior puede notarse el número de casos por enfermedades diarreica aguadas se **incrementó en un 1107%**, durante la emergencia por el

terremoto del 2007, donde colapso gran porcentaje del sistema de agua y saneamiento y disminuyo a un 275% durante el 2008.

### 3.1.3.3 Efectos en la economía de la EPS.

#### Incremento del índice de morosidad.

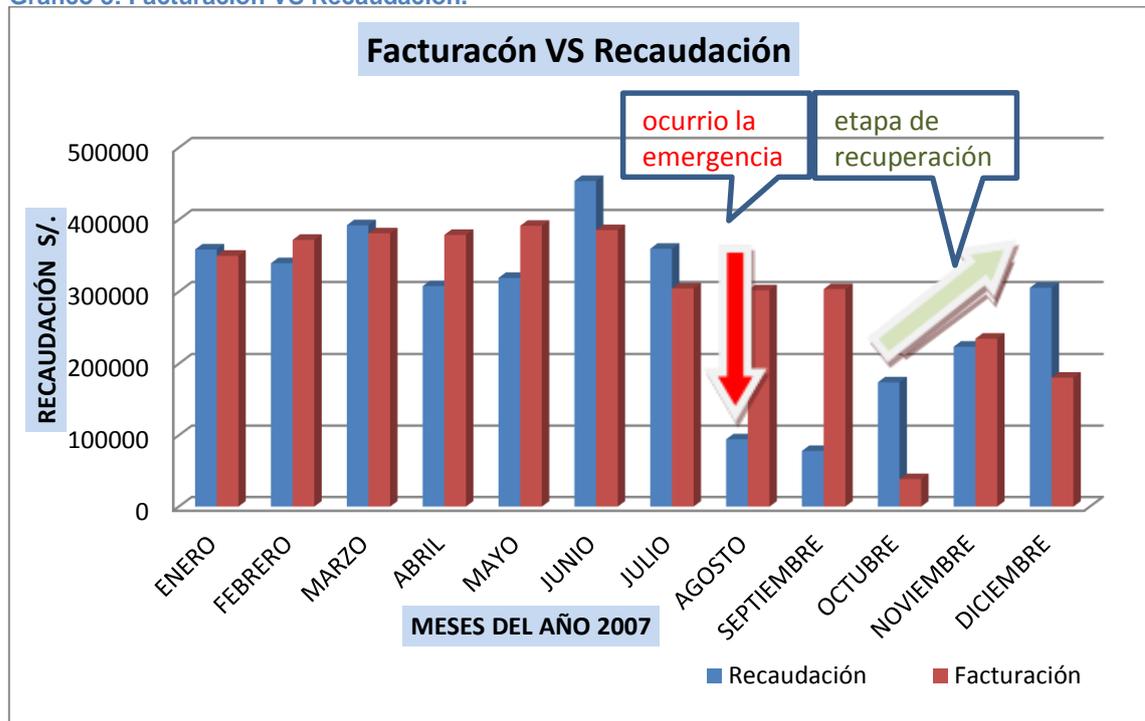
En el cuadro siguiente se compara entre la facturación y la recaudación de la empresa municipal de agua potable de Pisco, en el año 2007 fecha del terremoto.

**Tabla 12: Montos de facturación y recaudación.**

Meses 2007	Facturación S/.	Recaudación S/.
ENERO	349949,34	358671,66
FEBRERO	371975,17	339578,54
MARZO	381101,81	392349,68
ABRIL	378855,36	307768,50
MAYO	391494,81	319180,40
JUNIO	385510,28	453606,74
JULIO	304465,01	359634,42
AGOSTO	301988,80	94371,92
SEPTIEMBRE	303614,21	78081,51
OCTUBRE	38658,08	174162,67
NOVIEMBRE	234785,83	223615,52
DICIEMBRE	180615,88	305506,20
<b>TOTAL (S/.)</b>	<b>3623014,58</b>	<b>3406527,76</b>

Fuente: EMAPISCO

Grafico 3: Facturación VS Recaudación.



Fuente: Propio

En el grafico 3, se puede notar que ocurrido el desastre, la población no pudo pagar, **disminuyendo la recaudación en 73.90%** en el mes de agosto y 78.40% en setiembre. Después de este mes mediante campañas y buena gestión, se recuperó la recaudación.

### 3.2 EVALUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE CAÑETE

Los daños en las estructuras del sistema de agua y saneamiento causados por el terremoto del 2007 en San Luis y San Vicente de Cañete, que a continuación se describe, fue elaborado con la información presentada en una reunión de trabajo, con el equipo técnico de de la EPS EMAPA CAÑETE, información proporcionada por SEDAPAL y los datos obtenidos en la segunda visita técnica.

#### **Características de la Localidad**

El distrito de San Vicente se ubicado a la altura del Km 143 de la Carretera Panamericana Sur, entre las coordenadas geográficas 13°22'48" de Latitud Sur y 76° 10'57" de Latitud Oeste. El distrito de San Vicente limita con los siguientes distritos:

Por el Norte	:	Con Imperial, Nuevo Imperial
Por el Sur	:	Con Grocio Prado
Por el Este	:	Con Lunahuana
Por el Oeste	:	Con Océano Pacifico

#### **Vías de Acceso:**

La vía de acceso principal al distrito de San Vicente es a través de la Panamerica Sur Km. 143. El 100% de las viviendas se encuentran localizados en zonas accesibles mediante vehículos particulares o moto taxis.

#### **Clima:**

Presenta clima cálido en los meses de verano, con una temperatura promedio de 23° C y templado durante el resto del año, llegando hasta 15,4° C en el mes de agosto. La precipitación máxima en 24 horas varía entre 0,0 y 1,5 mm. La dirección predominante de los vientos es de Sur - Oeste, con una velocidad máxima de 5 m/s.

### **LOCALIDAD DE SAN VICENTE**

Fuente de abastecimiento, la población de San Vicente se abastece de la galería Santa Adela, zona de captación. No sufrió daños en su estructura.

Línea de conducción, no hubo problema o daños causado por el terremoto del 2007. Se cortó el servicio por prevención. Una vez revisado las redes de distribución se restableció el servicio a las 11:00 a.m. del día siguiente.

Reservorio de almacenamiento, En el reservorio de San Vicente, la caseta de válvulas sufrió grietas y fracturas por lo que tuvo que ser demolido y reconstruido un área aproximado de 3x4m. Se observó una inclinación del tanque elevado del pozo 1.

Estación de bombeo, El equipo de bombeo del pozo 3, motor diesel (60lps 100HP), quedó dañado después del sismo.

Redes de distribución, El número de roturas en las redes de distribución fueron 6 en tubería de material de asbesto cemento. En estos puntos la tubería presentó fugas o daños eminentes. El daño fue en: 2000 ml de tubería de 4" de material de AC y FF, 500ml de tubería de 6" de material de AC y FF, 200ml de tuberías de 8" material de AC y FF.

Conexiones domiciliarias, 350 conexiones sufrieron daños.

Redes colectores, 500 ml de tubería de 8" material CSN colapsados.

### **LOCALIDAD DE SAN LUIS**

Fuente de abastecimiento, El servicio de agua se restringió porque en la fuente (compradores) hubo infiltración de agua de regadío que produjo alta turbiedad y contaminación. Esto debido a que la tubería, en uno 500ml de material de CSN de diámetro de 4", ha colapsado.

Línea de conducción, Donde sí ocurrieron daños fue en San Luis, ya que colapsó la línea de conducción de 10" de diámetro, de material de asbesto cemento, una longitud de 2500m que viene a un metro del canal de riego, desde la galería compradores hasta Túpac Amaru. Este tramo fue reemplazado por tubería de

---

10" de diámetro de material de PVC. También se afectaron 02 cámaras rompe presión. Estos presentaron fisuras en la estructuras.

**Fotografía 52: Punto donde se rompió la tubería**



Fuente: EMAPA CAÑETE

**Fotografía 53: Falla producto del Sismo**



Fuente: EMAPA CAÑETE

La fotografía N° 52, muestra la fractura de la línea de conducción, a 50 metros de la captación compradores. La fotografía N° 53, muestra la falla, paralela a la línea de conducción a 1200m de la captación.

El reservorio apoyado de San Luis no sufrió daño.

Línea de aducción, de 6 pulgadas de diámetro de material de asbesto cemento también sufrió colapso en un tramo de 1500m. Se reemplazó por material PVC. La tubería de rebose de 8" de material de AC colapsó un tramo de 300ml.

Redes de distribución, el número de roturas en las redes fueron aproximadamente 4. Las tuberías que sufrieron daños fueron de asbesto cemento. Colapsó 500ml de tubería de AC de diámetro de 4”.

La población de San Luis se abasteció de agua tratada por una planta de tratamiento portátil donado por el gobierno de Uruguay. La línea de conducción que viene de la galería compradores colapso.

### **LOCALIDAD DE CERRO AZUL**

Línea de conducción, 700ml de tubería de AC de diámetro de 6” quedó dañado por el terremoto. Se detectó fugas en una longitud de 400m en la tubería de 6” del sector de Casablanca que abastece a los anexos de Cerro Azul.

Redes de distribución, En Cerro Azul hubo 6 roturas en las redes de distribución. Las tuberías fueron de 4” de diámetro de material asbesto cemento.

Conexiones domiciliarias, sufrieron daños en 40 conexiones domiciliarias, principalmente por el desprendimiento de la tubería antes de la caja de control.

Las redes colectores, presentó hundimiento en un tramo de 4m en la tubería de desagüe de 8” de diámetro.

Estación de bombeo, la estructura de la cámara de bombeo presentó fisuras. 06 electrobombas de desagüe colapsado, 01 tablero de arranque colapsado.

En la laguna de oxidación, se produjo fallas en el contorno de la laguna, a la altura del espejo de agua y en el talud

Fotografía 54: Grieta en el talud de la laguna



Fuente: EMAPA CAÑETE

Fotografía 55: Cámara de bombeo de desagüe



Fuente: EMAPA CAÑETE

La fotografía N° 54, muestra la falla en la talud de laguna de oxidación de Cerro Azul y la fotografía N° 55, muestra la cámara de bombeo de desagües N°1 de las Salinas afectado por el sismo del 2007. En ella se puede apreciar el hundimiento de la cámara.

Tabla 13: Resumen de daños en otros distritos de Cañete.

DISTRITO	COMPONENTE	DAÑO
CHILCA	Estación de bombeo	Grietas en los muros, inclinación, grupo electrógeno colapsado
IMPERIAL	Captación	Obstrucción de 15 km de canal
	PTAP	Floculadores colapsado, motor diesel dañado
	Redes y conexiones	3 puntos de fuga visible, 3.5km de tubería de AC colapsado, 500 conexiones afectadas
	Colectores	6 tramos de 300m con asentamiento y levantamiento de tapa de buzón.
MALA	Captación	Pozo con arenamiento aumentó de la turbiedad de 0.8 a 3.36 NTU
	Reservorio	Presentó fisuras, daños en la caseta de válvulas
	Estación de bombeo	Corte de energía
QUILMANA	Redes y conexiones	Fugas visibles en 7 puntos, rotura de tubería de PVC
	Colectores	500m de tubería colapsado, caída del techo del buzón
SAN ANTONIO	Línea de impulsión	2 puntos de fugas visibles
	Reservorio	Falla en la caseta de válvulas, techo de cisterna con fisuras, cerco perimétrico con fisuras
LUNAHUANA	Redes de distribución	Tres puntos con fugas visibles, 500m de tubería de AC y F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
ASIA	Captación	Arenamiento del pozo
	Reservorio	Reservorio con daños estructurales.

Fuente: Propio

### 3.3 EVALUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE CHINCHA

Los daños en las estructuras del sistema de agua y saneamiento causados por el terremoto del 2007 en Chincha, que a continuación se describe, fue elaborado con la información presentada en una reunión de trabajo con el equipo técnico de de la EPS SEMAPACH, información proporcionada por SEDAPAL y los datos obtenidos en la segunda visita técnica.

En el cuadro siguiente, se muestra un resumen de las reparaciones ejecutadas por SEDAPAL durante la emergencia del 2007 en el sur. En ella se muestra puede notar que en Chincha se atendieron en 38 puntos donde el agua presentó fugas eminentes a consecuencia del sismo. Las estructuras quedaron colapsados, sobre todo, en tuberías de material de asbesto cemento y concreto reforzado para agua, para desagüe en tuberías con material de concreto simple normalizado.

**Tabla 14: Resumen de reparaciones de fugas visibles**

Descripción	Unidad	Chincha
Reparación de tubería de 18"	unidad	9
Reparación de tubería de 16"	unidad	21
Reparación de tubería de 14"	unidad	2
Reparación de tubería de 8 a 12"	unidad	3
Reparación de tubería hasta 6"	unidad	3

Fuente: SEDAPAL

#### **Fuente de abastecimiento: pozos y galerías**

En Chincha, antes del sismo, su fuente de abastecimiento de agua era 50% a través de pozos y 40% a través de la galería filtrante. Contaban con un proyecto para realizar otra fuente de galería filtrante de 500lps de capacidad. Cuando ocurrió el desastre, todo los pozos se paralizaron debido al corte de energía

eléctrica Además algunos pozos quedaron averiados porque el eje de las bombas perdieron su verticalidad y además las estructuras de concreto sufrieron daños. Estos pozos se empezaron a restablecer con el apoyo de SEDAPAL y otras entidades. Mientras tanto la población fue abastecida de agua a través de cerca de 20 camiones cisternas. Se construyó la obra de la galería filtrante de 500lps en 8 meses. Desde entonces, Chincha cuenta con el servicio de agua en toda el área de competencia de SEMAPACH.

#### **Planta de tratamiento de agua.**

Chincha cuenta con una PTAP de 220lps que trata el agua captada del río chico. Esta planta no sufrió ningún daño por efecto del sismo.

#### **Líneas de conducción**

La línea de conducción que sale de la PTAP son dos tuberías en paralelo, uno de asbesto cemento de 20 pulgadas de diámetro y otro de concreto reforzado de 18 pulgadas de diámetro. La tubería de asbesto cemento ha sufrido daños menores de rotura en algunos puntos, a diferencia del concreto reforzado que registra unos 50 puntos de rotura. Se ha rehabilitado cerca del 70% con material de PVC.

#### **Reservorio**

Son tres reservorios de 4500, 1500, 1600 metros cúbicos que almacenan las aguas captadas de la galería filtrante de vaso ninaquero y la PTAP. Los reservorios no sufrieron ningún daño, con excepción del reservorio de 1600m<sup>3</sup> que colapsó el techo.

#### **Línea de aducción**

La línea de aducción que sale del reservorio de 4500m<sup>3</sup> son de 18 y 20 pulgadas de concreto reforzado y asbesto cemento, respectivamente. En esta línea se reportaron de 20 a 25 puntos de rotura, aproximadamente; registrándose mayores roturas en la tubería de concreto reforzado.

**Redes de distribución.**

Las redes de agua son de diámetro variable. Este componente ha sufrido daño. Asimismo fueron rehabilitados con la realización de los proyectos indicados en la tabla 15.

**Sistema de alcantarillado.**

Casi todas las redes de alcantarillado colapsaron. Estas tuberías eran de material de concreto simple normalizado con una antigüedad aproximado de 45 años.

La planta de tratamiento de aguas residuales con que cuenta Chíncha es de tipo de lagunas facultativas. Estas plantas no han sufrido ningún daño.

**Medidas adoptadas para la recuperación.**

Dentro de las medidas adoptadas se tienen 51 proyectos para rehabilitar redes de alcantarillado. Ya está aprobado 29 millones para su financiamiento de cuatro fuentes, entre ellos GTZ, KFW y DNS. Además en este proyecto se contempla la instalación de 14000 medidores y la sectorización de las redes de distribución.

En los cuadros siguientes se muestra la relación de los proyectos ejecutados a consecuencia del sismo del 2007 con financiamiento del FORSUR y otras fuentes.

Tabla 15: Relación de proyectos ejecutados en el sistema de agua dañados por el sismo del 2007

COMP	PROYECTO	DISTRITO	INVERSIÓN TOTAL
PTAP	Rehabilitación de la red de limpieza de la Planta de tratamiento Portachuelo	Alto Larán	136030.37
L.CONDUCCIÓN	Rehabilitación de la Línea de Conducción de Alto Larán	Alto Larán	2509089.76
L. ADUCCIÓN	Rehabilitación de la línea de aducción	Alto Larán	2553590.90
EB	Rehabilitación de los cercos perimétricos y otros ambientes en las plantas de rebombeo ubicados Chincha Baja	Chincha Baja	19000.00
REDES DE DISTRI. Y CONEXIONES DOMI.	Rehabilitación de Redes de Agua Potable	Chincha Alta	92323.98
	Rehabilitación de Redes de Agua Potable del Centro del Cercado de Tambo de Mora	Tambo de Mora	390016.49
	Rehabilitación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable	El Carmen	21596.00
	Rehabilitación de Redes de Agua Potable Distrito de Grocio Prado	Grocio Prado	53369.39
	Rehabilitación de las redes de agua potable del distrito de Chincha Baja afectada por el sismo del 15-08-2007	Chincha Baja	281244.27
TOTAL S/.			6056261.16

Fuente: FORSUR

Tabla 16: Relación de proyectos ejecutados en el sistema de alcantarillado.

COMP	PROYECTO	DISTRITO	INVERSIÓN TOTAL
COLECTOR	Rehabilitación del sistema de alcantarillado afectado por el sismo del 15 de Agosto del 2007	Chincha Alta	3864812.85
	Rehabilitación de la Red de Desagüe del distrito de Grocio Prado afectada por el sismo del 15-08-2007	Grocio Prado	2958373.49
	Rehabilitación de la Red de Desagüe afectada por el sismo del 15/08/2007	Pueblo Nuevo	7398652.36
	Rehabilitación redes de las redes de desagüe de la Av Emancipación	Sunampe	392003.03
TOTAL S/.			14613841.7

Fuente: FORSUR

Tabla 17: Relación de proyectos financiados para atender la emergencia.

PROYECTO	DISTRITO	INVERSIÓN TOTAL
Provisión de módulos sanitarios temporales para la nueva habilitación urbana a constituirse en el Alto Laran donde serán reubicados los Damnificados	Alto Larán	221030
Provisión de módulos sanitarios temporales para la nueva habilitación urbana Fundo Huanqui Lechuza donde serán reubicados los damnificados de Tambo de Mora	Tambo de Mora	372255
<b>TOTAL S/.</b>		<b>593285</b>

Fuente: FORSUR - CHINCHA

### 3.4 EVALUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE ICA

#### Captación – Pozos de agua potable.

Los daños causados por el sismo del 2007 en la captación son los siguientes:

Colapso del pozo José de la Torre Ugarte N° 02

Arenamiento de los pozos: José de la Torre N° 01, La Angostura Limón, Pozo Arenales. ADICSA, Huacachina, San Joaquín.

Pérdida de verticalidad de los pozos; Santa María, San Isidro, Divino Maestro.

Se generó la baja de producción de los pozos. Se tuvo que regular las bombas para evitar el arenamiento y controlar los niveles dinámicos.

Fotografía 56: Reparación de un pozo de agua



Fuente: EMAPICA

En el cuadro siguiente se indica el pozo y su estado actual y la dificultad que presenta por causa del terremoto del 2007 en el arenamiento y la pérdida de verticalidad.

**Tabla 18: Relación de pozos de agua en Ica**

Item	Pozo	Perforación	Caudal	Tiempo de bombeo	Estado situacional
1	ADICSA	1987	15	24	Arena rotura de filtros
2	Angostura Limón	2004	20	24	Arena
3	Arenales	1994	15	24	Falta recuperación
4	Cachiche	1965	16	7.5	Arena
5	Huacachina	1979	7	21	Arena y pérdida de verticalidad
6	Divino Maestro	1942	38	24	Arena y pérdida de verticalidad
7	José de la torre 1	1963	50	24	Arena y perforación de filtros
9	Margen Izquierda	1996	42	15	Estado regular
10	Parque Industrial	1978	33	24	Estado regular
11	Picasso Peratta	199	65	24	Estado regular
12	Pozo 2-B RC	2004	42	24	Estado regular
13	Pozo 3-A RC	1978	62	24	Arena
14	San Isidro	1963	33	22	Arena y pérdida de verticalidad
15	San Joaquín No1	1966	21	17.5	Arena y pérdida de verticalidad
16	José María E.	1997	33	18	Arena
17	Santa María	1980	21	17.5	Arena y pérdida de verticalidad

Fuente: EMAPICA

El 35 % de los pozos tienen una antigüedad mayor a 30 años. Estos cumplieron su ciclo de Vida.

El 40 % de los pozos fueron dañados por el sismo del 15 de agosto del 2,007

#### **Reservorio de almacenamiento.**

Los daños que causó el sismo del 2007 en los reservorios fueron los siguientes:

Colapso del reservorio de la zonal Los Aquijes.

Inoperatividad del reservorio sector Manzanilla, San Joaquín, Cachiche, Sede Central. San Isidro, Huacachina.

El problema generado por daños de los reservorios fue la baja de la presión en los sectores que estos abastecían.

Tabla 19: Cuadro de las características físicas de los reservorios y su estado.

Item	Reservorios	Capacidad m <sup>3</sup>	Año	Estado Actual	Tipo
1	Angostura Limón	350	1,989	Regular	Elevado con fuste
2	Angostura Limón	400	2,005	Regular	Apoyado
3	Urb. San Joaquín	1,000	1,966	Regular	Elevado con fuste
4	Balneario de Huacachina	375	1,966	En mal estado	Apoyado
5	Urb. San Isidro	350	1,966	Requiere rehabilitación	Elevado con vigas y columnas
6	Urb. José de la Torre Ugarte	1,500	1,971	Requiere rehabilitación	Elevado con fuste
7	Estadio José Picasso Peratta	1,500	1,971	Bueno	Elevado con fuste
8	A.H. ADICSA	1,000	1,989	Requiere reforzamiento en su base	Apoyado
9	Urb. Angostura Alta	600	1,982	Bueno	Elevado con fuste
10	Caserío de Cachiche	20	1,982	En mal estado	Elevado con vigas y columnas
11	P.J. Sta. Rosa de Lima	500	1,991	Regular	Apoyado
12	Reservorio Central	1,200	1,994	En mal estado	Elevado con vigas y columnas
13	P.J. Señor de Luren	160	1,991	Regular	Apoyado
Total en m3		10,955m <sup>3</sup>			

Fuente: EMAPICA

Fotografía 57: Reservorio elevado de Ica



Fuente: Propio

Fotografía 58: Reservorio elevado de Ica.



Fuente: propio

En la fotografía N° 57 y 58, se muestra el reservorio elevado sobre vigas y columna, ubicada en la sede central. Sufrió daños severos en su estructura.

Fotografía 59: Reservoirio de Aquijes



Fuente: EMAPICA

Fotografía 60: Reservoirio del Centro Poblado Cachiche



Fuente: 1

La fotografía N° 59, se muestra el reservoirio elevado del distrito de Los Aquijes. Se nota las grietas en el concreto. La fotografía N° 60, muestra un reservoirio elevado del Centro Poblado Cachiche.

### Laboratorio de Micro medición

Las estructuras de concreto del laboratorio de micro medición presenta grietas en las paredes, vigas y columnas.

Fotografía 61: Laboratorio de micro medición de EMAPICA



Fuente: Propio

En la fotografía N° 61, se muestra que el edificio, donde estaba instalado el laboratorio de micro medición, ha colapsado producto del sismo. Se nota falla típica de grietas en la diagonal de los muros de albañilería.

### Redes de agua potable.

Los daños causados por el sismo del 2007 en las redes de agua fueron los siguientes:

En las redes de agua potable se produjo, en algunos sectores, la rotura de las tuberías, de A/C (asbesto/cemento). Esto ocasionó fugas al restituirse el servicio.

Deterioro en las llaves corporación principalmente, en las tuberías más antiguas de F° F° (fierro Fundido).

Fugas y pérdidas de agua en las conexiones domiciliarias en las viviendas caídas.

Fotografía 62: Tubería de AC en Ica



Fuente: EMAPICA

Fotografía N° 62, muestra la reparación de un tramo de tubería de agua material de asbesto cemento que colapsó.

#### **Redes de alcantarillado.**

Los daños causados por el sismo del 2007 en las redes de alcantarillado fueron los siguientes:

Se presentó el colapso y hundimiento de colectores primarios y secundarios, en especial los de mayor antigüedad cuyo material es de material CSN Y CR ocasionando atoros en las redes.

Hubo retención y atoro de desagüe en cajas domiciliarias producto del hundimiento de las redes auxiliares

Fotografía 64: Bombeo directo a buzón de colector colapsado



Fuente: EMAPICA

Fotografía 63: Colector principal Av. Siete Villa Valverde



---

**Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTAR.)**

En la planta de tratamiento de agua residual no se presentó daños mayores. En la laguna de Cachiche, se presentó grietas en la canaleta de salida, también, se cayó el cerco perimétrico que consistía en malla tipo olímpico con soporte de concreto.

**Fotografía 65: Laguna de oxidación de EMAPICA.**



**Fuente: EMAPICA**

En la fotografía N° 65, se muestra la vista del sistema de tratamiento de desagües en la ciudad de ICA. No sufrió ningún daño durante el sismo del 2007.

### 3.5 DAÑOS MÁS COMUNES OCASIONADOS POR SISMO EN LOS SISTEMAS DE AGUA Y SANEAMIENTO

En el cuadro N° 20, se saca un resumen de los daños observados. Además se realiza un análisis para identificar cuál sería la causa del problema.

**Tabla 20: Daños VS causa del problema.**

Componente	Daños más comunes	Causa del problema
Bocatoma		
Galerías filtrantes	Grietas en las paredes de la cámara de inspección.	Deformación permanente del suelo, fuerzas horizontales que causan flexo compresión a la cámara.
Pozos	Pérdida de verticalidad Arenamiento.	Suelos arenosos y saturados. Ingreso de arena producto de la vibración del suelo y desestabilización del filtro.
Tuberías	Rotura. Desprendimiento unión espiga campana. Desprendimiento de unión soldado con pegamento. Deformación de la forma. Pérdida de alineamiento horizontal y vertical	Altas aceleraciones sísmicas. Deformación permanente de suelo. Asentamiento diferencial del suelo. Por licuación y desplazamiento del suelo. Baja ductilidad del material de la tubería (CSN, AC, PVC). Tipo de unión no adecuado para el tipo de suelo.
Reservorios	Rotura o deformación de las tuberías de entrada y salida del reservorio. Colapso y deterioro de reservorios elevados con soporte de vigas y columnas. Si sufren fisuras el ambiente húmedo corroe las varillas de acero y en poco tiempo quedan fuera de servicio.	Esfuerzos de corte por asentamientos diferenciales entre el suelo y el reservorio. Baja rigidez del sistema aporticado (vigas y columnas), concentración de momentos elevados en los nudos. Hacen fallar la estructura.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21: Daños VS causa del problema.

Componente	Daños más comunes	Causa del problema
Sistemas de bombeo	<p>Dstrucción del tablero de control</p> <p>Subestaciones eléctricas destruida</p> <p>Equipos electromecánicos dañados.</p> <p>Rotura de accesorios.</p>	<p>No colocaron los pernos de anclaje para empotrarlo a la pared.</p> <p>Las subestaciones colocadas sobre postes se comportan como péndulo invertido, lo cual provoca la caída por la fuerza horizontal.</p> <p>En la instalación de los equipos, no se consideró aisladores sísmicos para protegerlos.</p> <p>Los accesorios de hierro fundido fallaron debido a su baja ductilidad.</p>
Buzones	<p>Inclinación</p> <p>Flotación</p>	<p>Deformación permanente de suelo.</p> <p>Asentamiento diferencial del suelo.</p> <p>Por licuación del suelo</p>
Conexiones domiciliarias	<p>Rotura de tuberías</p> <p>Desempalme de las tuberías y accesorios.</p>	<p>Tuberías antiguas corroídas.</p> <p>Tuberías y accesorios pegados.</p>
PTAR	<p>Caída de cercos perimétricos</p> <p>Grieta en la talud de las lagunas</p>	<p>Baja rigidez de los postes del cerco.</p> <p>Mala compactación del suelo.</p> <p>No realizó el comportamiento geotécnico del talud a las aceleraciones sísmicas.</p>

Fuente: Propio

### 3.6 IMPACTO ECONÓMICO QUE CAUSÓ EL SISMO EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO.

En esta sección se presenta los resultados obtenidos por el WSP del programa de agua y saneamiento del banco mundial. Los resultados del cuadro siguiente representan la estimación de los daños de los efectos directos e indirectos generados por el terremoto en las zonas afectadas correspondientes a las EPS: EMAPA CAÑETE, SEMAPACH, EMAPISCO y EMAPICA.

Los daños directos fueron los más considerables, pues ascendieron a S/. 77 millones (92% del total de daños). Estos efectos se dividen, además, en daños en el sistema de agua potable y en daños en el sistema de saneamiento. Al primer caso corresponde el 39%; en cambio, los daños al sistema de saneamiento representan el 61% del total. Por otro lado, los daños indirectos ascendieron a S/. 7 millones (8% del total de daños).

#### ESTIMACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO DEL TERREMOTO, POR PROVINCIA (MILLONES DE SOLES)

Tabla 22: Impacto económico por causa del sismo en millones

	Chincha	Pisco	Ica	Cañete	Total Efectos	
Efectos directos	18	36	18	5	77	92%
Sistemas de agua potable	5	12	11	2	30	39%
Sistema de saneamiento	13	24	8	2	47	61%
Efectos indirectos	2	1	2	1	7	8%
Positivos <sup>1</sup>	2	1	3	2	8	
Negativos <sup>2</sup>	0	0	-1	0	-1	
Total efectos por provincia	20	37	20	6	84	
	23%	45%	25%	7%		

Fuente: Programa de agua y saneamiento documento técnico 63267

1. Incremento en la utilidad operativa de las EPS. Por ejemplo, incremento en rentas por mejor gestión de cobranza.

2. Disminución de la utilidad operativa. Elaboración: APOYO Consultoría

Al analizar el total de efectos por provincia, puede notarse que Pisco fue la zona más afectada; pues concentró el 45% del total de daños. Fue seguida por Ica (25%), por Chincha (23%) y luego por Cañete (7%).

En suma, el desastre habría generado un total de daños en los sistemas de agua potable y saneamiento por S/. 84 millones. Este monto pudo destinarse a la instalación de más de 8.183 conexiones de agua potable y 7.925 de desagüe, en beneficio de 160.888 habitantes.

### 3.7 EVALUACIÓN DEL RIESGO PARA ESTIMAR LA VULNERABILIDAD DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO DE PISCO.

El uso de la metodología de evaluación de riesgos para evaluar la vulnerabilidad de los suministros de agua potable permite a los proveedores de agua determinar qué combinaciones de amenazas y consecuencias produce el mayor impacto en el suministro de agua. Una vez identificado, el mayor riesgo, el propietario de suministro de agua puede evaluar factores de disuasión que pueden ser añadidos al sistema para reducir el riesgo donde proporcionará el mayor impacto. Al abordar el riesgo relativo más alto, en primer lugar, el sistema debe lograr el máximo beneficio de los recursos invertidos.

En la tabla 23, se muestra la probabilidad de la ocurrencia de una amenaza con su respectivo factor para la valorar el riesgo.

**Tabla 23: Probabilidad de ocurrencia (P)**

AMENAZA	FACTOR
Existe amenaza - pero no probable	1
Existe amenaza - probable, pero objetivo no identificado	3
Existe amenaza - probable y objetivo identificado	5

Fuente: Kansas Department Of Health And Environment

En la tabla 24, se muestra la gravedad de las consecuencias y los daños a los componentes del sistema agua que podría causar una amenaza.

**Tabla 24: La gravedad de las consecuencias para el agua potable (C).**

CONSECUENCIA	FACTOR
Suministro normal de agua potable	1
Suministro adecuado de agua segura	2
Suministro inadecuado de agua potable - partes del sistema sin agua	3
No hay suministro de agua potable	4
No hay agua disponible - sistema cerrado	5

Fuente: Kansas Department Of Health And Environment

En la tabla 25, se valora las medidas de disuasión que se realizan en los componentes físicos del sistema de agua o saneamiento.

**Tabla 25: Eficacia de disuasión (E).**

EFICACIA DE LAS MEDIDAS QUE IMPIDAN	FACTOR
Disuasión altamente efectivos	1
Disuasivos moderadamente eficaz	3
Disuasivos ineficaces	5

Fuente: Kansas Department Of Health And Environment

En la tabla 26, se muestra la gravedad de las consecuencias que causaría la amenaza al sistema de saneamiento.

**Tabla 26: La gravedad de las consecuencias para el alcantarillado (c).**

CONSECUENCIA	FACTOR
Servicio normal de evacuación de aguas residuales	1
Servicio adecuado de evacuación de aguas residuales	2
Servicio inadecuado de evacuación de aguas residuales	3
No hay servicio de evacuación de aguas residuales	4
No hay servicio de evacuación de aguas residuales - peligro de causar epidemias	5

Fuente: Propia

En la tabla 27, se muestra los resultados de la determinación del riesgo para los componentes del sistema de agua. En ella solo se consideran las amenazas probables que pudieran ocurrir en Pisco

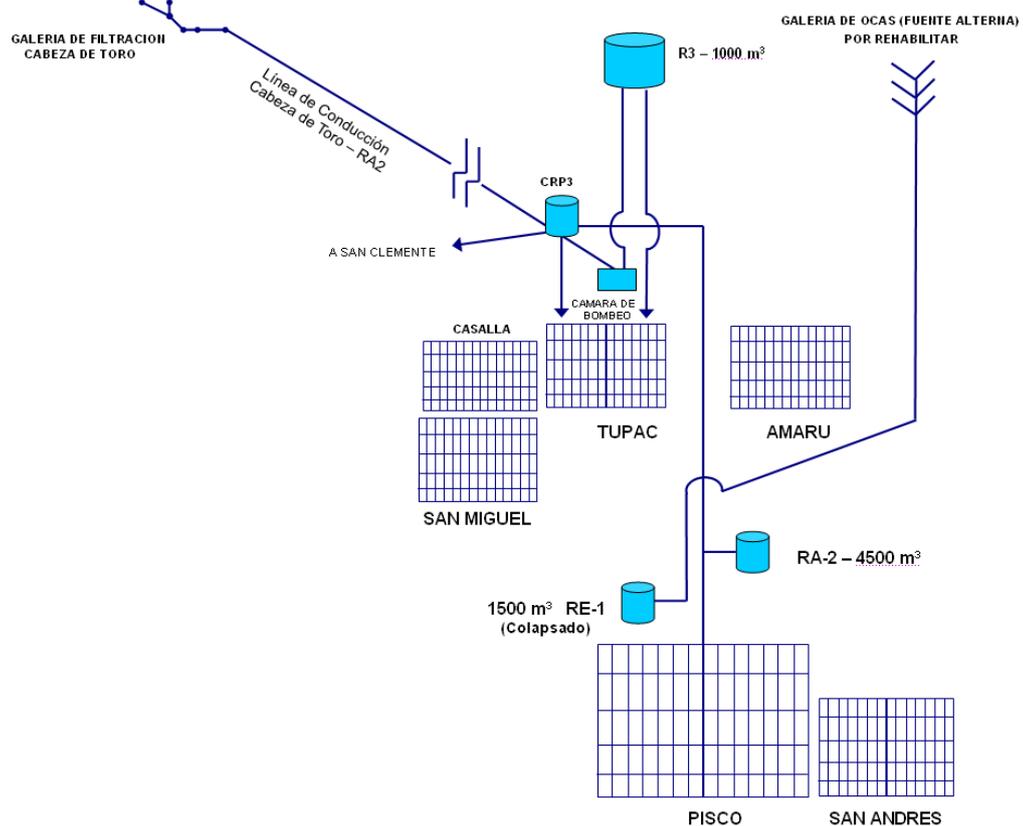
**Tabla 27: Evaluación del riesgo para el sistema de agua – sin medidas preventivas.**

COMPONENTE	Nombre de la amenaza	Probabilidad de la ocurrencia (P)	La gravedad de las consecuencias (C)	Eficacia de disuasión (E)	Riesgo relativo (R=PxCxE)	Rango de Riesgo
Galería filtrante CABEZA DE TORO	Pérdida de energía	1	1	3	3	4
	Vandalismo	3	3	3	27	2
	Inundaciones	5	1	3	15	3
	Terremoto	5	3	3	45	1
Línea de conducción AC-4.5KM Ø24"	Pérdida de energía	1	1	3	3	4
	Vandalismo	1	2	3	6	3
	Inundaciones	3	4	3	36	2
	Terremoto	5	4	5	100	1
Estación de bombeo	Pérdida de energía	5	4	3	60	2
	Vandalismo	3	3	3	27	3
	Inundaciones	3	3	3	27	3
	Terremoto	5	4	5	100	1
Reservorio RE-1	Pérdida de energía	1	3	3	9	3
	Vandalismo	3	3	3	27	2
	Inundaciones	1	3	3	9	3
	Terremoto	5	4	3	60	1
Redes de distribución PISCO CERACDO	Pérdida de energía	3	2	3	18	3
	Vandalismo	1	1	5	5	4
	Inundaciones	3	4	5	60	2
	Terremoto	5	5	3	75	1

Fuente: Propia

Los resultados de la tabla 27 muestran que el sistema de Pisco, tal como estuvo antes del sismo, evidencia que el riesgo alto en el sismo (terremoto). Para evitar, ello se debió realizar las medidas de prevención e impedir los daños ya conocidos.

**Esquema 3: Sistema de agua de Pisco.**



Fuente: EMAPISCO

En la tabla 28 se muestra los resultados de la determinación del riesgo para los componentes del sistema de alcantarillado.

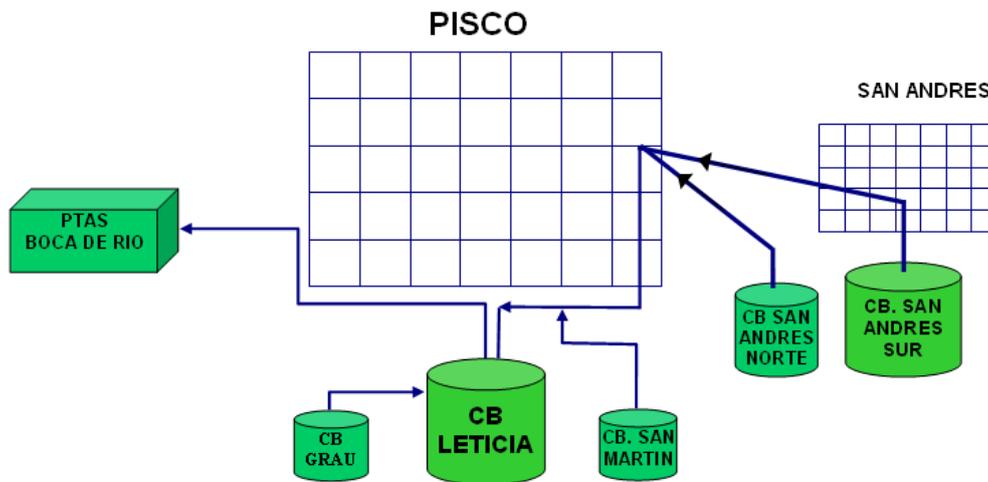
**Tabla 28: Evaluación del riesgo para el sistema de alcantarillado – sin medidas preventivas.**

COMPONENTE	Nombre de la amenaza	Probabilidad de la ocurrencia (P)	La gravedad de las consecuencias (C)	Eficacia de disuasión (E)	Riesgo relativo (R=PxCxE)	Rango de Riesgo
Redes colectoras PISCO CERCADO	Pérdida de energía	3	2	3	18	3
	Vandalismo	1	3	3	9	4
	Inundaciones	3	3	3	27	2
	Terremoto	5	5	3	75	1
emisor/interceptor	Pérdida de energía	3	3	5	45	2
	Vandalismo	1	3	3	9	3
	Inundaciones	3	3	5	45	2
	Terremoto	5	5	3	75	1
Estación de bombeo EB-LETICIA	Pérdida de energía	5	4	5	100	2
	Vandalismo	3	3	3	27	3
	Inundaciones	3	3	3	27	3
	Terremoto	5	5	5	125	1
PTAR BOCA DE RIO	Pérdida de energía	3	3	3	27	3
	Vandalismo	3	3	3	27	3
	Inundaciones	3	4	3	36	1
	Terremoto	5	2	3	30	2

Fuente: Propia

Los resultados de la tabla 28 muestran que el sistema de Pisco tal como estuvo antes del sismo evidencia un riesgo alto en el sismo (terremoto). Para la PTAR, el riesgo alto es la inundación. Se sabe del riesgo es alto para el sismo en las redes colectores al estar ubicado en zonas de suelos licuables, con material de muy baja ductilidad. En el caso de la estación de bombeo, el riesgo es alto al presentar accesorios con materiales de fierro fundido.

Esquema 4: Sistema de saneamiento de Pisco



Fuente: EMAPISCO.

## **CAPÍTULO IV**

### **ENSEÑANZAS PARA PROTEGER INFRAESTRUCTURAS DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO.**

#### 4.1. LECCIONES APRENDIDAS DEL SISMO DEL 15 DE AGOSTO DE 2007

Una vez ocurrido el desastre del 15 de agosto en el sur, la Dirección Nacional de Saneamiento del MEF encargó a SEDAPAL realizar las acciones necesarias para asegurar el abastecimiento de agua mediante camiones cisternas o envases y restablecer el servicio. Para desarrollar estas tareas, se formaron cinco grupos de trabajo en Cañete, Chincha, Pisco, Ica y Huancavelica, respectivamente. Así como hubo la coordinación nacional también se dio el apoyo de las demás EPS y entes internacionales. En conjunto, se controló el abastecimiento de agua, al principio mediante camiones cisternas, luego en tanques portátiles y finalmente restableciéndose el servicio. Afortunadamente, no hubo una epidemia, solo algunos incrementos en la tasa de morbilidad, pero fue controlado. El diagnóstico de los daños en general de la zona afectada fue como sigue:

- En Cañete, el sistema de agua potable estaba inoperante debido a que el canal de Imperial, que abastece a la ciudad, quedó obstruido por derrumbes. En contraste, el sistema de alcantarillado no sufrió daños significativos.
- En Chincha, sólo un surtidor permanecía operativo, pero abastecido por un pozo que funcionaba con grupo electrógeno. Presentaba varias roturas en sus tuberías, lo que imposibilitaba el reparto adecuado de agua por la red. Al igual que en Cañete, el sistema de alcantarillado no sufrió mayores daños.
- En Pisco, el servicio de abastecimiento de agua colapsó por la gran cantidad de fugas en la red. El sistema de alcantarillado estaba en mal estado; EMAPISCO, meses antes, ya lo había declarado en emergencia.
- En Ica, el sistema de agua potable se encontraba fuera de servicio por falta de energía eléctrica para operar los pozos. El sistema de alcantarillado tenía daños menores.
- En Huaytará, hubo desperfectos por derrumbes, en el canal de regadío y la línea de conducción que lo abastece. No existía sistema de alcantarillado; en su lugar, se usaban letrinas, que no resultaron afectadas.

El abastecimiento de agua se realizó mediante camiones cisternas, distribución de agua envasada, depósitos portátiles y finalmente mediante la red de distribución, pero con restricciones de caudal, continuidad y presión. Para controlar la calidad se añadió solución de cloro en los camiones cisternas. Se

---

puso en operación cuatro plantas de tratamiento portátiles que fueron donadas por los gobiernos de España (tres) y Uruguay (uno). Las EPS afectadas no hubieran podido afrontar el desastre sin la cooperación nacional e internacional ya que no cuentan con la capacidad técnica ni económica. Disponían de pocos recursos para operar y mantener sus sistemas de agua potable y alcantarillado.

**Fotografía 66: Surtidor improvisado en RE-01**



Fuente: SEDAPAL

**Fotografía 67: Tubería CR colapsado**



Fuente: SEDAPAL

La fotografía N° 66 muestra un surtidor provisional instalado en el R1 para llenar el agua potable al camión cisterna y abastecer de agua a la zona urbana de Pisco y alrededores, donde las redes de distribución colapsaron en el sismo del 2007. La fotografía N° 67 muestra los daños en la tubería de concreto reforzado, de 24 pulgadas de diámetro, que corresponde a la línea de conducción de Cuchilla vieja a R2 (Pisco).

#### 4.2. ANÁLISIS DE LOS ERRORES COMETIDOS EN EL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO QUE TUVO COMO CONSECUENCIA LOS DAÑOS EN LOS COMPONENTES DEL SISTEMA AGUA Y SANEAMIENTO.

##### Componentes del sistema agua.

El análisis de los errores que se abrían cometido al diseñar, construir u operar el sistema de agua y saneamiento se describen en el cuadro siguiente, según cada componente. Sin embargo, se debe aclarar que el uso de la tecnología de los materiales y los factores de diseño son aprendidos de la experiencia de los terremotos acaecidos en el Perú y el mundo.

Tabla 29: Análisis de los errores en captación.

COMPONENTES		TIPO DE FALLA	ANÁLISIS DE LOS ERRORES
Captación	Galerías filtrantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grietas en las paredes de los buzones de inspección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se habría considerado un desplazamiento diferencial de los cuerpos de los buzones en la etapa de diseño. Al instalar uniones de los cuerpos sin ninguna restricción al desplazamiento.</li> </ul>
	Pozos de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pérdida de verticalidad.</li> <li>Arenamiento.</li> <li>Paralización de bombeo por falta de energía eléctrica.</li> <li>Colapso de la caseta y cercos de protección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En la etapa de diseño, no se realizó un estudio geotécnico adecuado del suelo; es decir, no se determinó el potencial de licuación del suelo.</li> <li>No se evaluó en el diseño el diámetro de los orificios de los filtros que impida el ingreso de limos por desestabilización del suelo.</li> <li>En atapa de diseño, no se consideró la implementación de una fuente de energía alterna a la red eléctrica.</li> <li>En la etapa de diseño, de la caseta y cercos se elaboró sin considerar los criterios de diseño sísmico para estas estructuras.</li> </ul>

Fuente: Propio

Tabla 30: Análisis de los errores en línea de conducción.

COMPONENTES		TIPO DE FALLA	ANÁLISIS DE LOS ERRORES
LÍNEAS DE CONDUCCIÓN	Tuberías, uniones y válvulas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rotura de tuberías por asentamiento del terreno o licuefacción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En la etapa de estudio, no se consideró el potencial de licuación del suelo. En consecuencia al ejecutarse se construyó sobre suelos licuables. Tampoco se consideró la rigidez de la tubería que pudo resistir la presión lateral del suelo incrementado por el sismo.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Desempalme en las uniones por separación de la tubería</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En la etapa de estudio, cuando se planteó el tipo de tubería y unión, no se realizó el análisis estructural; es decir; no se calculó el desplazamiento de las tuberías para determinar el tipo de tubería y unión.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Tubería con deformación por compresión pérdida de la esfericidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En la etapa de estudio, no se consideró la ductilidad de la tubería para calcular su capacidad de deformarse sin fallar.</li> </ul>

Fuente: Propio

Tabla 31: Análisis de errores en sistemas de bombeo.

COMPONENTES		TIPO DE FALLA	ANÁLISIS DE LOS ERRORES
	Sistemas de Bombeo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destrucción del tablero de control por caída</li> <li>• Subestaciones eléctricas destruida por caída.</li> <li>• Equipos electromecánicos dañados</li> <li>• Rotura de tuberías y accesorios.</li> <li>• Bloques de anclaje y bases de línea de impulsión con fallas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando se construyó no colocaron los pernos de anclaje empotrado a la pared.</li> <li>• Los postes de soporte de la estación no fueron diseñados para soportar aceleraciones sísmicas.</li> <li>• En la instalación de los equipos, no se consideró aisladores sísmicos para protegerlos.</li> <li>• Los accesorios instalados de hierro fundido fallaron debido a su baja ductilidad.</li> <li>• El diseño de los anclajes no fueron diseñados para soportar aceleraciones sísmicas.</li> </ul>

Fuente: Propio

Tabla 32: Análisis de errores en almacenamiento.

COMPONENTES	Tipo de falla	Análisis de los errores	
ALMACENAMIENTO	Reservorio apoyado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las tuberías de ingreso y salida del reservorio sufren daños por esfuerzos de corte por asentamientos diferenciales entre el suelo y tanques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la etapa de diseño, no se consideró la ductilidad de la tubería por eso falló las tuberías de hierro fundido porque no tienen resistencia a la flexión.</li> </ul>
	Reservorio elevado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colapso y deterioro de reservorios elevados con soporte de vigas y columnas. Presentaron daños “menores” con fisuras, grietas. El ambiente húmedo corroe las varillas de acero y en poco tiempo quedan fuera de servicio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la etapa de diseño, no consideraron los esfuerzos por corte causado por sismos, por eso, fallaron los reservorios elevados de baja rigidez. No tenían suficientes atiesadores para contrarrestar las fuerzas de corte.</li> </ul>

Fuente: Propio

Tabla 33: Análisis de errores en aducción y distribución.

COMPONENTES		Tipo de falla	Análisis de los errores
<b>ADUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN</b>	• Líneas de aducción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotura de tuberías por asentamiento del terreno o licuefacción</li> <li>• Desempalme en las uniones por separación de la tubería</li> <li>• Pérdida del alineamiento horizontal y vertical</li> </ul>	• Igual que línea de conducción.
	• Redes primarias y secundarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desempalme en las uniones por separación de las tuberías.</li> <li>• Mayor número de roturas con tubería material de asbesto cemento y concreto reforzado.</li> <li>• Daños en válvulas y accesorios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se realizó un análisis estructural con el cálculo del desplazamiento de las tuberías, causado por la aceleración del suelo.</li> <li>• No se consideró la resistencia de la tubería a las fuerzas sísmicas.</li> <li>• No se estimó el traslape mínimo que debe haber en la unión entre la tubería y el accesorio.</li> </ul>
	• Conexiones domiciliarias	• Desempalme de las tuberías y accesorios en las uniones pegadas.	• No se calculó la resistencia de la unión a las fuerzas sísmicas

Fuente: Propio

## Componentes del sistema saneamiento.

Tabla 34: Análisis de errores en recolección y conducción.

COMPONENTES		Tipo de falla	Análisis de los errores
RECOLECCIÓN	Conexiones domiciliarias	Rotura de la losa y tapa causado por la maquinaria que realizó la remoción de escombros.	No se consideró la resistencia de la tapa de registro ante la fuerza y fricción producida por la maniobra del equipo.
	Colectores Secundarios	Flotación de los buzones.	No se ha realizado un estudio del potencial de licuación del suelo.
CONDUCCIÓN	Colectores Primarios	Rotura de tuberías por asentamiento del terreno o licuefacción	No se analizó la resistencia de la tubería a las fuerzas sísmicas.
	Interceptor y emisores	Desempalme en las uniones por separación de las tuberías Pérdida del alineamiento horizontal y vertical alterando la pendiente. Tubería con rotura o deformación por compresión.	No se evaluó el comportamiento estructural de las tuberías considerando el tipo de unión. No se estudió el potencial de licuación del suelo, la deformación permanente del suelo. No efectuó el análisis sobre la rigidez y ductilidad de la tubería.

Fuente: Propio

Tabla 35: Análisis de errores en estaciones de bombeo.

COMPONENTES		Tipo de falla	Análisis de los errores
CONDUCCIÓN	Estaciones de bombeo	Destrucción del tablero de control por caída	No se consideró el desplazamiento lateral del tablero a causa de la aceleración del suelo.
		Subestaciones eléctricas destruida por caída. Rotura de tuberías y accesorios. Bloques de anclaje y bases de línea de impulsión con fallas	No se evaluó la resistencia de los postes a la aceleración del suelo. No se previó la resistencia de las tuberías y accesorios a las fuerzas sísmicas. Los anclajes de codos y válvulas no fueron diseñados para soportar fuerzas sísmicas.

Fuente: Propio

Tabla 36: Análisis de los errores en PTAR

componentes		Tipo de falla	Análisis de los errores
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR)	Taludes y canales de lagunas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grietas o colapso en la estructura de concreto como las estructuras de ingreso y los canales de derivación</li> <li>Agrietamiento de la corteza terrestre con fisuras en talud y fondo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se analizó sobre el comportamiento estructural del canal de concreto.</li> <li>No se comprobó el comportamiento geotécnico del talud a las aceleraciones sísmicas; tampoco se calculó la altura mínima del borde libre para evitar que las olas del agua sobrepasen esta altura y evitar la erosión del talud.</li> </ul>
	Estructuras de concreto armado	Grietas en la estructura de concreto	No se realizó el análisis estructural sobre la resistencia a las fuerzas sísmicas.
	Tuberías, uniones y válvulas	Rotura de accesorio como válvulas o tuberías que une entre cada unidad	No se evaluó la resistencia de las tuberías y accesorios a las fuerzas sísmicas. Tampoco se analizó el comportamiento de accesorios que unen elementos de diferentes rigideces.
	Sistema de cloración	Daños en equipos y accesorios del sistema de cloración.	No se determinó la vibración y desplazamiento que causó la caída de los equipos y daños causados al sistema de cloración.
	Cercos perimétricos	Caída de los cercos.	No revisó el comportamiento estructural considerando fuerzas sísmicas.

Fuente: Propio

#### **4.3. PLAN PARA MITIGAR Y PROTEGER LAS ESTRUCTURAS DE SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO FRENTE A LA OCURRENCIA DE UN DESASTRE NATURAL COMO EL SISMO.**

##### **RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA EL SISTEMA DE AGUA**

###### **Galería filtrante:**

La galerías filtrante está compuesta de buzones hasta 8m de profundidad y tuberías de recolección y conducción. Los buzones con grietas en los muros esto se puede evitar considerando en el diseño muro de concreto armado. En la construcción realizar el vaciado en una sola etapa. Si se realiza el vaciado en varias etapas, se debe colocar el wáter stop para impermeabilizar y evitar que ingrese agua contaminada al sistema.

###### **Planta de tratamiento de agua potable:**

En planta las estructuras se deben diseñar de acuerdo a la norma E.030, diseño sismoresistente del RNE. En los floculadores, cuando se selecciona el material de las placas, se debe considerar las fuerzas horizontales, producto del movimiento del agua a consecuencia del terremoto. No utilizar material frágil como pantalla de floculadores. En los almacenes y laboratorio, los estantes deben estar anclados con pernos al muro y los objetos que están allí deben tener un seguro para evitar que se caigan con el movimiento, se debe considerar cadenas de seguridad para proteger balones de cloro

###### **Línea de conducción y aducción:**

El trazo de estos componentes no debe ser sobre suelos sueltos saturados porque se produce licuación de suelo. No debe instalarse paralela cerca a canal o río. Evitar cruzar zonas pantanosas o suelos licuables. Si necesariamente tiene que cruzar estas zonas, se debe colocar material dúctil de alta resistencia al esfuerzo de corte, tracción y compresión. Las uniones deben ser fijas, de preferencia soldadas, con aisladores sísmicos cada cierta longitud.

**Reservorio de almacenamiento.**

Para los reservorios en su diseño estructural, se debe considerar la Norma E.030, diseño antisísmico del RNE. Estos no deben ser instalados sobre suelos propensos a sufrir licuación. Se debe realizar un estudio geotécnico detallado. Para los reservorios elevados, no se debe considerar soporte de vigas y columnas, sino soporte sólido, como anillo de espesor mínimo de 20cm. Los accesorios cruz, te, codo y válvulas no debe ser de hierro fundido, sino de hierro dúctil. Además debe colocarse aisladores sísmicos entre la unión de la tubería y estructura.

**Estación de bombeo**

En la estación de bombeo, se debe considerar también la Norma E.030, diseño antisísmico del RNE, Los accesorios cruz, te, codo y válvulas no debe ser de hierro fundido sino de hierro dúctil.

**Redes de distribución**

En las redes no se debe colocar las tuberías de asbesto cemento ni concreto simple normalizado. Estos materiales son frágiles. Se debe colocar material que en la uniones se separe o cuando se juntan se rompan las campanas; por eso, debe colocar tubería de alta ductilidad, de menor número posible de uniones, flexibles de preferencia. Debe colocarse tubería con uniones soldadas o bridadas. Cada cierta distancia, se debe colocar uniones tipo acople rápido, con un traslape suficiente, que no se separe de la tubería producto del desplazamiento horizontal, vertical del suelo. La sectorización de las redes debe tener un nuevo enfoque considerando la rehabilitación del sistema. Para ello, se debe sectorizar teniendo en cuenta áreas de peligros diferentes. Se puede realizar mapa de microzonificación o utilizar el mapa de peligros de INDECI/PNUD.

**Conexiones domiciliarias**

En las conexiones domiciliarias, las tuberías deben ser de material de alta ductilidad como el HDPE. Los accesorios como válvula de toma, válvula de paso, abrazadera, unión, codo y curva debe ser inyectado en una sola pieza. Si son de PVC su empalme deber ser roscado y no con pegamento.

---

#### 4.4. MATRIZ DE RECOMENDACIONES PARA PROTEGER SISTEMAS DE AGUA POTABLE CUANDO OCURRA UN SISMO

Tabla 37: Matriz de recomendaciones para captación.

COMPONENTES		DAÑOS	RECOMENDACIONES
<b>CAPTACIÓN</b>	• Captación superficial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agrietamientos e inclinación de estructuras de concreto armado.</li> <li>• Daños en tuberías y uniones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el diseño estructural, considerar la Norma E.030 diseño sismoresistente del RNE</li> <li>• Para las construcciones enterradas, considerar, empuje de tierra y la presión hidráulica.</li> <li>• No utilizar tuberías y accesorios rígidos sino material dúctil.</li> </ul>
	• Galerías filtrantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas en las paredes de los buzones de inspección.</li> <li>• Roturas de tuberías y desacople de uniones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el sector donde se construirá las galerías filtrantes, dar preferencia a suelos de grano grueso porque son menos susceptibles a la licuación de suelos en caso de sismos intensos.</li> <li>• Las arenas finas con contenido de limo, son muy susceptibles a la licuación de suelos y deben evitarse.</li> <li>• Durante el proceso de construcción de las galerías filtrantes con elementos de concreto armado, tener cuidado con las juntas de construcción, dejando llaves de corte y asegurarse que sean herméticas para evitar el ingreso de aguas superficiales contaminadas, como sucedió en Cabeza de Toro en el río Pisco en 2007.</li> </ul>
	• Pozos de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grietas en el suelo y en las paredes del pozo.</li> <li>• Pérdida de verticalidad.</li> <li>• Arenamiento.</li> <li>• Paralización de bombeo por falta de energía eléctrica.</li> <li>• Rotura de tubería y accesorios.</li> <li>• Colapso de la caseta y cercos de protección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No perforar pozos en sectores donde puedan ocurrir licuación de suelos, en caso de sismos o tenga la amenaza de ser inundado, contaminando el agua.</li> <li>• El caso más frecuente de interrupción de abastecimiento de agua de pozo es por corte de energía eléctrica, en caso de sismos. Evaluar si es conveniente tener equipo electrógeno de emergencia.</li> </ul>

Tabla 38: Matriz de recomendaciones para PTAP

COMPONENTES		DAÑOS	RECOMENDACIONES
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Presas de tierra: Estanque regulador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grietas, asentamientos, posible rotura de presa por licuación del suelo y de su masa. (dam break).</li> <li>Fallas por oscilación del agua (sloshing)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios geológicos y geotécnicos incluyendo la medición de la velocidad de ondas S (Vs). Es el indicador más confiable para determinar el grado de amplificación de las ondas sísmicas y útil para aplicar normas internacionales avanzadas, que la solicita específicamente.</li> <li>Detectar estratos de gran espesor de suelos de granos finos, húmedos o saturados de agua.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estructuras de concreto armado: Desarenadores, Decantadores Floculadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grietas en muros y columnas por altas intensidades sísmicas.</li> <li>Grietas en muros por asentamiento del suelo.</li> <li>Fallas de elementos por sloshing.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para el diseño estructural, considerar la Norma E.030, diseño sismoresistente del RNE</li> <li>Si es posible, considerar los efectos de la oscilación de la masa de agua, inducido por ondas sísmicas de periodo largo.</li> <li>Las pantallas de los floculadores no debe ser de material frágil. Este debe soportar el movimiento del agua producto del sismo.</li> </ul>

Fuente: Propio

Tabla 39: Matriz de recomendaciones para PTAP

COMPONENTES		DAÑOS	RECOMENDACIONES
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuberías , uniones, válvulas,</li> <li>• Bombas de agua.</li> <li>• Sistemas de Desinfección:</li> <li>• Precloración</li> <li>• Cloración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallas en tuberías y uniones por altas aceleraciones sísmicas.</li> <li>• Fallas en tuberías por deformación permanente de suelo.</li> <li>• Falla por corte en tuberías de entrada y salida de tanques rígidos por asentamiento diferencial del suelo.</li> <li>• Falla en tuberías por licuación y desplazamiento del suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las fallas de tuberías se producen, en la mayoría de casos, en la entrada y salida de los depósitos rígidos de agua, así como también, en los lugares donde las características de suelo son diferentes, y fallan esfuerzos de corte.</li> <li>• En dichos puntos críticos, utilizar uniones flexibles con suficiente traslape, capaces de tomar vibraciones en sentido contrario, y asentamientos diferenciales. Una solución sería los acoples rápidos o juntas mecánicas.</li> <li>• Tener equipos de generación eléctrica de emergencia, para el funcionamiento de las bombas, si es conveniente.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edificaciones</li> <li>• Oficina de Control y manejo de planta.</li> <li>• Laboratorios</li> <li>• Almacenamiento</li> <li>• Cercos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallas estructurales y no estructurales en edificios de concreto armado, albañilería y cercos.</li> <li>• Volcaduras de equipos y estantes.</li> <li>• Derrame de productos químicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al aplicar la Norma NTE 0.30, utilizar el coeficiente de uso e importancia <math>U = 1.5</math>, en todas las edificaciones y el cerco.</li> <li>• Fijar estantes, y anclar debidamente otros elementos para evitar su volcamiento con sustancias químicas y materiales.</li> <li>• En casos de inundaciones en el primer piso, colocar planos y otros documentos en partes altas, para evitar que se mojen.</li> </ul>

Fuente: Propio

Tabla 40: Matriz de recomendaciones para líneas de conducción.

COMPONENTES		DAÑOS	RECOMENDACIONES
LÍNEAS DE CONDUCCIÓN	Tuberías, uniones y válvulas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotura de tuberías por asentamiento del terreno o licuefacción</li> <li>• Desempalme en las uniones por separación de la tubería</li> <li>• Pérdida del alineamiento horizontal y vertical de la tubería.</li> <li>• Tubería con deformación por compresión</li> <li>• Pérdida de la esfericidad</li> <li>• Mayor número de roturas con tubería material de asbesto cemento y concreto reforzado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En suelos inestables, blandos y saturados, las tuberías debe ser de material dúctil (HDPE o HD) lo suficiente que permita realizar quiebres, sea horizontal o vertical. Las uniones deben ser soldadas o bridadas.</li> <li>• Cuando las tuberías crucen suelos donde se ha determinado que las ondas sísmicas producen gran amplificaciones o son muy deformables durante su paso, utilizar las tuberías de mayor ductilidad, con uniones fijas o soldadas.</li> <li>• Evitar cruzar suelos blandos saturados porque estos producen licuefacción y destruyen toda la línea.</li> </ul>
	Sistemas de Bombeo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destrucción del tablero de control por caída</li> <li>• Subestaciones eléctricas destruida por caída.</li> <li>• Equipos electromecánicos dañados</li> <li>• Rotura de tuberías y accesorios.</li> <li>• Bloques de anclaje y bases de línea de impulsión con fallas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada cierto tramo se debe considerar uniones tipo acople rápido o junta mecánica, con suficiente traslape de la tubería para absorber las vibraciones y el desplazamiento horizontal y vertical.</li> <li>• No usar accesorios de material hierro fundido sino material dúctil.</li> <li>• Fijar los tableros electromecánicos a los muros con pernos de anclaje.</li> <li>• Considerar grupo generador de energía que trabaje en caso de corte de energía.</li> </ul>

Fuente: Propio

Tabla 41: Matriz de recomendaciones para almacenamiento.

COMPONENTES		DAÑOS	RECOMENDACIONES
ALMACENAMIENTO	Tanques cisternas	<ul style="list-style-type: none"> <li>En general, solo presentan deterioro ligeros sobre suelos duros y secos y colapso o deterioro por licuación en suelo blando saturado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En caso de cisternas, identificar el nivel de la napa freática antes de la construcción, pues pueden flotar si no están llenos, si ocurre licuación de suelos.</li> </ul>
	Reservorio apoyado	<ul style="list-style-type: none"> <li>En general solo ocurren daños ligeros sobre suelos duros y secos y colapso o deterioro por licuación en suelo blando saturado.</li> <li>Las tuberías de entrada y salida de agua del reservorio sufren daños por esfuerzos de corte, por asentamientos diferenciales entre el suelo y tanques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reservorios apoyados sobre suelos firmes y secos tienen bajo riesgo de falla, como ocurrió con el R-2 de Pisco, en el sismo del 2007. Es recomendable esta solución.</li> <li>Se debe considerar uniones tipo dresser con suficiente traslape en las tuberías de ingreso y salida para absorber el desplazamiento horizontal del suelo</li> </ul>
	Reservorio elevado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colapso y deterioro de reservorios elevados con soporte de vigas y columnas. Si presentan fallas “menores” con fisuras, grietas, el ambiente húmedo corroe las varillas de acero y en poco tiempo quedan fuera de servicio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No construir reservorios elevados apoyados sobre soporte de columnas y vigas, concentran grandes esfuerzos de corte y por momentos en sus extremos, y el riesgo de su falla es alto en caso de sismos.</li> <li>Aún si la inspección técnica después de un sismo indique fallas menores, fisuras o pequeñas grietas, debido al ambiente húmedo en los que se ubican, las varillas de acero se corroen rápidamente, como ocurrió en el R-1 de Pisco, que ha quedado fuera de servicio.</li> <li>Apoyos con anillos solidos de concreto armado cuya construcción es sencilla, utilizando encofrados deslizantes, resisten la acción de sismos intensos. Su diseño y construcción es recomendable.</li> </ul>

Fuente: Propio

Tabla 42: Matriz de recomendaciones para aducción y distribución.

COMPONENTES		DAÑOS	RECOMENDACIONES
ADUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	Líneas de Aducción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rotura de tuberías por asentamiento del terreno o licuefacción</li> <li>Desempalme en las uniones por separación de la tubería</li> <li>Pérdida del alineamiento horizontal y vertical</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En suelos inestables, blandos y saturados, las tuberías debe ser de material dúctil (HDPE o HD) que permita realizar quiebres horizontal o vertical. Las uniones deben ser soldadas o bridadas</li> <li>Diseñar las redes de distribución de agua en circuitos que permitan aislar con válvulas, sectores con suelos blandos y amenazados por licuación de suelos, donde el riesgo de falla es alto.</li> <li>Cada cierto tramo se debe colocar uniones tipo junta mecánica o acople rápido, con suficiente traslape, que permita absorber las vibraciones y el desplazamiento horizontal del suelo.</li> <li>Cada cierto sector, a lo largo de la red antisísmica, se debe ubicar surtidores que permitan abastecer con agua a los camiones cisternas en situaciones de emergencia.</li> <li>Los grifos contra incendio se pueden utilizar como surtidores realizando una técnica apropiada.</li> <li>Las conexiones domiciliarias de agua a la red pública deben ser flexibles, ante los movimientos sísmicos o asentamientos diferenciales, si el suelo es fino y húmedo.</li> <li>La unión de la tubería con los accesorios debe ser con unión roscada y no con pegamento, ya que estos se desprenden con la aceleración del suelo.</li> <li>Las cajas deben tener un concreto de mayor f'c</li> </ul>
	Redes Matrices	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daños en piezas de tuberías y en sus uniones, por fragilidad de las tuberías y uniones rígidas.</li> <li>Desempalme en las uniones por separación de las tuberías</li> <li>Mayor número de roturas con tubería material de asbesto cemento y concreto reforzado.</li> </ul>	
	Redes secundarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rotura de tubería con material de asbesto cemento y concreto reforzado.</li> <li>Daños en válvulas y accesorios.</li> </ul>	
	Conexiones domiciliarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>Daños severos en tuberías antiguas corroídas.</li> <li>Desempalme de las tuberías y accesorios en las uniones pegadas.</li> </ul>	

Fuente: Propio

#### **4.5. PLAN PARA MITIGAR Y PROTEGER LAS ESTRUCTURAS DE SISTEMA DE SANEAMIENTO FRENTE A LA OCURRENCIA DE UN DESASTRE NATURAL COMO EL SISMO.**

##### **RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS PARA SISTEMA DE SANEAMIENTO**

###### **Conexiones domiciliarias**

En las conexiones domiciliarias no se debe colocar tuberías de CSN. Debe ser tuberías de alta ductilidad, como el HDPE o PVC. Las cajas deben tener una resistencia mayor f'c. Los accesorios de empalme como la silla, codo, deben ser de una sola pieza; es decir, fabricados mediante inyección.

###### **Colectores**

En este caso las tuberías deben ser también de material de alta ductilidad, como el HDPE o PVC. No se debe colocar tuberías frágiles como el CSN, ya que estos no trabajan a tracción.

###### **Buzones**

En los buzones considerarse el empalme de estos con la tubería, no con dado de concreto, sino con una unión tipo campana y espiga donde la campana está ya empotrado al buzón y la espiga lo conforma la tubería.

###### **Interceptor/emisor**

En este caso, las tuberías deben ser también de material de alta ductilidad como el HDPE o PVC. No se debe colocar tuberías frágiles como el CSN ya que estos no trabajan a tracción. No usar uniones flexibles sino soldados.

###### **Cámara de bombeo de desagüe.**

En la cámara de bombeo de desagüe, se debe considerar también la Norma E.030, diseño antisísmico del RNE, Los accesorios cruz, te, codo y válvulas no debe ser de hierro fundido sino de hierro dúctil.

###### **Plantas de tratamiento de agua residual.**

En plantas de tratamiento, las estructuras se deben diseñar considerando la norma E.030, diseño sismo resistente del RNE. Las fallas que se producen en los taludes de las lagunas es muy difícil evitarlos; sin embargo los riesgos son menores si estos se han construidos de manera técnica, bien compactados e impermeabilizados.

#### 4.6. MATRIZ DE RECOMENDACIONES PARA PROTEGER SISTEMAS DE SANEAMIENTO ANTE LA CORRENCIA DE UN SISMO

Tabla 43: Matriz de recomendaciones para recolección y conducción.

COMPONENTES		DAÑOS	RECOMENDACIONES
RECOLECCIÓN	Conexiones domiciliarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desprendimiento de la red matriz, por rotura en el empalme</li> <li>Rotura de la losa y tapa causado por la maquinaria que realiza la remoción de escombros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las conexiones domiciliarias de desagües son muy vulnerables en caso de sismos, porque las tuberías de concreto con unión espiga y campana son rígidas, y no admiten deformaciones del suelo, ni asentamientos diferenciales entre las edificaciones y el suelo, lo que sucede en suelos con granos finos y húmedos.</li> <li>No utilizar tubería de concreto simple normalizado. Podrán utilizarse para ésta situación otro tipo de tubería igualmente económico, pero flexible, tubería con alta ductilidad.</li> </ul>
	Colectores Secundarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rotura de tuberías por asentamiento del terreno o licuefacción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido a la débil unión entre tuberías de desagüe, éstos se separan fácilmente causando contaminación, en suelos blandos y húmedos, como en Pisco donde la intensidad sísmica fue alta y la deformación del suelo considerable en el sismo de 2007.</li> </ul>
CONDUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colectores Primarios</li> <li>Interceptor y emisores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desempalme en las uniones por separación de las tuberías</li> <li>Pérdida del alineamiento horizontal y vertical alterando la pendiente.</li> <li>Tubería con rotura o deformación por compresión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es recomendable utilizar uniones fijas en los tramos y uniones flexibles en los empalmes con el buzón.</li> <li>Diseñar con material que absorbe las vibraciones del movimiento sísmico, de preferencia con material de alta ductilidad.</li> <li>En el empalme entre el buzón y la tubería no debe haber un bloque de anclaje sino un empalme tipo campana y espiga, donde la campana esté adosado al cuerpo del buzón y la espiga sería la tubería.</li> </ul>

Fuente: Propio

Tabla 44: Matriz de recomendaciones para estaciones de bombeo.

COMPONENTES		DAÑOS	RECOMENDACIONES
CONDUCCIÓN	Estaciones de bombeo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destrucción del tablero de control por caída</li> <li>• Subestaciones eléctricas destruida por caída.</li> <li>• Equipos electromecánicos dañados</li> <li>• Rotura de tuberías y accesorios.</li> <li>• Bloques de anclaje y bases de línea de impulsión con fallas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No considerar accesorios de material frágil como el hierro fundido.</li> <li>• Considerar pernos de anclaje para fijar los tableros electrónicos</li> <li>• Considerar grupo generador de energía que trabaje en caso de corte de energía</li> <li>• En las líneas de impulsión donde el suelo es blando y licuable, se debe considerar tuberías de alta ductilidad como HDPE o HD con uniones fijas sean soldadas o bridadas.</li> </ul>

Fuente: Propio

Tabla 45: Matriz de recomendaciones para PTAR.

COMPONENTES		DAÑOS	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES
PTAR	LAGUNAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taludes y canales de Tierra</li> <li>• Grietas o colapso en la estructura de concreto como las estructuras de ingreso y los canales de derivación</li> <li>• Agrietamiento de la corteza terrestre con fisuras en talud y fondo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los taludes y canales de tierra, en general, tienen alto riesgo de falla, por estar contruidos con suelos de grano fino y saturados de agua. Allí las intensidades sísmicas son altas y los suelos sufren grandes deformaciones. Estos tipos de fallas resultan difíciles de evitar por lo que es necesario que su rehabilitación sea en el menor tiempo posible, con un plan de contingencia previsto.</li> <li>• Los canales y demás estructuras de concreto, dependiendo del tipo de suelo, deben ser de concreto armado con acero o ferrocemento.</li> </ul>

Fuente: Propio

Tabla 46: Matriz de recomendaciones para PTAR.

COMPONENTES		UBICACIÓN	COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	PLANTAS DE TRATAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuras de concreto</li> <li>• Cámara de rejillas</li> <li>• Desarenador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generalmente las PTAR se ubican en partes bajas de las ciudades donde las partículas de suelo son finas y muy húmedo o saturado de agua. Se producen gran amplificación de las ondas sísmicas y la licuación de suelos es frecuente.</li> <li>• Daños en equipos y accesorios.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuberías, uniones y válvulas</li> <li>• Sistema de Bombeo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las tuberías, sus uniones, válvulas y sistemas de bombeo deben ser diseñados, considerando indistintamente sobre la superficie del suelo o enterrados. En suelos muy blandos, ocurrirán altas intensidades sísmicas e importantes deformaciones.</li> <li>• Las tuberías de las conexiones deben ser flexibles con alta ductilidad para que los elementos sigan los movimientos del suelo sin deteriorarse, ni las tuberías se separen.</li> </ul>

Fuente: Propio

#### 4.7. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD – RIESGOS MINIMIZADOS

##### **Vulnerabilidad de los sistemas**

Toda infraestructura creado por el hombre siempre es vulnerable a los fenómenos naturales o artificiales. Con el avance de la ciencia y con una mejor aplicación de la ingeniería, estaremos reduciendo la probabilidad de sufrir por las pérdidas materiales y de vidas humanas.

A continuación se expone la vulnerabilidad a la que están expuestos los componentes de los sistemas de agua y alcantarillado:

##### **Vulnerabilidad de la fuente de agua**

La fuente de agua para Pisco es el agua subterránea, captado mediante galerías filtrantes. Se sabe que con el sismo, las cámaras de inspección presentan grietas y fisuras por donde ingresan aguas sub superficiales con alta turbiedad. Para reducir estos daños, se plantea construir la estructura con concreto armado y agregar el uso de fibras, sean metálicos o no, con el objetivo de aumentar la resistencia al corte y tracción de las paredes de los buzones. Adicionalmente, también, de debe cubrir los buzones con material impermeable, por ejemplo un geo sintético.

##### **Vulnerabilidad de la línea de conducción**

La tubería que conduce el agua captada en la galería Cabeza de Toro tiene varios tramos de diferentes materiales; pero con el mismo sistema de unión espiga campana con unión flexible. Esta metodología de construcción, aunque sea de un material muy dúctil, como el hierro dúctil siempre será vulnerable a los terremotos, sobre todo cuando pasa zonas propensas a licuefacción como cuando cruza una zona pantanosa. Para estos puntos críticos, se debe construir con material de alta ductilidad y con uniones soldadas. En ciertos puntos se debe colocar disipadores sísmicos. Esto consiste en uniones especiales con un material muy flexible y que resiste al corte, torsión, tracción y compresión.

##### **Vulnerabilidad de las estaciones de bombeo**

Pisco solo cuenta con una estación de bombeo para agua potable y cinco estaciones de bombeo para aguas residuales. Estas infraestructuras dejarán de

---

ser poco vulnerables si se toman las siguientes consideraciones colóquese accesorios de alta ductilidad. Debe colocarse cadenas o anclas para evitar caídas de tableros. Proponer una fuente alterna como grupo electrógeno en los puntos claves.

### **Vulnerabilidad de los reservorios**

Pisco, Ica y Nazca tuvieron el mismo problema. Los reservorios elevados con sistemas de vigas y columnas no soportan sismos de gran intensidad porque la cuba lleno de agua hace que el sistema se comporte como un émbolo invertido que produce momentos altos en los nudos. Estos momentos elevados hacen fallar la estructura. Para reducir esta vulnerabilidad ubíquese los reservorios sobre elevaciones formadas con suelo firme; es decir, reservorio apoyado. Si no hubiera un espacio para este tipo de reservorio y necesariamente se colocaran reservorio elevado, este debe tener un sistema de estructural con anillo solido de concreto armado y no vigas y columnas. Los accesorios y tuberías deben ser material dúctil y no de hierro fundido, se debe considerar la unión especial que sea muy flexible y debe ser colocado entre el reservorio y la tubería ingreso o salida.

### **Vulnerabilidad de las redes de distribución**

Las redes de distribución de San Andrés sufrieron menor daño al ubicarse en mejor suelo. Las tuberías de PVC sufrieron menor deterioro que los de asbesto cemento, hierro fundido o concreto reforzado porque el PVC es de material un poco dúctil, a diferencia de los otros materiales que son frágiles. Si queremos un sistema más seguro y más hermético se debe colocar tuberías con alta ductilidad, como el HDPE que tiene uniones soldadas, ya sea por termo fusión u otro método pero que tenga alta resistencia. Esta tubería debió colocarse en la reconstrucción y rehabilitación. En las conexiones domiciliarias no se debe instalar la tubería con los accesorios con pegamentos. Estas deben ser unidas con roscas; es decir, deben ser uniones roscadas y no uniones a presión con pegamentos. Con estas modificaciones se tendrá un sistema menos vulnerable y más confiable.

Cuando se produzca un sismo, para que el sistema tenga una alta resiliencia, se debe sectorizar considerando la zona de peligro. Es decir, el sistema puede ser aislado fácilmente la zona donde se espera mayor perjuicio cerrando algunas

válvulas de control. Con esto se tendrían sectores con servicio continuo o ser rehabilitado más rápidamente.

### **Vulnerabilidad de las redes de alcantarillado**

Las tuberías de CSN que son las más antiguas de las redes de alcantarillado son las vulnerables ante movimientos telúricos. También, los buzones ubicados sobre suelos licuables son vulnerables, ya que, con el sismo, estos pierden alineamiento y tiende a flotar; es decir, se elevan alterando la pendiente por donde debió fluir el agua residual, provocando el colapso total del sistema. Para reducir la vulnerabilidad, se debe colocar tuberías con alta ductilidad y sobre suelos no licuables. Para ello, las habilitaciones urbanas deben considerar enfáticamente los mapas de peligros de las ciudades elaborados por el INDECI o, en su defecto, se debe realizar este estudio y prohibir habilitaciones sobre suelos de peligro alto.

Con las medidas antes indicadas, reduciría el riesgo de sufrir colapso del sistema, como se muestra en la tabla 47.

Tabla 47: Evaluación del riesgo para el sistema del agua – con medidas preventivas.

COMPONENTE	Nombre de la amenaza	Probabilidad de la ocurrencia (P)	La gravedad de las consecuencias (C)	Eficacia de disuasión (E)	Riesgo relativo (R=PxCxE)	Rango de Riesgo
Galería filtrante	Pérdida de energía	1	1	3	3	3
	Vandalismo	3	3	3	27	1
	Inundaciones	5	1	3	15	2
	Terremoto	5	3	1	15	2
Línea de conducción	Pérdida de energía	1	1	3	3	3
	Vandalismo	1	2	3	6	4
	Inundaciones	3	4	3	36	1
	Terremoto	5	4	1	20	2
Estación de bombeo	Pérdida de energía	5	4	3	60	1
	Vandalismo	3	3	3	27	2
	Inundaciones	3	3	3	27	2
	Terremoto	5	4	1	20	3
Reservorio	Pérdida de energía	1	3	3	9	3
	Vandalismo	3	3	3	27	1
	Inundaciones	1	3	3	9	3
	Terremoto	5	4	1	20	2
Redes de distribución	Pérdida de energía	3	2	3	18	3
	Vandalismo	1	1	5	5	4
	Inundaciones	3	4	5	60	1
	Terremoto	5	5	1	25	2

Fuente: Propio

Los resultados de la tabla 47 muestran que el sistema de agua reduce el riesgo de colapso o deterioro si se toma en consideración las indicaciones que se propone en la presente tesis. En el cuadro, se puede notar que el riesgo de sufrir daños por sismo ya no es una amenaza de alto riesgo sino otras amenazas, como por ejemplo, para la galería filtrante, la amenaza de alto riesgo es vandalismo. Claro si roban las tapas podría ingresar sustancias nocivas y contaminar el agua.

#### 4.8. COMPARACIÓN DEL RIESGO CON LOS EFECTOS DISUASIVOS PARA LA MINIMIZACIÓN DEL RIESGO DEL SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO.

A continuación se hace una comparación cómo se reduce el riesgo con las medidas presentadas en esta investigación.

##### Fuente de agua.

Tabla 48: Comparación de la reducción del riesgo en fuente de agua.

FUENTE	TIPO	RIESGO ANTES DEL SISMO	RIESGO CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN.
Agua subterránea	Galería filtrante	Concreto sin fibras estructura desprotegida, juntas frías. Riesgo=45	Concreto con fibras, buzón cubierto con geo textil impermeable. Riesgo=15

Fuente: Propio

##### Línea de conducción.

Tabla 49: Comparación de la reducción del riesgo en línea de conducción.

TRAMO	DIÁMETRO/ LONGITUD	RIESGO ANTES DEL SISMO	RIESGO CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN.
Cuchilla vieja – R2	24”/ 4.5km	Tubería de baja rigidez, cruza sobre suelo saturado en canales y humedales. Tiene unión campana espiga. Riesgo=100	Tubería con alta rigidez y alta ductilidad, con uniones fijo soldadas o bridadas. Riesgo=20

Fuente: Propio

### Estación de bombeo.

Tabla 50: Comparación de la reducción del riesgo en estación de bombeo.

ESTACIÓN	POTENCIA	RIESGO ANTES DEL SISMO	RIESGO CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN.
-Villa Túpac Amaru -Leticia -Las Casuarinas	1 de 40HP 2 de 3HP 3 de 30HP	Accesorios de hierro fundido, sin grupo electrógeno, transformador sobre postes, tablero sin anclaje. Riesgo=100	Accesorios de hierro dúctil, cuentan con grupo electrógeno, transformador sobre estructuras más fijas, tableros con anclaje. Riesgo=20

Fuente: Propio

### Reservorio de almacenamiento.

Tabla 51: Comparación de la reducción del riesgo en reservorios.

RESERVORIO	TIPO CAPTACIÓN	RIESGO ANTES DEL SISMO	RIESGO CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN.
RE-01	Elevado/ 1500m3	Estructura sobre pórticos con vigas y columnas,	Estructura apoyado sobre suelo rocoso, si es elevado con estructura
RA-2	Apoyado/ 4200m3	accesorios de hierro fundido, tubería de hierro fundido, sistema de cloración sin anclaje. Riesgo=60	sobre muros sólidos, tuberías y accesorios con material de alta ductilidad, sistema de cloración anclado. Riesgo=20

Fuente: Propio

### Redes de distribución y conexiones domiciliarias.

Tabla 52: Comparación de la reducción del riesgo en redes y conexiones.

MATERIAL	RIESGO ANTES DEL SISMO	RIESGO CON MEDIDAS DE PROTECCIÓN.
AC CR FºFº PVC	Tubería de baja rigidez, baja ductilidad, tiene unión campana espiga. Conexiones unidas a presión con pegamento. Riesgo=75	Tubería con alta rigidez y alta ductilidad, con uniones fijo, soldadas o bridadas, conexiones unidas con rosca. Riesgo=25

Fuente: Propio

Se puede resaltar que con las medidas planteadas, se reduciría el riesgo relativo de la amenaza sísmica para todas las estructuras. Esta reducción se justifica, porque estaría planteando eficacias altamente eficientes. Cabe aclarar que en la reconstrucción, para las tuberías, han considerado tubería de alta ductilidad (HD), aun las uniones siguen siendo vulnerables porque son uniones con espiga y campana. En este caso, su riesgo sería, también, alto (60).

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

## 5.1. CONCLUSIONES

### 5.1.1. Sistemas de agua.

1. El colapso del sistema de agua en el sur debido al terremoto del 2007 no es atribuible el cien por ciento al sismo. Influyeron principalmente los factores de material de la tubería, antigüedad, tipo de suelo, calidad de la construcción y la deficiente operación y mantenimiento en que se encontraban estos sistemas.
2. La fuente de abastecimiento subterráneo o superficial sufre una contaminación, producto de la vibración del suelo. En captación por galerías filtrantes, se agrieta las estructuras de concreto, como consecuencia, ingresa agua contaminada al sistema.
3. La línea de conducción con tubería frágil y de baja rigidez como el concreto reforzado, asbesto cemento o hierro fundido sufren daños severos. Las uniones tipo espiga campana con unión flexible se separan o comprimen en suelos blandos y saturados, porque se produce el fenómeno de licuación de suelos (zonas con napa alta con presencia de arena o cruce de canales de regadío). La tubería de hierro dúctil que cruza suelos compactos sin presencia de agua tiene un buen comportamiento.
4. En las estaciones de bombeo con accesorios de hierro fundido sufren daños por la rotura del hierro fundido. Las veredas sufren deformación por hundimiento o elevación. La estructura de concreto sufre daños menores como presencia de grietas en muros.
5. Los reservorios elevados con estructura de vigas y columnas (tipo pórticos) colapsa. Los reservorios apoyados sobre suelos firmes soportan satisfactoriamente las aceleraciones del suelo. Las tuberías, sean de ingreso o salida de hierro fundido sufren daños. Los sistemas de cloración no anclados o fijados sufren daños severos y quedan colapsados.
6. En las redes de distribución con tuberías de asbesto cemento o hierro fundido, sufren mayores daños que las tuberías de polivinilo de cloruro.

7. Las conexiones domiciliarias instalados con material de polivinilo de cloruro, unidas a presión con pegamento, sufren daños severos ya que se desprenden.
8. Aplicando la teoría del análisis de vulnerabilidad, se demostró que la amenaza del sismo en las condiciones en que se encontraba el sistema de agua de Pisco, antes del sismo, presentaba un riesgo relativo mucho mayor que las otras amenazas, como inundaciones o vandalismos. En la evaluación del riesgo, dio como resultado el rango del riesgo igual a uno para todos los componentes: captación, línea de conducción, estación de bombeo, reservorio de almacenamiento y redes de distribución.

#### **5.1.2. Sistemas de alcantarillado.**

1. Las redes de recolección de desagües con tuberías de material concreto simple normalizado (CSN) y que son antiguas, ya son tuberías corroídas en la parte del lomo del tubo, producto de la acción química de los sulfatos. Estas tuberías con el sismo terminan de colapsar por taponamiento de la tubería. Las tuberías de CSN con buen estado de conservación ubicada sobre suelos firmes, sin presencia de napa freática, presentan daños menores en un sismo.
2. Los tramos de colectores, ubicados sobre suelos blandos con arena y presencia de napa freática alta, sufren daños severos. Además, los buzones se elevan respecto del nivel de la rasante del terreno, causando la pérdida de la pendiente por donde el agua fluía a gravedad normalmente.
3. Las estaciones de bombeo que tengan accesorios en el árbol de descarga, con material de hierro fundido, se rompen. Los tableros no anclados o fijados se caen. Los transformadores colocados sobre postes de baja rigidez se caen.
4. En las plantas de tratamiento de aguas residuales, el talud de la laguna se agrieta, producto de la aceleración del suelo. Los cercos de protección se caen.

### 5.1.3. Conclusiones generales.

1. Desorganización de las personas, falta de liderazgo y organización son factores que hacen más crítica el manejo de la emergencia, como fue el caso en el sur. Una vez ocurrido el desastre, los responsables de manejar la emergencia abandonaron sus labores y se demoraron en restablecer las coordinaciones necesarias.
2. La calidad de los materiales de las tuberías y accesorios existentes y el procedimiento constructivo son un factor muy importante para que las estructuras no soporten las fuerzas sísmicas que se producen en un terremoto.
3. El apoyo de las demás EPS como es el caso de SEDAPAL hizo posible que el sistema se recupere en un menor tiempo. Si ellos solos hubieran afrontado el desastre, los daños hubiera sido mayor por la demora en restablecer el servicio de agua y alcantarillado.

---

## 5.2. RECOMENDACIONES

### 5.2.1. Sistemas de agua.

1. En toda población se debe considerar una fuente alternar o uso conjuntivo de las fuentes subterráneas y superficiales para que la población no se quede sin el elemento vital: el agua. Para ello, se debe diseñar y construir un sistema vital, antisísmica, que comprenda los siguientes componentes: captación, línea de conducción, reservorio, línea de aducción y redes primarias, hasta los sectores donde pueda llegar el agua y este ser distribuida mediante camiones cisterna u otro medio, mientras dure la rehabilitación de las redes de distribución y conexiones domiciliarias.
2. En la captación por galerías filtrantes, el cuerpo de los buzones debe tener un concreto con fibras para darle mayor resistencia a la tracción y evitar que fallen por tracción. Además, el cuerpo de los buzones deben tener un recubrimiento en la parte exterior por un geo textil impermeable, que impida el ingreso de agua sub-superficial contaminada.
3. Las tuberías debe ser de material de alta ductilidad (HDPE - HD). Lo suficiente para que permita realizar quiebres horizontal y vertical. Las uniones deben ser soldadas o bridadas.
4. Las tuberías de asbesto cemento y concreto reforzado son muy frágiles y no trabajan a tracción, razón por la cual colapsaron casi en todo los tramos que tenían este material. Por lo tanto, en las infraestructuras existentes deben remplazarse por otro material como el polietileno de alta densidad.
5. Se debe evitar conducir tuberías por suelos licuables. Si son necesarios, se debe diseñar con material que absorbe las vibraciones sísmicas, para ello emplearse tuberías de hierro dúctil con uniones bridadas o polietileno de alta densidad, con uniones soldadas por termo o electro-fusión.
6. No se debe construir reservorios elevados con estructuras de soporte de vigas y columnas. Estas colapsan con el terremoto. Se debe diseñar con soportes tipo anillos sólidos, ya que tiene una mayor rigidez y soportan las fuerzas sísmicas. Los sistemas de cloración deben estar bien ancladas o fijadas para evitar su caída. No se debe utilizar material de hierro fundido en tuberías y accesorios. Las existentes deben planificarse para su cambio.

7. En las redes de distribución, debe emplear tuberías con alta ductilidad, como el polietileno de alta densidad, unidas por fusión, sea termo o electro. La sectorización debe ser en función de la zona de peligro de la población. Esto le daría al sistema una mayor capacidad de resiliencia, ya que se aislaría más rápido la zona de peligro alto donde se espera daños severos.
8. Las conexiones domiciliarias deben ser de tuberías de alta ductilidad, como el polietileno de alta densidad. Estas deben unirse por medio de fusión o en su defecto, uniones roscadas.

### **5.2.2. Sistemas de alcantarillado.**

1. Las redes colectores deben ser tuberías de alta ductilidad. No se debe permitir el uso tuberías frágiles.
2. No se debe permitir construir sistemas de saneamiento sobre suelos blandos, con presencia de agua. Cuando ocurre la licuación, no importa el material de la tubería, los buzones se elevarán y se perderá la pendiente que permite funcionar el sistema.
3. Las estaciones de bombeo no deben tener accesorios de fierro fundido. Si las tuviera, se debe reemplazar. Los tableros deben ser anclados o fijados a estructuras fijas. En toda estación de bombeo se debe tener una fuente alterna de energía, puede ser un grupo electrógeno que se active cuando se corta la energía eléctrica.
4. En las plantas de tratamiento de agua residual, si son de lagunas formados por diques de tierra, estas deben tener un núcleo protegido con geo textil impermeable, para impedir la filtración de agua, que saldría por las grietas, que se puedan formar producto de la aceleración del suelo.

### 5.2.3. Recomendaciones Generales

1. Las EPS deben contar un plan actualizado de respuesta a la emergencia para atender los requerimientos que se necesitan para todos los eventos que se produzcan en su área de servicio.
2. Las EPS deben elaborar el análisis de vulnerabilidad de todos los componentes del sistema de agua y alcantarillado, que contempla todas las amenazas a presentarse en su área de servicio, la cual debe priorizar la minimización del riesgo para todos los eventos.
3. Las EPS o municipios que manejen el sistema de agua y saneamiento deben considerar un fondo para la renovación de las tuberías de concreto reforzado, asbesto cemento y concreto simple normalizado.
4. Las EPS deben establecer alianzas o convenios con las demás EPS para formar un comité de respuesta nacional que permita restablecer el sistema en un menor tiempo. Para ello, se debe modificar la ley general de presupuesto, para que las EPS puedan utilizar sus recursos. Actualmente se prohíbe y se considera malversación de fondos.
5. El Estado peruano debe considerar, dentro de su presupuesto anual, un fondo para gestión de riesgos y con ese recurso se debe capacitar y preparar a las EPS para que ellas mismas elaboren el análisis de vulnerabilidad, el plan de contingencias y el plan de respuesta a la emergencia, para todo tipo de amenazas y evitar así un mayor costo de reconstrucción.
6. El marco legal del reglamento nacional de edificaciones se debe modificar. Esta debe contemplar las infraestructuras sismo-resistentes del sistema de agua y saneamiento. Dado que la actual norma (E030) no contempla las infraestructuras de agua y desagüe, como reservorios, estaciones de bombeo, plantas de tratamiento e incluso áreas administrativas.
7. En los planes de estudio de las Universidades, en pre y pos grado, se debe considerar dictar cursos orientados a diseños de infraestructuras antisísmicas de agua y saneamiento, así como, también, la elaboración y simulación de los análisis de vulnerabilidad, los planes de contingencia y plan de respuesta a la emergencia.
8. El ente supervisor del servicio SUNASS debe asesorar y supervisar la elaboración y actualización de los: análisis de vulnerabilidad, plan de

contingencia y planes de respuesta a la emergencia, con una correcta simulación y aplicación.

9. La concepción, ubicación, análisis estructural, diseño, construcción y supervisión de las obras de saneamiento deben realizarse por profesionales capacitados y con experiencia y, sobre todo, con una conducta ética profesional.

**CAPÍTULO VI**

**ANEXOS**

## 6.1. REFERENCIAS

Kuroiwa, J. (2002) *Reducción de Desastres, Viviendo en Armonía con la Naturaleza*. (1ª Edición). Lima-Perú.

Martin, S. (2008) *Nuevo Manual de Instalaciones de Fontanería y Saneamiento*. (3ª Edición). Vicente Ediciones. Madrid-España

Acuña, G. (2002) *Análisis de vulnerabilidad y mitigación de desastres naturales en sistema de agua potable y alcantarillado de EMAPA CAÑETE S.A.* Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Zamora, W. (2000) *Análisis de vulnerabilidad, plan de mitigación y plan de emergencia del sistema de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Tarma*. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Rivera, E. (2001) *Experiencia de operación de la EPS NASCA durante la emergencia por el terremoto de 1996, guía para la elaboración de un plan de emergencia*. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Salinas, V. (2002) *Plan de emergencia EPS Tacna*. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Camposano, S. (1996). *Plan operativo de emergencia para situación de desastres región sur*. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Martínez, O. (1995) *Vulnerabilidad a los desastres naturales de los sistemas de agua y alcantarillado de la ciudad de Tumbes*. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Sanitario. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

KANSAS DEPARTMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENT (2003) “*Simplified Vulnerability Assessment Tool for Drinking Water*”

PROGRAMA DE AGUA Y SANEAMIENTO: DOCUMENTO TÉCNICO 63267 (2010) “*Impacto económico del terremoto de 2007 en el sector de agua potable y saneamiento en cuatro provincias del Perú*” Lima Perú.

[www.cismid.uni.edu.pe/articulos/proy-01.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/articulos/proy-01.pdf)

[www.forsur.gob.pe](http://www.forsur.gob.pe)

[www.sunass.gob.pe](http://www.sunass.gob.pe)

[www.flowtite.com.co](http://www.flowtite.com.co)