

Publicación especial 1190GB-4A de NIST

**Informe de Referencia 4A:
Ejemplo para determinar el desempeño
previsto**

Esta publicación está disponible de forma gratuita
en el siguiente sitio web:
<http://doi.org/10.6028/NIST.SP.1190GB-4A>

Publicación especial 1190GB-4A de NIST

Informe de Referencia 4A

Ejemplo para determinar el desempeño previsto

Esta publicación está disponible de forma gratuita en el siguiente sitio web:
<http://doi.org/10.6028/NIST.SP.1190GB-4A>

Septiembre de 2016



Departamento de Comercio de los Estados Unidos
Penny Pritzker, secretaria

Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
Willie May, subsecretario de comercio de Estándares y Tecnología y director

Es posible que se nombren ciertas entidades comerciales, equipos o materiales en el presente documento para describir un procedimiento o un concepto experimental de manera adecuada. El propósito de tal identificación no es sugerir la recomendación o el respaldo por parte del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, ni tampoco indicar que las entidades, los materiales o los equipos son necesariamente la mejor opción disponible para lograr el objetivo.

Publicación especial 1190GB-4A a nivel nacional del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
Publicación especial del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología 1190GB-4A, 22 páginas
(septiembre de 2016)
CODEN: NSPUE2

Esta publicación está disponible de forma gratuita en el siguiente sitio
web: <http://doi.org/10.6028/NIST.SP.1190GB-4A>

Informe de Referencia 4A: Ejemplo para determinar el desempeño previsto

Sección(es) correspondiente(s)
de la Guía:

Volumen 1, Final de la Sección 4.1.4, Determinar el desempeño previsto, p.
46

Los Informes de Referencia complementan la Guía de Planificación de Resiliencia Comunitaria para Edificios y Sistemas de Infraestructura (NIST SP1190)

1. Objetivo y alcance



Este Informe de Referencia ofrece un ejemplo sobre cómo determinar el desempeño previsto de los sistemas hidrológicos y de aguas residuales ante un terremoto o un tsunami. La metodología se puede aplicar a todos los sistemas de infraestructura. El ejemplo demuestra la información que se necesita para completar las tablas de objetivos de desempeño y determinar el desempeño previsto del sistema para los grupos de edificios y los sistemas de infraestructura de apoyo. Este Informe de Referencia está diseñado para que se lea de manera conjunta con el Informe de Referencia 4, *Determinar el desempeño previsto*. También se puede aplicar con la Sección 16 del Volumen II de la Guía.

El ejemplo trata sobre la comunidad ficticia de Shady Grove, Oregón. La situación hipotética del peligro es un terremoto de subducción de magnitud (M_w) 9.0 y un tsunami. Este evento se considera un terremoto de “diseño” con un período de retorno de 500 años.¹

Los usuarios previstos de este Informe de Referencia son ingenieros que conozcan el funcionamiento de la infraestructura que se está evaluando y los posibles efectos de los peligros que se están analizando.

2. Datos de los peligros, las instalaciones y las tuberías

El primer paso consiste en caracterizar los peligros y las instalaciones. Las Figuras 1 a la 4 muestran los peligros de inundación por tsunami, temblores, licuefacción y deslizamiento de tierras en mapas de comunidades superpuestos con las instalaciones y tuberías de agua y aguas residuales. Las Tablas 1 y 2 ofrecen más información sobre las características de las instalaciones y tuberías.

La Figura 1 traza un mapa de los peligros y las instalaciones. Los peligros incluyen los siguientes:

- Inundación por tsunami (línea roja)
- Licuefacción inducida por terremotos (sombreado transversal descendente)

¹ Este ejemplo lo preparó originalmente el Departamento del Agua de Portland (PWB, Portland Water Bureau) para utilizarlo como parte de una situación hipotética de ejercicio de la Red de Respuesta de la Agencia de Agua/Aguas Residuales de Oregón (ORWARN, Oregon Water/Wastewater Agency Response Network). Es una obra de ficción.

- Deslizamiento de tierra inducido por terremotos (sombreado transversal ascendente)
- Movimiento de la tierra por terremotos (no representado)
 - Aceleración máxima del suelo (PGA, Peak Ground Acceleration): $0,33 g_n$ (donde g_n representa la aceleración debido a la gravedad) en toda la comunidad
 - Velocidad máxima del suelo (PGV, Peak Ground Velocity): 54,9 cm/s (21,6 in/s) en toda la comunidad
 - Desplazamiento máximo del suelo (PGD, Peak Ground Displacement): varía según la zona (ver Tablas 3 y 4)

Las instalaciones de servicios de agua incluyen las siguientes:

- Planta de tratamiento de aguas (W en un cuadrado azul)
- Pozos 1 al 6 (W en un círculo azul); los pozos 2 y 4 tienen generadores de reserva
- Tanques de almacenamiento 1 al 4 (T en un círculo azul)
- Depósito de almacenamiento (Y en un cuadrado azul)

Las instalaciones del sistema de aguas residuales incluyen las siguientes:

- Planta de tratamiento del alcantarillado (S en cuadrado verde)
- Estaciones de bombeo 1 y 2 (P en un círculo verde)
- Depósito de almacenamiento (Y en un cuadrado verde)

Las siguientes figuras y tablas ofrecen más información sobre los componentes del sistema:

- La Figura 2 proporciona información sobre la antigüedad y el tipo de desarrollo del área de servicios. Esta información ayuda a evaluar la antigüedad de las instalaciones que atienden dichas áreas. El desarrollo original de la ciudad y el desarrollo de mediados de siglo tuvieron lugar antes de la década de 1980, y el desarrollo reciente se realizó después de 1995. Esta información resulta conveniente para identificar los estándares de diseño utilizados en varias partes de la comunidad.
- La Figura 3 muestra el sistema de agua, lo que incluye tuberías diferenciadas según el material y el diámetro.
- En la Figura 4, el alcantarillado y los sistemas de desagüe pluvial contienen tuberías diferenciadas según el diámetro. En este ejemplo, todas las tuberías de cada sistema son del mismo material. Se debe utilizar esta información para evaluar la fragilidad de la tubería.
- La Tabla 1 muestra las instalaciones de los sistemas de agua y de aguas residuales con el material, fecha de construcción y otros componentes. Esta información ayuda a evaluar la vulnerabilidad de la instalación con respecto a su fecha de construcción y el código de edificación relacionado.
- La Tabla 2 muestra el largo y el material de las tuberías de los sistemas de agua y de aguas residuales según la zona de peligro.

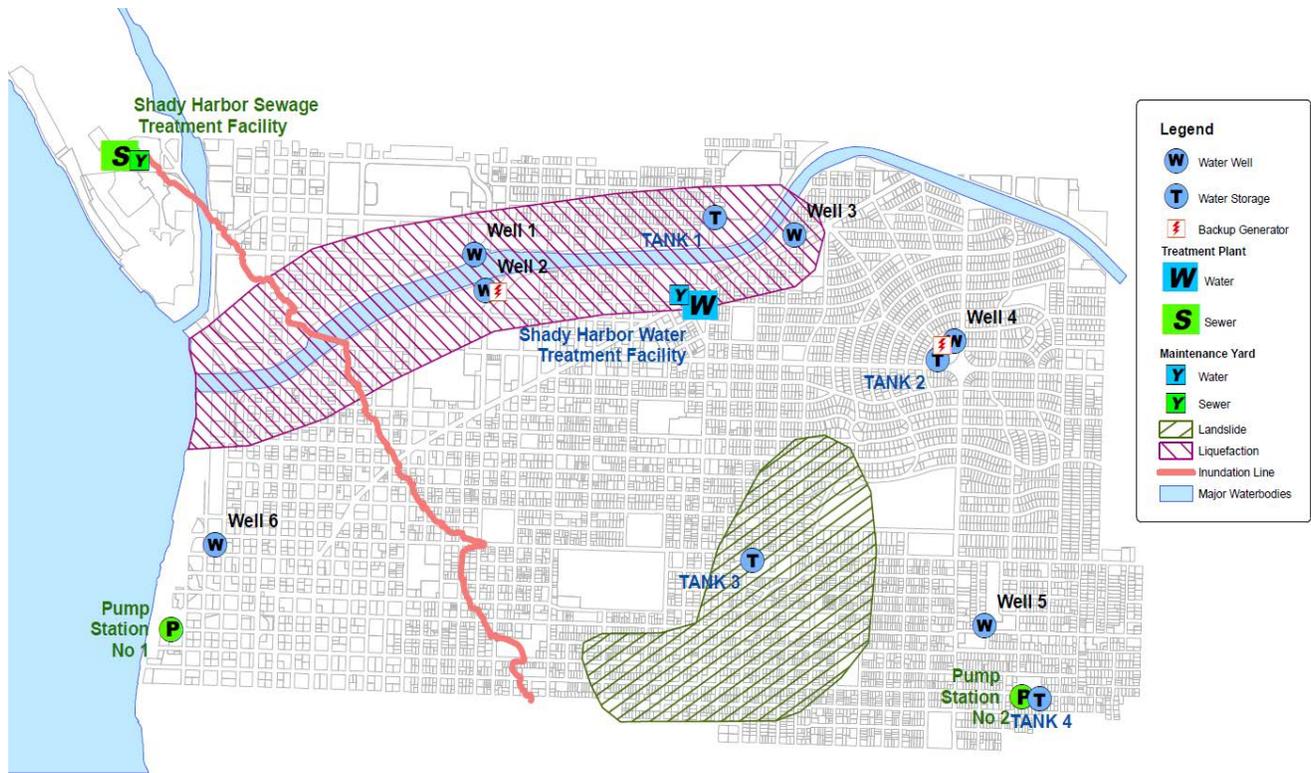


Figura 1. Muelle de Shady, Oregon, instalaciones y peligros del suministro de agua y aguas residuales [Exposición ante conferencia de la ORWARN, Seaside, Oregon 24 de septiembre de 2012]

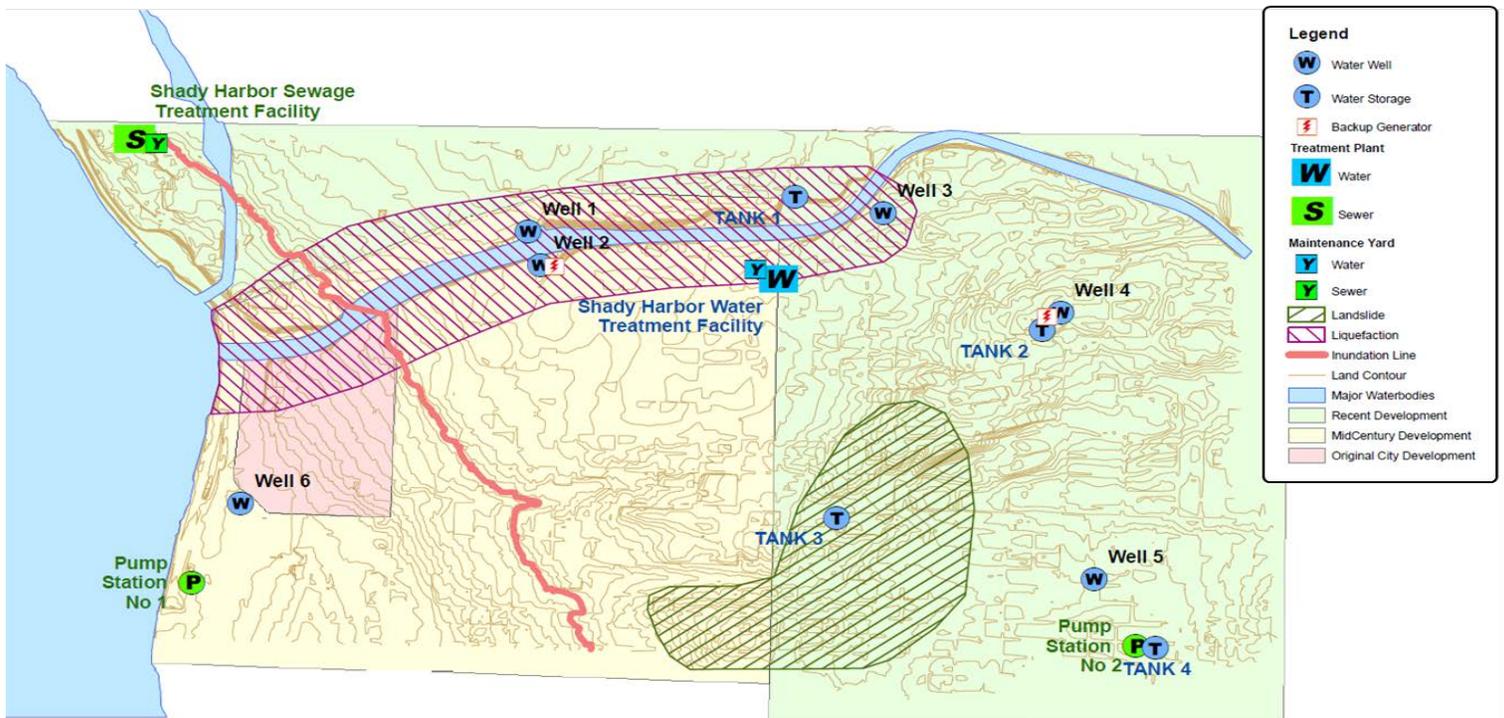
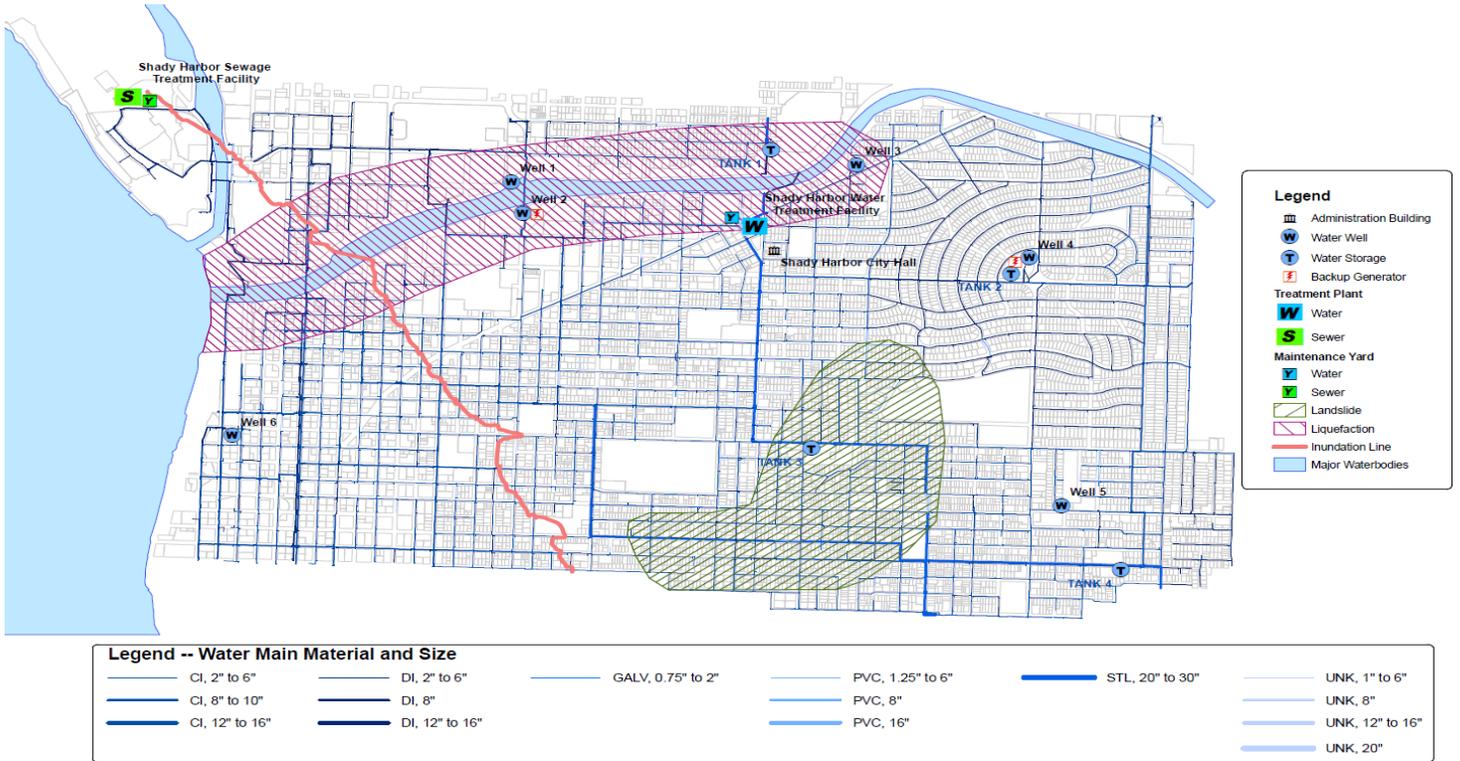
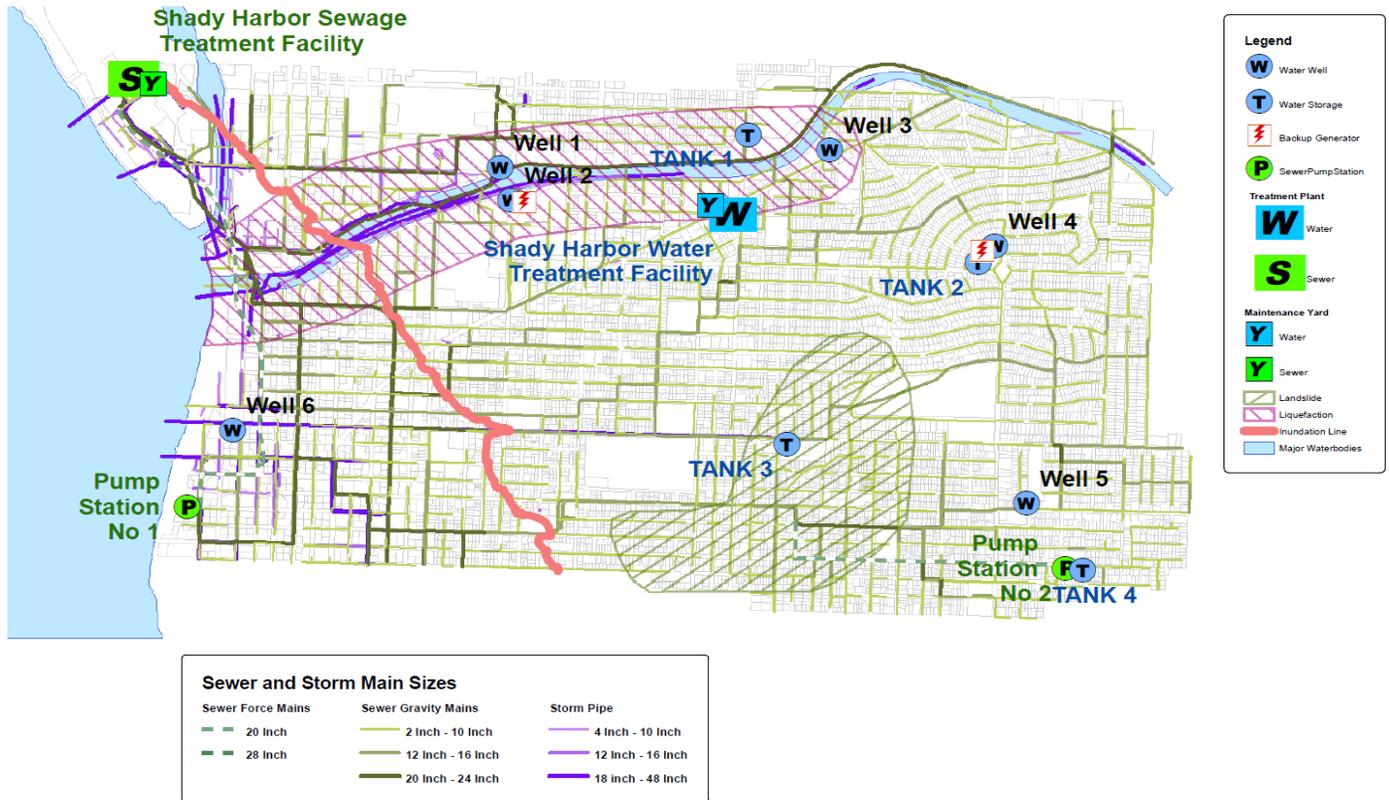


Figura 2. Épocas de desarrollo [Exposición ante conferencia de la ORWARN, Seaside, Oregon 24 de septiembre de 2012]



Conversiones: 1 in (pulgada) = 2,54 cm

Figura 3. Sistema de suministro de agua [Exposición ante conferencia de la ORWARN, Seaside, Oregon 24 de septiembre de 2012]



Conversiones: 1 in (pulgada) = 2,54 cm

Figura 4. Sistema de alcantarillado y desagüe pluvial [Exposición ante conferencia de la ORWARN, Seaside, Oregon 24 de septiembre de 2012]

Tabla 1. Instalaciones de los sistemas de agua y de aguas residuales (alcantarillado) con el material, fecha de construcción y otros componentes

Conversiones: 1 MGD = 3,79 ML/día 1 MG = 3,79 ML

Instalación	Material	Fecha de construcción	Comentarios
Sistema de agua del muelle de Shady			
Planta de tratamiento de aguas			6 millones de galones por día (MGD)
Edificio de control	Unidad de mampostería de concreto	1982	
Tubo de admisión	Tubo de hierro dúctil	1982	
Floculación	Cubeta de concreto fabricada in situ	1982	
Coagulación	Cubeta de concreto fabricada in situ	1982	
Sedimentación	Cubeta de concreto fabricada in situ	1982	
Filtración	Cubeta de concreto fabricada in situ	1982	
Tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio	Tanque de plástico	1982	
Tanque de floculación (sílice activada)	Tanque de acero a nivel del suelo	1982	Muy corroído
Tanque de retrolavado de filtro	Tanque de plástico	1982	Tanque de acero oxidado reemplazado
Depósito de almacenamiento	Edificio de metal con revestimiento de metal	1985	
Pozos			
Pozo n.º 1		1976	Sumergible
Pozo n.º 2		1981	Turbina
Pozo n.º 3		2005	Turbina
Pozo n.º 4		1941	Turbina
Pozo n.º 5		1930	Sumergible
Pozo n.º 6		1976	Sumergible
Tanques			
Tanque n.º 1	Elevado, acero	1980	0,5 millones de galones (MG)
Tanque n.º 2	Concreto pretensado	2000	1 MG
Tanque n.º 3	Acero, a nivel del suelo	1960	1,5 MG
Tanque n.º 4	De concreto fabricado in situ	2002	1,0 MG
Pasos de ríos en puentes			
Paso de río n.º 1 (aguas abajo)	En puentes	1976	No se consideró la licuefacción
Paso de río n.º 2 (centro)	En puente	1995	Se consideró la licuefacción en el diseño
Paso de río n.º 3 (aguas arriba)	En puente	2003	Se consideró la licuefacción en el diseño
Sistema de agua del muelle de Shady			
Planta de tratamiento de aguas residuales			6,0 MGD
Edificio de control	Unidad de mampostería de concreto	1979	
Tubería afluente	Tubo de hierro dúctil	1970	
Desarenadores	De concreto fabricado in situ	1950	
Clarificador primario	Acero circular	1970	
Tratamiento secundario/cámaras de reacción	De concreto fabricado in situ	1990	
Edificio con soplador/bomba		1990	
Tanque de desinfección/elevación		1995	
Tanques de desinfección	De concreto fabricado in situ	1980	
Desembocadura		1970	
Almacenaje de combustible in situ	Acero horizontal suspendido	1950	
Depósito de almacenamiento	Unidad de mampostería de concreto	1970	
Estaciones de bombeo (PS, por sus siglas en inglés)			
Estación de bombeo n.º 1	Mampostería de concreto fabricada in situ no reforzada y suspendida	1950	Pozo húmedo
Estación de bombeo n.º 2		1980	Sumergible

Tabla 2. Material y longitud (pies) de la tubería del sistema de agua y el alcantarillado según la zona de peligro

Conversiones: 1 pie = 0,3048 m

Agua					
Materiales de los tubos	Total	Inundación	Deslizamiento de tierra	Licuefacción	PGV
Fundición (CI, Cast Iron)	267 012	101 629	34 075	35 795	95 513
Fundición dúctil (DI, Ductile Iron)	91 374	25 271	8944	14 614	42 545
Acero (STL, steel)	10 889	0	5150	1072	4667
Total	369 275	126 900	48 169	51 481	142 725
Aguas residuales					
Tuberías por gravedad	Total	Inundación	Deslizamiento de tierra	Licuefacción	PGV
Fundición (CI)	99 100	0	16 000 (1)	18 000 (1)	65 100 (1)
Concreto	149 618	50 518	16 000 (1)	18 000 (1)	65 100 (1)
PVC	138 356	39 256	16 000 (1)	18 000 (1)	65 100 (1)
Total	387 074	89 774	48 000	54 000	195 300
Tuberías de impulsión	Total	Inundación	Deslizamiento de tierra	Licuefacción	PGV
Fundición dúctil (DI)	6900	2000	1500	2000	1400

Nota (1): estimación a partir de los datos disponibles.

3. Resumen y evaluación del sistema de agua y de aguas residuales

Dados los datos de los peligros, las instalaciones y las tuberías, se evalúan las vulnerabilidades de los sistemas de agua y aguas residuales. Las Tablas 3 y 4 resumen la información disponible de los sistemas de agua y de aguas residuales. En algunos casos, se hacen suposiciones acerca del tipo de construcción y las fallas de las tuberías. Asumimos que la persona que evalúa el sistema por lo general conoce el peligro en particular y los distintos efectos que tiene sobre el sistema en particular.

Los encabezados de la columnas de las Tablas 3 y 4 son los siguientes:

- **Instalación y descripción:** como se indica.
- **Consecuencia:** según la capacidad que le brinda el componente especificado al sistema en general. Este descriptor solo se utiliza para dar una idea general de la importancia relativa de la instalación.
- **Energía de emergencia:** como se indica.
- **PGA/PGV y PGD:** intensidades del peligro de terremoto. Las tablas de evaluación muestran los valores de la aceleración máxima del suelo (PGA) o velocidad máxima del suelo (PGV) y el desplazamiento máximo del suelo (PGD). Esta información se debería poder obtener del USGS y los departamentos de estado de geología. La PGV se convirtió en unidades de in/s para su uso en ecuaciones de falla de tuberías.
- **Valor K de la tubería:** según el material de los tubos de la Alianza Estadounidense de Líneas Vitales (ALA, American Lifelines Alliance). Los valores K se pueden modificar hacia arriba para abordar la condición de la tubería degradada por la corrosión.
- **Inundación, licuefacción, deslizamiento de tierra:** obtenidos de los mapas de los sistemas.
- **Fecha de construcción:** de la zona del pueblo/antigüedad del desarrollo y otros datos supuestos.
- **Tubería:** fallas estimadas de las ecuaciones ALA en la parte inferior de la tabla y el porcentaje de la zona que se licuará o se verá afectado por el deslizamiento de tierras.

- **Tipo de construcción:** suministrado previamente o supuesto.
- **Fallas de la tubería:** estimadas mediante relaciones de ALA en la parte inferior de la tabla.
- **Estado del daño:** según los comentarios de la tabla.

SOMBREADO ROJO: las celdas sombreadas con rojo indican el peligro determinante (PGA, PGV, PGD) o los datos que permiten que el evaluador logre la conclusión indicada.

3.1. Resumen y evaluación del sistema de agua

La evaluación del sistema de agua se resume utilizando las filas de la Tabla 3 y las explicaciones adicionales de la siguiente manera:

- **Planta de tratamiento de aguas:** instalación general fuera de servicio debido a un tubo de admisión dañado.
- **Edificio de control/laboratorio:** se construyó en 1980, antes de los requisitos significativos del código de diseño ante sismos de Oregón que se implementaron recién a mediados de la década de 1990. Esto le otorgaría una designación de “Código bajo” en Hazus (ver el Manual técnico de Hazus, Capítulo 5).

El edificio se construyó con unidades de mampostería de cemento ligeramente reforzadas (CMU, cement masonry units), lo que le asigna un tipo de edificación URML (muro de carga de mampostería no reforzado). Mediante el uso de la Tabla 5.16c Fragilidad estructural equivalente a PGA - Código bajo, nivel de diseño sísmico, sujeta a un nivel de temblor de $0,33 g_n$, el edificio sufriría un daño “considerable”. Su estado de daño implica que no se podría utilizar pero se podría reparar.

- **Tubo de admisión:** presenta daños debido a una licuefacción/dispersión lateral.
- **Tubería de la planta:** como se indica.
- **No estructural:** como se indica.
- **Depósito de mantenimiento:** edificios con estructura de acero resistente a momentos/reforzados. Correspondería al tipo de edificio S1L/S2L de Hazus. El edificio se construyó en 1985, por lo que aún se considera de Código bajo en Oregón. Mediante el uso de la Tabla 5.16c de Hazus, se determina que el edificio sufriría un daño “considerable” con un movimiento del suelo de $0,33 g_n$.
- **Pozos 1 al 3:** se asume que si el revestimiento de los pozos sufre PGD de 61,0 cm (24 in) se doblaría de manera lateral y se volverían inoperables.
- **Pozos 4 y 5:** los cobertizos de los pozos están hechos de mampostería no reforzada (URM). Se consideran diseños anteriores al código. Mediante el uso de la Tabla 5.16d de Hazus, se puede estimar que una estructura URML prácticamente colapsaría si se somete a $0,33 g_n$.
- **Pozo 6:** contaminado por inundación de agua salada (al igual que muchos pozos tras el terremoto de Japón de 2011).
- **Tanque 1:** licuefacción, pérdida del revestimiento de los cimientos.
- **Tanque 2:** este tanque se construyó en 2000, está hecho de concreto con alambre enrollado y tiene asignada una etiqueta Hazus de PST1, Sujeto al suelo. Se esperaría que sufra solo daños leves cuando se lo somete a un temblor de $0,33 g_n$.
- **Tanque 3:** este tanque se construyó en 1960 y se categorizó en Hazus como PST4, Acero no sujeto al suelo. También se ve afectado por un PGD de 30 cm (12 in) PGD debido al deslizamiento de tierras. Al observar la Tabla 8.9 del Manual técnico de Hazus, los algoritmos de daño de los tanques de almacenamiento de agua de PST4 indican un daño moderado si se someten a un temblor de $0,33 g_n$. Sin embargo, se asume que el PGD provocará que el tanque sea inoperable.
- **Tanque 4:** es similar al tanque 2, excepto que solo sufriría un daño leve debido a que se construyó con concreto fabricado in situ.
- **Paso de río n.º 1 (aguas abajo):** ubicado en el puente. Este puente colapsaría debido a fallas de los soportes a causa de una licuefacción. El cruce de la línea de agua falló.
- **Paso de río n.º 2 (centro):** ubicado en el puente. El puente y la tubería principal de agua permanecen intactos.

- **Paso de río n.° 3 (aguas arriba):** ubicado en el puente. El puente y la tubería principal de agua permanecen intactos.
- **Tubería:** se estiman daños conforme a las ecuaciones de la ALA que se muestran en la parte inferior de la tabla.

3.2. Evaluación del sistema de aguas residuales (alcantarillado)

La planta de tratamiento de aguas residuales (WWTP, por sus siglas en inglés) y la estación de bombeo n.° 1 se encuentran en la zona de inundación por tsunamis. En el terremoto de subducción de Japón de 2011, la WWTP se inundó y se dañó completamente. Las tuberías y los equipos suspendidos fueron arrancados de los cimientos. La estación de bombeo efluente se vio afectada por un muro de agua de una altura de 33 pies (10 m), lo que dobló el concreto reforzado exterior hacia el interior de la pared.

La evaluación del sistema de aguas residuales se resume en la Tabla 4 con las siguientes explicaciones adicionales:

- **Planta de tratamiento de aguas residuales:** daño total debido a tsunamis.
- **Estación de bombeo n.° 1:** daño total debido a tsunamis.
- **Estación de bombeo n.° 2:** la estación de bombeo se encuentra fuera de la zona de inundación. La estación de bombeo sumergible es resistente por naturaleza cuando se ve sometida a movimientos del suelo por terremotos.

Se estiman daños en la tubería del sistema de recolección y del sistema pluvial mediante las ecuaciones de la ALA que se muestran en la parte inferior de la tabla o tal como se dispone en la tabla.

Tabla 3. Resumen y evaluación del sistema de agua (las celdas sombreadas con rojo indican el peligro determinante [PGA, PGV, PGD] o los datos que permiten que el evaluador logre la conclusión indicada con respecto al estado del daño).

Conversiones: 1 MGD = 3,79 ML/día 1 MG = 3,79 ML 1 in = 2,54 cm 1 in/s = 2,54 cm/s

Instalación	Descripción	Consecuencia	Energía de emergencia	PGA (% de gravedad), PGV (in/s)	PGD	Valor K de la tubería
Planta de tratamiento de aguas	3 MGD	0,5	Sí	33%		
Edificio de control				33%		
Tubo de admisión	Río abajo			33%	36 in	
Tanques de proceso				33%		
Tubería de la planta				33%		
No estructural				33%		
Depósito de almacenamiento				33%	12 in	
Pozos				33%		
Pozo n.º 1	Sumergible	0,1	No	33%	24 in	
Pozo n.º 2	Sumergible	0,1	Sí	33%	24 in	
Pozo n.º 3	Turbina	0,1	No	33%	24 in	
Pozo n.º 4	Turbina	0,1	Sí	33%		
Pozo n.º 5	Turbina	0,1	No	33%		
Pozo n.º 6	Sumergible	0,1	No	33%		
Tanques				33%		
Tanque n.º 1	0,5 MG	0,125		33%	24 in	
Tanque n.º 2	1 MG	0,25		33%		
Tanque n.º 3	1,5 MG	0,375		33%	12 in	
Tanque n.º 4	1,0 MG	0,25		33%		
Pasos de puentes						
Paso de puente n.º 1	12 in	0,1		33%	24 in	
Paso de puente n.º 2	12 in	0,1		33%	24 in	
Paso de puente n.º 3	12 in	0,1		33%	24 in	

Nota 1

Tasa de reparación para propagación de ondas	$RR = K \times 0,00187 \times PGV$	donde PGV está expresada en pulgadas/segundo
Tasa de reparación para PGD	$RR = K \times 1,06 PGD^{0,319}$	donde PGD está expresado en pulgadas
Tasa de reparación para PGD	Se asume que el 25% de las zonas de licuefacción/deslizamiento de tierras que se trazaron en mapas se ven afectados por el PGD	

Tabla 3. Resumen y evaluación del sistema de agua (las celdas sombreadas con rojo indican el peligro determinante [PGA, PGV, PGD] o los datos que permiten que el evaluador logre la conclusión indicada con respecto al estado del daño) (continuación)

Conversiones: 1 MGD = 3,79 ML/día 1 MG = 3,79 ML 1 in = 2,54 cm 1 in/s = 2,54 cm/s

Instalación	Descripción	Consecuencia	Energía de emergencia	PGA (% de gravedad), PGV (in/s)	PGD	Valor K de la tubería
Tuberías (Nota 1)						
CI	95 513			21,6 in/s		1
CI	101 629			21,6 in/s		1
CI – 25% PGD	8949				12 in	1
CI – 75% no PGD	26 846			21,6 in/s		1
CI – 25% PGD	8519				12 in	1
CI – 75% no PGD	25 556			21,6 in/s		1
DI	42 545			21,6 in/s		0,5
DI	25 271			21,6 in/s		0,5
DI – 25% PGD	3654				12 in	0,5
DI – 75% no PGD	10 961			21,6 in/s		0,5
DI – 25% PGD	2236				12 in	0,5
DI – 75% no PGD	6708			21,6 in/s		0,5
STL	4667			21,6 in/s		0,3
STL	0			21,6 in/s		0,3
STL – 25% PGD	268				12 in	0,3
STL – 75% no PGD	804			21,6 in/s		0,3
STL – 25% PGD	1288				12 in	0,3
STL – 75% no PGD	3863			21,6 in/s		0,3
Falla total de la tubería						

Nota 1

Tasa de reparación para propagación de ondas	$RR = K \times 0,00187 \times PGV$	donde PGV está expresada en pulgadas/segundo
Tasa de reparación para PGD	$RR = K \times 1,06 PGD^{0,319}$	donde PGD está expresado en pulgadas
Tasa de reparación para PGD	Se asume que el 25% de las zonas de licuefacción/deslizamiento de tierras que se trazaron en mapas se ven afectados por el PGD	

Tabla 3. Resumen y evaluación del sistema de agua (las celdas sombreadas con rojo indican el peligro determinante [PGA, PGV, PGD] o los datos que permiten que el evaluador logre la conclusión indicada con respecto al estado del daño) (continuación)

Conversiones: 1 MGD = 3,79 ML/día 1 MG = 3,79 ML 1 in = 2,54 cm 1 in/s = 2,54 cm/s

Instalación	Inundación	Licuefacción	Deslizamiento de tierra	Fecha de construcción/tasa de reparación de la tubería ¹	Tipo de construcción/fallas de la tubería	Estado del daño
Planta de tratamiento de aguas	No	No	No	1982		Planta inoperable debido a daños en el tubo de admisión
Edificio de control	No	No	No	1982	Unidad de mampostería de concreto ligeramente reforzada (CMU)	Daños graves
Tubo de admisión	No	Sí	No	1982	Tubo de hierro dúctil (DIP, por sus siglas en inglés)	Cortado debido a licuefacción/dispersión lateral
Tanques de proceso	No	No	No	1982	Cubetas de concreto fabricadas in situ (CIP, por sus siglas en inglés)	OK
Tubería de la planta	No	No	No	1982	DIP, reforzado de manera inadecuada	Varios rebordes rotos en las conexiones del equipo
No estructural	No	No	No	1982	Sujeto incorrectamente	El movimiento del equipo daña las conexiones
Depósito de almacenamiento	No	Sí	No	1985	Estructura de acero reforzada/resistente a momentos	Daño considerable, Tabla 5.16c de Hazus
Pozos						
Pozo n.º 1	No	Sí	No	1976	CMU reforzada de manera inadecuada	Revestimiento doblado, sin energía, no funcional, CMU del edificio agrietada, etiqueta roja
Pozo n.º 2	No	Sí	No	1981	CMU reforzada de manera inadecuada	Revestimiento doblado, sección sumergible continúa funcionando con energía de emergencia, CMU del edificio agrietada, etiqueta roja
Pozo n.º 3	No	Sí	No	2005	CMU reforzada	Revestimiento doblado, sin energía, no funcional, edificio OK
Pozo n.º 4	No	No	No	1941	Mampostería no reforzada (URM, por sus siglas en inglés)	El revestimiento colapsa debido a la corrosión, el edificio colapsa
Pozo n.º 5	No	No	No	1930	URM	Pozo OK, cobertizo de la bomba colapsado
Pozo n.º 6	Sí	No	No	1976	CMU reforzada de manera inadecuada	Pozo contaminado, inutilizable
Tanques						
Tanque n.º 1	No	Sí	No	1980	Elevado, acero	Se colapsa debido a fallas en los cimientos y en la estructura de soporte
Tanque n.º 2	No	No	No	2000	Tanque de concreto con alambre enrollado	OK
Tanque n.º 3	No	No	Sí	1960	Acero, a nivel del suelo	El tanque se desplaza en el sitio, rocas en los cimientos, roturas en la tubería de conexión, combas
Tanque n.º 4	No	No	No	2002	Concreto CIP	OK
Pasos de puentes						
Paso de puente n.º 1	Sí	Sí	No	1976	DIP apoyado en el puente	El puente colapsó debido a tsunamis y la rotación de los soportes como resultado de la licuefacción
Paso de puente n.º 2	No	Sí	No	1995	DIP apoyado en el puente	El puente sigue siendo funcional

Paso de puente n.º 3	No	Sí	No	2003	DIP apoyado en el puente	El puente sigue siendo funcional
-------------------------	----	----	----	------	--------------------------	----------------------------------

Nota 1

Tasa de reparación para propagación de ondas	$RR = K \times 0,00187 \times PGV$	donde PGV está expresada en pulgadas/segundo
Tasa de reparación para PGD	$RR = K \times 1,06 PGD^{0,319}$	donde PGD está expresado en pulgadas
Tasa de reparación para PGD	Se asume que el 25% de las zonas de licuefacción/deslizamiento de tierras que se trazaron en mapas se ven afectados por el PGD	

Tabla 3. Resumen y evaluación del sistema de agua (las celdas sombreadas con rojo indican el peligro determinante [PGA, PGV, PGD] o los datos que permiten que el evaluador logre la conclusión indicada con respecto al estado del daño) (continuación)

Conversiones: 1 MGD = 3,79 ML/día 1 MG = 3,79 ML 1 in = 2,54 cm 1 in/s = 2,54 cm/s

Instalación	Inundación	Licuefacción	Deslizamiento de tierra	Fecha de construcción/tasa de reparación de la tubería ¹	Tipo de construcción/fallas de la tubería	Estado del daño
Tuberías (Nota 1)				Tasa de reparación de la tubería ¹	Fallas de la tubería	
CI	No	No	No	0,4	3,9	
CI	Sí			0,4	4,1	La tubería de la zona de inundaciones está bien, pero todas las instalaciones circundantes están gravemente dañadas
CI – 25% PGD		Sí		0,59	5,2	
CI – 75% no PGD		No		0,04	1,1	
CI – 25% PGD			Sí	0,59	5,0	
CI – 75% no PGD			No	0,04	1,0	
DI				0,02	0,9	
DI	Sí			0,02	0,5	La tubería de la zona de inundaciones está bien, pero todas las instalaciones circundantes están gravemente dañadas
DI – 25% PGD		Sí		0,29	1,1	
DI – 75% no PGD		No		0,02	0,2	
DI – 25% PGD			Sí	0,29	0,7	
DI – 75% no PGD				0,02	0,1	
STL				0,01	0,1	
STL	Sí			0,01	0,0	La tubería de la zona de inundaciones está bien, pero todas las instalaciones circundantes están gravemente dañadas
STL – 25% PGD		Sí		0,18	0,0	
STL – 75% no PGD		No		0,01	0,0	
STL – 25% PGD			Sí	0,18	0,2	
STL – 75% no PGD			No	0,01	0,0	
Falla total de la tubería					24,1	Alrededor del 50% de las fallas son filtraciones y el resto son roturas.

Nota 1

Tasa de reparación para propagación de ondas	$RR = K \times 0,00187 \times PGV$	donde PGV está expresada en pulgadas/segundo
Tasa de reparación para PGD	$RR = K \times 1,06 PGD^{0,319}$	donde PGD está expresado en pulgadas
Tasa de reparación para PGD	Se asume que el 25% de las zonas de licuefacción/deslizamiento de tierras que se trazaron en mapas se ven afectados por el PGD	

Tabla 4. Resumen y evaluación del sistema de aguas residuales (las celdas sombreadas con rojo indican el peligro determinante [PGA, PGV, PGD] o los datos que permiten que el evaluador logre la conclusión indicada con respecto al estado del daño).

Conversiones: 1 MGD = 3,79 ML/día 1 MG = 3,79 ML 1 in = 2,54 cm 1 in/s = 2,54 cm/s 1 pie = 0,3048 m

Instalación	Descripción	Consecuencia	Energía de emergencia	PGA (% de gravedad), PGV (in/s)	PGD	Valor K de la tubería
Planta de tratamiento de aguas residuales	3 MGD	1		33%		
Edificio de control				33%		
Tubería afluyente	Tubo de hierro dúctil (DIP)			33%	12 in	
Desarenadores				33%		
Clarificador primario				33%		
Tratamiento secundario/cámaras de reacción				33%		
Edificio con soplador/bomba				33%		
Tanque de desinfección/elevación				33%		
Tanques de desinfección				33%		
Desembocadura				33%		
Almacenaje de combustible in situ				33%		
Depósito de almacenamiento				33%		
Estaciones de bombeo				33%		
PS n.º 1	Pozo húmedo/pozo seco	0,25	Sí	33%		
PS n.º 2	Sumergible	0,25	Sí	33%		
Recolección (Nota 1)						
Tuberías principales DIP	1400 pies			21,6 in/s		0,5
Tuberías principales DIP	2000 pies			21,6 in/s		0,5
Tuberías principales DIP 25% PGD	500 pies				12 in	0,5
Tuberías principales DIP 75% no PGD	1500 pies			21,6 in/s		0,5
Tuberías principales DIP 25% PGD	375 pies				12 in	0,5
Tuberías principales DIP 75% no PGD	1125 pies			21,6 in/s		0,7
Concreto	65 100 pies			21,6 in/s		0,7
Concreto	50 518 pies			21,6 in/s		0,7
Concreto 25% PGD	4500 pies				12 in	0,7
Concreto 75% no PGD	13 500 pies			21,6 in/s		0,7
Nota 1						
Tasa de reparación para propagación de ondas	$RR = K \times 0,00187 \times PGV$		donde PGV está expresada en pulgadas/segundo			
Tasa de reparación para PGD	$RR = K \times 1,06 PGD^{0,319}$		donde PGD está expresado en pulgadas			
Tasa de reparación para PGD	Se asume que el 25% de las zonas de licuefacción/deslizamiento de tierras que se trazaron en mapas se ven afectados por el PGD					

Tabla 4. Resumen y evaluación del sistema de aguas residuales (las celdas sombreadas con rojo indican el peligro determinante [PGA, PGV, PGD] o los datos que permiten que el evaluador logre la conclusión indicada con respecto al estado del daño) (continuación)

Conversiones: 1 MGD = 3,79 ML/día 1 MG = 3,79 ML 1 in = 2,54 cm 1 in/s = 2,54 cm/s 1 pie = 0,3048 m

Instalación	Descripción	Consecuencia	Energía de emergencia	PGA (% de gravedad) PGV (in/s)	PGD	Valor K de la tubería
Concreto	4000 pies				12 in	0,7
Concreto 75% no PGD	12 000 pies			21,6 in/s		0,7
Fundición	65 100 pies			21,6 in/s		1
Fundición	0 pie			21,6 in/s		1
Fundición 25% PGD	4500 pies				12 in	1
Fundición 75% no PGD	13 500 pies			21,6 in/s		1
Fundición 25% PGD	4000 pies				12 in	1
Fundición 75% no PGD	12 000 pies			21,6 in/s		1
PVC	65 100 pies			21,6 in/s		0,8
PVC	39 256 pies			21,6 in/s		0,8
PVC 25% PGD	4500 pies				12 in	0,8
PVC 75% no PGD	13 500 pies			21,6 in/s		0,8
PVC 25% PGD	4000 pies				12 in	0,8
PVC 75% no PGD	12 000 pies			21,6 in/s		0,8
Fallas totales de la tubería						
Tubería de concreto de las aguas pluviales						

Nota 1

Tasa de reparación para propagación de ondas	$RR = K \times 0,00187 \times PGV$	donde PGV está expresada en pulgadas/segundo
Tasa de reparación para PGD	$RR = K \times 1,06 PGD^{0,319}$	donde PGD está expresado en pulgadas
Tasa de reparación para PGD	Se asume que el 25% de las zonas de licuefacción/deslizamiento de tierras que se trazaron en mapas se ven afectados por el PGD	

Tabla 4. Resumen y evaluación del sistema de aguas residuales (las celdas sombreadas con rojo indican el peligro determinante [PGA, PGV, PGD] o los datos que permiten que el evaluador logre la conclusión indicada con respecto al estado del daño) (continuación)

Conversiones: 1 MGD = 3,79 ML/día 1 MG = 3,79 ML 1 in = 2,54 cm 1 in/s = 2,54 cm/s 1 pie = 0,3048 m

Instalación	Inundación	Licuefacción	Deslizamiento de tierra	Fecha de construcción/tasa de reparación de la tubería ¹	Tipo de construcción/fallas de la tubería	Estado del daño
Planta de tratamiento de aguas residuales	Sí					Todas las estructuras suspendidas presentan daños graves
Edificio de control	Sí			1979	Unidad de mampostería de concreto (CMU)	Paredes derrumbadas por tsunami
Tubería afluente	Sí	Sí		1970		Tubería afluente cortada en el paso del río
Desarenadores	Sí			1950	Concreto fabricado in situ (CIP)	Todo los equipos están gravemente dañados
Clarificador primario	Sí			1970	Acero circular	El clarificador flota
Tratamiento secundario/cámaras de reacción	Sí			1990	Concreto CIP	Todo los equipos están gravemente dañados
Edificio con soplador/bomba	Sí			1990		Paredes derrumbadas por tsunami
Tanque de desinfección/elevación	Sí			1995		Tanque arrasado
Tanques de desinfección	Sí			1980	Concreto CIP	Todo los equipos están gravemente dañados
Desembocadura	Sí			1970		Gravemente dañado por tsunami
Almacenaje de combustible in situ	Sí			1950	Almacenamiento horizontal suspendido	Arrasado
Depósito de almacenamiento	Sí			1970	CMU	Paredes derrumbadas por tsunami
Estaciones de bombeo						
PS n.º 1	Sí	No	No	1950	Concreto CIP/URM en la superficie	Estación de bombeo inundada, todo el equipo dañado, colapsos de la superestructura
PS n.º 2	No	No	No	1980	Bote de acero	OK
Recolección (Nota 1)				Tasa de reparación de la tubería¹	Fallas de la tubería	
Tuberías principales DIP				0,02	0,0	
Tuberías principales DIP				0,02	0,0	La tubería de la zona de inundaciones está bien, pero todas las instalaciones circundantes están gravemente dañadas
Tuberías principales DIP 25% PGD				0,29	0,1	
Tuberías principales DIP 75% no PGD		Sí		0,02		
Tuberías principales DIP 25% PGD		No		0,29	0,1	
Tuberías principales DIP 75% no PGD			Sí	0,02		
Concreto			No	0,03	1,8	
Concreto	Sí			0,03		La tubería de la zona de inundaciones está bien, pero todas las instalaciones circundantes están gravemente dañadas

Concreto 25% PGD		Sí		0,41	1,8	
Nota 1						
Tasa de reparación para propagación de ondas	$RR = K \times 0,00187 \times PGV$			donde PGV está expresada en pulgadas/segundo		
Tasa de reparación para PGD	$RR = K \times 1,06 PGD^{0,319}$			donde PGD está expresado en pulgadas		
Tasa de reparación para PGD	Se asume que el 25% de las zonas de licuefacción/deslizamiento de tierras que se trazaron en mapas se ven afectados por el PGD					

Tabla 4. Resumen y evaluación del sistema de aguas residuales (las celdas sombreadas con rojo indican el peligro determinante [PGA, PGV, PGD] o los datos que permiten que el evaluador logre la conclusión indicada con respecto al estado del daño) (continuación)

Conversiones: 1 MGD = 3,79 ML/día 1 MG = 3,79 ML 1 in = 2,54 cm 1 in/s = 2,54 cm/s 1 pie = 0,3048 m

Instalación	Inundación	Licuefacción	Deslizamiento de tierra	Fecha de construcción/tasa de reparación de la tubería ¹	Tipo de construcción/fallas de la tubería	Estado del daño
Concreto 75% no PGD		No		0,03		
Concreto			Sí	0,41	1,6	
Concreto 75% no PGD			No	0,03		
Fundición				0,04	2,6	
Fundición	Sí			0,04		La tubería de la zona de inundaciones está bien, pero todas las instalaciones circundantes están gravemente dañadas
Fundición 25% PGD		Sí		0,59	2,6	
Fundición 75% no PGD		No		0,04		
Fundición 25% PGD			Sí	0,59	2,3	
Fundición 75% no PGD			No	0,04		
PVC				0,03	2,1	
PVC	Sí			0,03		La tubería de la zona de inundaciones está bien, pero todas las instalaciones circundantes están gravemente dañadas
PVC 25% PGD		Sí		0,47	2,1	
PVC 75% no PGD		No		0,03		
PVC 25% PGD			Sí	0,47	1,9	
PVC 75% no PGD			No	0,03		
Fallas totales de la tubería					19,3	Poco más del 50% de las fallas están en las zonas afectadas por el PGD.
Tubería de concreto de las aguas pluviales	Sí	Sí				Las tuberías de la zona de licuefacción flotarán/se moverán de manera lateral debido a la dispersión lateral.

Nota 1		
Tasa de reparación para propagación de ondas	$RR = K \times 0,00187 \times PGV$	donde PGV está expresada en pulgadas/segundo
Tasa de reparación para PGD	$RR = K \times 1,06 PGD^{0,319}$	donde PGD está expresado en pulgadas
Tasa de reparación para PGD	Se asume que el 25% de las zonas de licuefacción/deslizamiento de tierras que se trazaron en mapas se ven afectados por el PGD	

3.3. Desempeño y tiempo de restauración del sistema de agua

Introducción

El equipo que evalúa la restauración de Shay Grove está compuesto por ingenieros experimentados y personal de operaciones. Los miembros del equipo participaron en conferencias profesionales y aprendieron acerca de los daños y la recuperación del servicio público de agua que se ve afectado por eventos peligrosos en todos los Estados Unidos y en todo el mundo. Cuentan con el apoyo de colegas profesionales, contratistas, personal de ventas de equipos e ingenieros asesores que por lo general conocen la disponibilidad de equipos y el tiempo que lleva construir distintos tipos de proyectos.

Los evaluadores saben que la situación hipotética del peligro abarca una región extensa y que es posible que resulte difícil obtener la ayuda mutua de los proveedores de servicios públicos cercanos.

Los evaluadores categorizaron el sistema en suministro, almacenamiento y distribución. Debido a la forma en que está configurado el sistema no hay tuberías principales de transmisión y no hay estaciones de bombeo aparte de las bombas de los pozos y la bomba de elevada altura en la planta de tratamiento de aguas (WTP, por sus siglas en inglés).

El suministro proviene de la WTP y 6 pozos. Los evaluadores sabían que necesitaban producir la demanda promedio de invierno (AWD, por sus siglas en inglés) durante los meses posteriores al evento, y que la WTP o los 6 pozos combinados podían producirla. Hablaron con el perforador de pozos y el proveedor de generadores. Al tener en cuenta la situación hipotética del daño del pozo y la información del perforador de pozos y el proveedor de generadores, los evaluadores creían que podrían lograr hacer funcionar tres pozos en dos días (ver los detalles a continuación). Esto les proporcionaría alrededor del 50% de la producción necesaria.

Los evaluadores analizaron la situación hipotética del daño de la WTP y observaron que el edificio había prácticamente colapsado y que el tubo de admisión estaba roto. Dado que sabían que la WTP no se recuperaría en meses, buscaron una solución en otra parte. Se contactaron con el administrador de emergencias de su condado, quien evaluó las fuentes de WTP portátiles. Los volvió a contactar con información sobre varios posibles proveedores. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército contaba con cinco plantas portátiles almacenadas en el Medio Oeste; un fabricante de WTP tenía varias plantas portátiles en Utah para emergencias. Los tres pozos y la WTP portátil proporcionarían el suministro que necesitaban para satisfacer la demanda promedio de invierno.

La situación hipotética del daño indicó que dos de los tanques del sistema de agua se verían completamente dañados, pero los dos tanques más nuevos seguirían siendo funcionales. Al consultar con el personal de operaciones del sistema de agua, los evaluadores determinaron que podrían operar las bombas de manera continua y reducida y operar el sistema sin los dos embalses.

Shady Grove contaba con un equipo de mantenimiento de campo con una pequeña excavadora. Los evaluadores eran conscientes de que la ayuda mutua sería insuficiente para este tipo de eventos. El Superintendente de los Servicios de Agua se contactó con un contratista local que instaló la tubería de la ciudad con regularidad. El contratista coincidió en que podría proveer un equipo de reparación de tuberías en caso de emergencia. La ciudad y el contratista acordaron un contrato plurianual para suministrar un equipo de reparación en caso de emergencia. En función de los registros de reparación de la tubería, el Superintendente de Servicios de Agua estimó que el equipo de reparación del contratista podría realizar dos reparaciones en una jornada de 12 horas por cada equipo.

Los evaluadores concluyeron que podrían obtener el suministro de la demanda promedio de invierno y restaurar la tubería dentro de las dos semanas posteriores al evento, por lo que se restauraría el servicio de las instalaciones críticas antes de lo previsto.

Evaluación

Mediante la vulnerabilidad de los distintos componentes del sistema, se evalúa la funcionalidad y la recuperación del sistema en general. Esta sección describe dónde colocar las “X” en la matriz de desempeño, que luego se utiliza para identificar las brechas del desempeño del sistema de infraestructura ante un terremoto de nivel de diseño.

- ***Hipótesis.*** Tanto la planta de tratamiento de aguas como los pozos pueden suministrar flujos de demanda de invierno cuando están completamente funcionales. Los flujos de demanda de invierno también se pueden satisfacer cuando ambos suministros funcionan con una capacidad del 50%.
- ***Resumen del daño de la planta de tratamiento de aguas.***

- Edificio de control/laboratorio prácticamente colapsado
- Tubo de admisión cortado
- El movimiento del equipo daña las conexiones

El Edificio de control se debe reemplazar. El tiempo de restauración estimado con un edificio temporario es de 6 meses. Se pueden reparar otros daños mientras se reemplaza el edificio de control.

Se supone que una WTP portátil con una producción del 50% del flujo original con un tubo de admisión temporario se puede instalar en 2 semanas.

Las muestras del laboratorio se transportan a la próxima comunidad contigua para realizar pruebas.

- **Pozos.** Cinco pozos son inoperables debido a revestimientos doblados, el colapso del cobertizo de la bomba o por contaminación.
 - **Pozo n.º 1.** Requiere energía y refuerzo del edificio: tiempo de restauración de 2 días.
 - **Pozo n.º 2.** Continúa funcionando con energía de emergencia. El edificio requiere refuerzos: 2 días.
 - **Pozo n.º 3.** Es posible que sea operable con energía de emergencia: se requieren 2 días.
 - **Pozo n.º 4.** No recuperable.
 - **Pozo n.º 5.** Se requiere un refugio temporario y nuevos armarios de mando: 2 semanas.
 - **Pozo n.º 6.** Contaminado, no recuperable.

La capacidad del pozo se puede restaurar hasta un 50% (3 pozos) en 2 días, y 67% (4 pozos) en 2 semanas.

El muelle de Shady cuenta con un suministro de emergencia (50% de la demanda de invierno) en 2 días a partir de los 3 pozos, y una demanda de invierno del 100% dentro de las 2 semanas posteriores de la instalación de una WTP portátil temporaria.

- **Tanques.**
 - **Tanque n.º 1.** Colapsado. El sistema permanece operable con un bombeo continuo.
 - **Tanque n.º 2.** OK.
 - **Tanque n.º 3.** Tubería rota: 2 semanas para repararla. El sistema permanece operable con un bombeo continuo.
 - **Tanque n.º 4.** OK

El daño del tanque permite que el sistema continúe operable con dos tanques intactos y dos tanques que se pueden evitar con un bombeo continuo.

- **Tuberías.** Ocurrió un total de 24 fallas en la tubería. Hay dos equipos de reparación con equipo y materiales disponibles dentro de los 2 días posteriores al evento. Se estima que cada equipo puede reparar 2 fallas por día, lo que equivale a un total de 4 días. Tomará alrededor de 8 días (2 días para comenzar y 6 para realizar las reparaciones) para poder restaurar la tubería después del evento. Los equipos de reparación comenzarán la restauración de la tubería en los pozos que están en funcionamiento y conectarán primero las instalaciones críticas como los hospitales. Se calcula que tomará 4 días conectar el suministro del pozo a los hospitales después del evento.
- **Tiempo de restauración del sistema.** La restauración del componente funcional del sistema se puede recuperar conforme a los objetivos de desempeño de la infraestructura hidrológica ante terremotos de peligro de diseño de Riverbend en la Tabla 9-14 de la Guía, de la siguiente manera:
 - **Fuente.** El 50% de la capacidad del pozo (lo que incluye el agua cruda, la transmisión y el bombeo) es operable en el plazo de 2 días. La “X” se debe colocar en 2 días (con una observación del 50% de disponibilidad) en estas categorías. Una WTP temporaria se vuelve operable dentro de las 2 semanas, lo que permite que el sistema satisfaga el 100% del flujo de demanda de invierno. Esto cumple con la categoría del 90%. Se debe colocar una “X” en 2 semanas (con una observación del 100%) en estas tres categorías. El caudal disponible para la extinción de incendios con una demanda del 90% solo está disponible 2 semanas después de que se instala la WTP temporaria.

- **Transmisión.** Los 6 pozos y la WTP se encuentran en la ciudad y no dependen de líneas de transmisión para impulsar el agua al sistema de distribución. Sin embargo, tomará 4 días lograr que el agua llegue al sistema principal de la ciudad para suministrar agua al hospital. Se debe colocar una “X” en las semanas 1 a 4 y anotar 1 semana para el suministro del hospital.
- **Control de supervisión y adquisición de datos (SCADA, por sus siglas en inglés).** El sistema SCADA monitorea la operación del sistema al registrar información como caudales y presiones, y se encarga del control del sistema como encender y apagar bombas en función de normas preprogramadas. El sistema SCADA se encontraba en el Edificio de control, que colapsó. Se instalará una WTP temporaria en el plazo de 2 semanas, pero la restauración del sistema SCADA llevará más tiempo. La ubicación de la “X” depende del estado del sistema SCADA.
- **Distribución.** El agua estará disponible para la distribución comunitaria en los 3 pozos operables dentro de los 2 días. La “X” se debe colocar en 1 a 3 días con una observación del 50% de capacidad. El hospital podrá acceder al agua en el plazo de 4 días. La “X” se debe colocar en 1 a 3 semanas. El sistema recuperará la funcionalidad completa para los caudales de demanda de invierno en el plazo de 2 semanas. La “X” se debe colocar en 1 a 4 semanas en otras categorías de distribución.

3.4. Estrategias del sistema de agua para reducir el tiempo de recuperación previsto

Esta sección ofrece ideas preliminares que podrían reducir el tiempo de restauración del sistema de agua.

La WTP se construyó antes de la implementación de códigos de edificación ante sismos significativos en esta región. El edificio de control se construyó con unidades de mampostería de concreto ligeramente reforzadas que son muy vulnerables a los terremotos. El tubo de admisión se ubicó en tierras propensas a la licuefacción. La mitad de los pozos se ubicaron en zonas con tierras propensas a la licuefacción, lo que hace que estos pozos e incluso los pozos nuevos sean vulnerables a los terremotos. El propietario debería considerar fortalecer las estructuras de la WTP y sujetar el equipo y las tuberías para que resistan los movimientos moderados del suelo que se prevén en esta situación hipotética.

Si bien dos de los tanques eran antiguos, el almacenamiento no limitó el tiempo de recuperación del sistema. En cierto punto, podría resultar beneficioso mejorar los dos tanques antiguos.

El daño de la tubería afectó en mayor medida los tiempos de recuperación. La mayoría de las fallas se encontraron en la tubería de fundición en las tierras propensas a la licuefacción. El reemplazo de dicha tubería por una resistente a sismos reduciría en el largo plazo (por ejemplo 50 años) el tiempo de recuperación previsto.

3.5. Desempeño y tiempo de restauración del sistema de aguas residuales

La recuperación del sistema de aguas residuales se evaluó de manera similar al del sistema de agua. Mediante la vulnerabilidad de los distintos componentes del sistema, se evaluó la funcionalidad y la recuperación del sistema en general. Esta sección describe dónde colocar las “X” en la matriz de desempeño, que luego se utiliza para identificar las brechas del desempeño del sistema de infraestructura ante un terremoto de nivel de diseño.

- **Planta de tratamiento de aguas residuales.** La planta de tratamiento sufrió daños considerables debido a una inundación ocasionada por un tsunami, y se prevé una restauración de 1 a 2 años. La WTP verterá las aguas residuales en el río o el océano hasta que se repare la planta de tratamiento.
- **Estaciones de bombeo:**
 - **PS n.° 1.** La bomba se inundó, el equipo se dañó y la superestructura colapsó. Entre 6 meses y 1 año de restauración prevista. La WTP verterá las aguas residuales en el río o el océano hasta que se repare la planta de tratamiento.
 - **PS n.° 2.** Siguió en funcionamiento.

- **Tuberías del alcantarillado.** Ocurrieron 19 fallas de las tuberías, algunas en zonas de licuefacción y otras en zonas de deslizamiento de tierras. Se requieren medidas significativas para dirigir las aguas residuales en aguas receptoras para evitar el contacto con las personas. Utilizar los mismos equipos que en el suministro de agua. Se estima que el inicio es alrededor de 8 días posteriores al evento después de la restauración del sistema de agua. El tiempo para dirigir las aguas residuales a las aguas receptoras utiliza la misma tasa de reparación que el agua: 2 equipos a 2 reparaciones por día equivale a 5 días. El sistema de recolección del alcantarillado, es decir, alejar las aguas residuales de las personas, funcionará dentro de los 13 días posteriores a un terremoto. Dado que la PS n.º 1 y la WWTP no funcionan, las aguas residuales se verterán en el río y el océano. Tomará meses restaurar los alcantarillados en las tierras propensas a la licuefacción en el paso del río.
- **Tiempo de restauración del sistema.** Los componentes del sistema se pueden recuperar, conforme a la Tabla 9-15 de la Guía:
 - **Planta de tratamiento.** Se debe colocar la “X” en los meses 4 a 24 en ambas subcategorías de la WWTP, ya que tomará entre 1 y 2 años reconstruirla.
 - **Líneas troncales.** Se debe colocar la “X” en los meses 4 a 24 para reconstruir la PS n.º 1 y colector que se dirige a la WWTP.
 - **Sistemas de control.** Se debe colocar la “X” en los meses 4 a 24 debido a que los sistemas SCADA de la WWTP y la PS n.º 1 se deberán reconstruir.
 - **Recolección.** Se debe colocar la “X” en las semanas 1 a 4 debido a que tomará 13 días dirigir el alcantarillado de aguas residuales al río o el océano.

Se asume que se podrán retomar las actividades habituales luego de desviar las aguas residuales al río o el océano; sin embargo, esto tendrá un impacto ambiental.

3.6. Sistema de aguas residuales: estrategias posibles para reducir el tiempo de recuperación previsto

La única repercusión que tuvo el sistema de aguas residuales en el tiempo de recuperación fue el tiempo que tomó redirigir las aguas residuales al río y el océano. No obstante, esta forma de verter las aguas residuales provocaría daños ambientales. Podría resultar conveniente contar con tubos de rebosamiento que se podrían activar en caso de una falla catastrófica de la WWTP y la PS n.º 1.

A largo plazo, posiblemente en el momento en que la planta existente se esté acercando al final de su ciclo de vida, valdría la pena considerar reubicar la WWTP fuera de la zona de inundación.