

3.2 ANALISIS DE VULNERABILIDAD PARA SISTEMAS DE AGUAS RESIDUALES.

Metodología General.

Contexto de la metodología.

El análisis de vulnerabilidad de un sistema de disposición de aguas residuales es una estimación del grado al cual éste puede ser adversamente afectado en relación a la función que debe cumplir, por una condición de emergencia determinada. Este análisis deberá incluir aspectos de suministro de energía, comunicaciones, personal, abastecimientos, comportamiento de equipos y estructuras. A continuación se mencionan los pasos que deben ser seguidos al hacer el análisis de vulnerabilidad de un sistema de disposición de aguas residuales:

- a. Determinación de los componentes del sistema de disposición de aguas residuales.
- b. Establecer las características de la emergencia seleccionada a ser investigada.
- c. Efectos estimados de la condición de emergencia sobre cada componente del sistema (uso de hoja de trabajo para la determinación de la vulnerabilidad).
- d. Estimar la capacidad de operación funcional del sistema de disposición de aguas residuales para realizar la función a la que está destinada durante y después de la emergencia.
- e. Si el sistema falla, identificar los componentes críticos del sistema responsable de la falla.

El flujograma de la Figura 3 - 13, muestra esquemáticamente la metodología para determinar el análisis de vulnerabilidad

Determinación del tipo de componentes del sistema utilizado en la disposición de aguas residuales.

Es necesario determinar el tipo de sistema empleado y describir los componentes en relación al sistema de disposición de aguas residuales. La descripción de los distintos componentes debe ser amplia, debiendo incluir instalaciones fijas y tratando de evitar describir aquellos componentes que son independientes del sistema con la finalidad de simplificar el trabajo a desarrollar.

Deberá darse importancia al hecho de si el sistema es separado o combinado. Como los sistemas combinados son diseñados para evacuar aguas de lluvia conjuntamente con las aguas negras, son menos vulnerables al ingreso no deseado de aguas tales como las infiltradas por fracturas o grietas.

Para la identificación de los componentes se deberá contar con planos de los sistemas existentes. En sistemas donde los planos estén disponibles, sería aconsejable verificar algunos puntos en el campo antes de iniciar cualquier análisis. En sistemas donde dichos planos no se tengan o estén incompletos, se procurará producirlos. Estos planos deberán tener información sobre:

- Localización de todos los alcantarillados de la zona en análisis.
- Condiciones y características técnicas de las alcantarillas.
- Localizaciones de las instalaciones de tratamiento, estaciones de bombeo, posibles mediciones de flujo en pozos de visita, puntos de sumideros, desvíos y cruces de ríos.
- Alcantarillados pluviales en la vecindad de alcantarillados sanitarios y aquéllos que estén cruzando o construídos en las mismas zanjas de alcantarillados sanitarios.

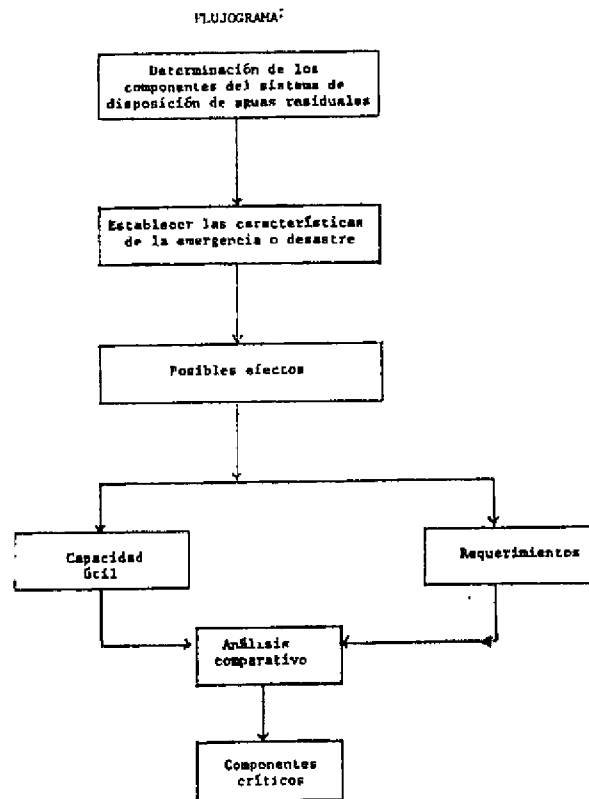


Figura 3 - 13
Flujograma

Hay dos aspectos que se deben considerar al enumerar los componentes del sistema de disposición de aguas residuales. El primer aspecto es listar los componentes individualmente y subsecuentemente determinar su probable comportamiento ante un *desastre de diseño*. El otro, igualmente importante, es el de considerar la interrelación de los componentes individuales en proveer la operación funcional del sistema total.

Los elementos críticos posibles del sistema deberán ser enumerados y descritos como componentes en acápites principales, tales como: conexiones domiciliarias, redes de colección, colectores, estaciones de bombeo, emisarios, sistemas de tratamiento, personal, materiales, abastecimientos, energía y comunicaciones. Estos acápites representan categorías mayores dentro de las cuales todos los aspectos pertinentes del sistema de disposición de aguas residuales pueden ser organizados y presentados.

A continuación se enumeran posibles estructuras existentes y algunos aspectos técnicos a considerar de cada una de ellas en la descripción de los componentes del sistema:

- a. Conexiones domiciliarias: diámetro de tuberías, material de que está hecha y edad aproximada de la tubería.
- b. Redes de recolección y colectores: diámetro de tuberías, material de que están hechas, años de uso, materiales de soporte y de relleno de la tubería y tipo de uniones usado.
- c. Estaciones de bombeo: Tipo de bomba empleada, caudales y altura de bombeo, potencia y tipo de energía utilizada.

- d. Sistemas de tratamiento: método empleado, capacidad.
- e. Emisarios: edad y tipo de material de la tubería, material de soporte y relleno del emisario.
- f. Se deben considerar posibles obras complementarias como son pozos de visita, sumideros pluviales, tanques regularizadores, tanques lavadores, trampas de grasa, regularizadores de gasto, medidores de caudal y sifones.
- g. Finalmente, personal, energía, comunicaciones y abastecimiento y materiales.

Una descripción más detallada se hará en el ítem específico correspondiente.

Establecer las características de la condición de emergencia a ser investigada

Se tendrán en consideración los posibles tipos de emergencia que puedan suceder y sus magnitudes de acuerdo a la situación de la zona o localidad en estudio, para lo cual será necesario considerar estadísticas que se tengan sobre posibles desastres ocurridos en la región que permitan establecer su probabilidad de ocurrencia.

Será necesario comparar la frecuencia probable de ocurrencia de una emergencia determinada con el tiempo de vida útil de la estructura en estudio, para establecer si el tipo de emergencia de una magnitud establecida justifica ser considerada como peligro potencial para la estructura.

Efectos estimados de la condición de emergencia.

En base a las características de la condición de emergencia, se estiman los posibles efectos sobre el sistema. Los datos de estos efectos pueden ser ordenados sistemáticamente como se indica en el Formulario 3 - 1.

Formulario 3 - 1

SISTEMA: _____

EMERGENCIA ASUMIDA: _____

DESCRIPCION DE LA EMERGENCIA _____

COMPONENTE DEL SISTEMA	Efectos del desastre				MEDIDAS DE PREVENCIÓN
	Tipo y extensión	Ninguno	Parcial	Total	
-Conexiones domiciliarias -Redes de recolección y colectores -Estaciones de bombeo -Sistema de tratamiento -Emisarios -Pozos de visita -Medidores de caudal -Sifones					
-Energía -Comunicaciones -Abastecimientos y materiales					

Fecha: _____ Analista: _____

Cada uno de los acápites considerados como componentes del sistema pueden ser subdivididos según las necesidades del análisis, así por ejemplo, para el caso de sistemas de tratamiento de aguas residuales, si se utilizan lagunas de estabilización, los subcomponentes a analizar serán diques y taludes, estructuras de entrada, estructuras de salida, tuberías de interconexión, rejillas, desarenadores, entre otros.

Cuantificación de daños producidos al sistema.

Es necesario considerar que en todo sistema de disposición de aguas residuales pueden presentarse tres situaciones diferentes debido a una emergencia: si es daño total, parcial o no existen problemas.

Si el daño es total, se deberá reconstruir completamente el sistema. Obviamente no es éste el caso que se desea considerar en este documento.

Si el daño es parcial (o de reparaciones menores), la empresa de alcantarillado deberá estar en capacidad de afrontar la emergencia. Es posible establecer algunas guías para estimar la cantidad de daños que se pueden producir en el sistema de disposición de aguas residuales.

Si el sistema no falla, no es vulnerable ante la situación de emergencia de magnitud determinada que se ha presentado.

Es factible establecer algunos criterios preliminares para el segundo caso. Una manera sencilla es tratar de estimar la magnitud de los daños producidos al sistema determinando el tiempo que se necesita para restituir la operatividad del sistema en general o de componentes específicos en particular. De acuerdo a esto es necesario:

- a. Descomponer la labor de restitución de la operación total del sistema en distintas actividades. En la primera fase, o sea la descomposición del proyecto de reparación en actividades, se deben tener en cuenta una serie de criterios que variarán de acuerdo al tipo de sistema a poner en funcionamiento y en relación al detalle que se quiera establecer para la futura programación. Se recomienda que sean las principales y necesarias para poner en actividad el sistema lo más pronto posible.
- b. Establecer la secuencia que deben seguir las actividades en su ejecución.

En la fase dos se establece la secuencia que deberá llevar cada una de las actividades del proyecto de reparación. Esta secuencia será un resultado de los métodos y prácticas corrientes de construcción y de los recursos disponibles. Ejemplo: la secuencia que deberán seguir las actividades de las fundaciones en una estructura en caso de emergencia será:

1. Retiro de escombros.
2. Excavación.
3. Colocación de formas.
4. Colocación del hierro de refuerzo.
5. Vaciado del concreto.

Algunas veces cuando dos actividades requieren de los mismos recursos a la vez y pueden ser ejecutadas simultáneamente, es posible que los recursos disponibles no permitan la ejecución simultánea y sea entonces necesario hacer primero una actividad y luego la otra. Ejemplo: dos actividades necesitan cada una un hombre para su ejecución y sólo se dispone de un obrero; lógicamente habrá que dedicar al obrero primero a una actividad y luego de terminada ésta, a la otra.

La secuencia en la ejecución de las actividades está regida por restricciones físicas, de recursos y gerenciales. Las dos primeras fueron explicadas anteriormente, aunque no se trató explícitamente de restricciones físicas y de recursos.

- b.1. Restricción física es la limitación que existe en la secuencia de ejecución de una actividad debido a la naturaleza física de la misma. Ejemplo: es restricción física de la actividad *vaciado de concreto*, el que sea precedida por la colocación del hierro de refuerzo.
- b.2. Restricciones de recursos, son aquellas restricciones impuestas por la falta de recursos para la ejecución de actividades. Para una situación de emergencia se debe tratar de minimizar al máximo este tipo de restricción.
- b.3. Restricciones gerenciales, son aquellas impuestas por la dirección o gerencia para la ejecución de actividades con situaciones de emergencia.
- c. Estimar las duraciones para cada actividad. En esta fase se harán los estimativos para las duraciones de cada una de las actividades, las cuales se obtendrán de acuerdo a la experiencia y estadísticas de situaciones precedentes.
- d. Determinar el tiempo total necesario para la restitución de las operaciones de cada uno de los componentes del sistema. De acuerdo a los tres pasos anteriores, se podrá obtener la programación adecuada de las actividades para lograr la restitución de la operación de los distintos componentes, determinándose el tiempo total necesario para cada uno de ellos. Estos tiempos representan índices que permiten estimar en alguna medida la cantidad total de daños producidos a cada componente del sistema.
- e. Obtener el tiempo total de recuperación de la operación del sistema en general. En base a la programación establecida y a los tiempos totales de cada componente, se podrá estimar el total necesario para restablecer el sistema en general. Esta cifra representa un índice estimado de la vulnerabilidad del sistema.

Identificación de componentes críticos del sistema.

Cada uno de los tiempos conseguidos para los componentes representan índices que permiten estimar la cantidad de daños producidos al sistema. El componente más crítico será aquél que requiera de mayor tiempo para obtener nuevamente su operatividad. Así:

Componentes	Tiempo necesario de reparación del componente
Componente A	13 días
Componente B	6 días
Componente C	8 días
Componente D	4 días
Tiempo total	15 días

El componente más crítico será: A = 13 días y la vulnerabilidad del sistema identificada es de 15 días.

APLICACION A CONEXIONES DOMICILIARIAS, REDES DE RECOLECCION, COLECTORES Y EMISARIOS.

Determinación del tipo y componentes del sistema empleado.

Para identificar los componentes se deberá contar con planos de las alcantarillas existentes. En sistemas donde los planos estén disponibles, sería aconsejable verificar determinados puntos en el campo antes de iniciar cualquier análisis. En sistemas donde dichos planos no se tengan o estén incompletos, se harán esfuerzos para producirlos adecuadamente para el estudio. Estos planos deberán incluir información sobre:

- Topografía de la zona: que permita establecer las extensión y dirección de la superficie de drenaje, las localizaciones de áreas bajas y áreas donde las alcantarillas son cruzadas por posibles ríos, corrientes y áreas pantanosas. Las áreas bajas podrían estar sujetas a inundaciones y la superficie de drenaje establecerá la seriedad del problema de inundación. En dichas áreas una gran cantidad de escorrentía superficial podría ingresar al sistema de alcantarillado, inundándolo, ya sea a través de pozos de visita estructuralmente defectuosos, tapas de dichos pozos perforadas o rotas; o contribuir a dicha inundación por la saturación del suelo con agua de lluvia que se infiltre al sistema a través de uniones rotas, tuberías deterioradas, etc.
- Formación del suelo: en el caso de terremotos, las condiciones del suelo podrían afectar las alcantarillas y las obras complementarias. El tipo de suelo influye enormemente en el daño a este tipo de obras durante los movimientos sísmicos y es una de las condiciones a analizar para estimar los posibles efectos en las tuberías.

Así, las alcantarillas construídas en suelos pobres podrían, por efecto de un terremoto, asentarse y agrietarse.

- Localización de todos los alcantarillados separados y combinados en la zona de análisis: indicando posibles alcantarillados pluviales en la vecindad de alcantarillados sanitarios y aquéllos que estén cruzando o construídos en las mismas zanjas de alcantarillados sanitarios.
- Condiciones y características técnicas de las alcantarillas: de acuerdo al tipo de material de la alcantarilla y tiempo de uso de la tubería, se podrá considerar la posible existencia de un mayor o menor daño en caso de desastre.
- Distribución del agua subterránea: de acuerdo a la dirección de su flujo y al nivel freático, se podrá establecer posibles problemas de contaminación de las fuentes de agua subterránea como resultado de roturas del alcantarillado por efecto de un desastre.
- Localización de instalaciones de tratamiento, estaciones de bombeo, mediciones de flujo realizadas en pozos de visita, puntos de sumideros, desvíos y cruces de ríos.

Es importante mencionar que existen dos aspectos que deben considerarse al enumerar los componentes del sistema de disposición de aguas residuales. El primer aspecto es listar los componentes individualmente y determinar su relación a las características del *desastre de diseño*. El otro aspecto, también importante, es la interrelación de los componentes individuales en proveer la operación funcional del sistema total. La determinación del daño físico de los componentes en forma individual no es suficiente. Es imprescindible la interrelación de los componentes del sistema para establecer cuál es la prioridad a considerar entre los componentes que constituyen una ruta crítica.

En esta parte, corresponde establecer las consideraciones técnicas para el análisis de vulnerabilidad de conexiones domiciliarias, redes de recolección, colectores y emisarios.

A continuación se mencionan las especificaciones que se deben tener presentes para cada uno de estos casos, las cuales son:

- a. Conexiones domiciliarias: Diámetro de tuberías, material de que están hechas, edad aproximada de uso y material de relleno.
- b. Redes de recolección y colectores: Diámetro de tuberías, material de que están hechas, edad aproximada de uso, profundidad a la que se encuentran, material de soporte y relleno utilizados, tipo de uniones usadas.
- c. Emisarios: Diámetro y tipo de material de la tubería, uniones empleadas, material de soporte y relleno, longitud y profundidad del emisario, edad aproximada de uso de la tubería.

Como obras complementarias deben considerarse:

- d. Pozos de visita: Tipo de pozo, material de construcción y cimentación empleado.
- e. Sumideros pluviales: Capacidad y tipo.
- f. Sifones invertidos: Material de soporte y relleno de las tuberías, tipo de tubería usada.

Se pueden describir también posibles regularizadores de gasto, tanques regularizadores, tanques lavadores y trampas de grasa; debiendo también considerarse aspectos de personal, energía, abastecimientos, materiales y comunicaciones.

Establecer las características de la condición de emergencia a ser investigada.

De acuerdo a la localización de la zona a analizar, se considerarán los distintos tipos y magnitudes de desastres que pudiesen ocurrir. Esta presunción se hará de acuerdo a las estadísticas que se posean de manera que se pueda establecer la probabilidad de ocurrencia de un desastre de magnitud determinada.

A continuación se comparará el tiempo probable de ocurrencia (período de retorno) de la emergencia considerada con el tiempo de vida útil de la infraestructura en estudio, que permita establecer si el tipo de emergencia de magnitud supuesto justifica considerarla como peligro potencial.

Se debe señalar que es necesario considerar la vulnerabilidad de la estructura cuando el período de retorno de la emergencia considerada es menor que el período de vida útil de la estructura en estudio.

Para el caso de conexiones domiciliarias, colectores y redes de recolección, el período de vida útil es de aproximadamente 30 años.

Efectos estimados de la condición de emergencia.

En base a las características del desastre o emergencia, se determinan los efectos posibles sobre las estructuras correspondientes. Se tiene muy poca información de los efectos de los desastres sobre los alcantarillados, pero de manera general se pueden estimar los efectos para distintos tipos de emergencias así como sigue:

A. Terremotos:

El tipo de suelo sobre el cual se encuentra la tubería determina, en gran medida, el grado de daño sobre dichas tuberías. Así, en superficies rocosas, el daño es menor, siendo moderado en suelos de grano grueso y teniendo los mayores efectos en aquellas tuberías dispuestas en áreas de suelo de grano fino.

Los pozos de visita podrían asentarse en terrenos de granulometría fina, con el consiguiente cambio de pendiente de las tuberías que de ellos salen, pudiendo a su vez las tuberías y uniones abrirse, romperse o fracturarse.

Por efecto de la composición del suelo, las alcantarillas pueden ser atacadas por compuestos químicos del suelo, tales como sulfatos y ácidos orgánicos, produciéndose la corrosión de las tuberías. Para el caso específico de movimientos sísmicos, se observarán mayores daños en zonas de la red donde se encuentran en esa condición las tuberías.

La variabilidad de las propiedades del suelo influye grandemente en los efectos producidos sobre el alcantarillado, observándose durante sismos daños mayores en tuberías instaladas en regiones donde los suelos cambian rápidamente en sus propiedades.

El tipo de material de las tuberías determina para el caso de movimientos sísmicos que existan mayores daños en tuberías de hierro fundido, mampostería y arcilla, y daños menores en tuberías de acero, fierro y plástico.

Para el caso de uniones, mayores son los efectos en uniones rígidas, debiéndose considerar la necesidad de uso de uniones flexibles para tuberías colocadas en áreas de riesgo sísmico.

Las tuberías instaladas en forma perpendicular a las fallas geológicas existentes en la zona sufren mayores daños que aquéllas colocadas en forma más o menos paralela.

De manera general, en el caso de movimientos sísmicos, el comportamiento estructural de las tuberías de alcantarillado es similar al de las tuberías de agua.

B. Inundaciones y Tsunamis:

Las obras que constituyen un sistema de alcantarillado se ven afectadas seriamente en éstos fenómenos, ya que resulta imposible impedir el ingreso de agua por las tapas de los pozos de visita. Cuando la inundación no afecta en forma total al sistema, puede producirse en determinadas zonas el rebalse de aguas negras como consecuencia del represamiento o carga excesiva producida. Los materiales sólidos y el limo que arrastran las aguas durante las inundaciones, se depositan en las alcantarillas pudiendo llegar a obstruirlas totalmente, cuando la velocidad de aquéllas decrece. Las estaciones de bombeo quedan frecuentemente anegadas, afectando seriamente los equipos e instalaciones eléctricas.

En el caso de sistemas de alcantarillado combinado, el ingreso de las aguas es mucho más directo, pudiéndose producir fenómenos de erosión dentro del sistema, como consecuencia de la carga excesiva, que puede determinar velocidades muy altas.

C. Huracanes y Temporales:

Por efecto de las fuertes lluvias que estos fenómenos traen consigo, podrían ocasionar efectos similares a los indicados para el caso de inundaciones. Como posibles efectos colaterales que pueden producirse, se tiene la interrupción de la conducción de líquidos cloacales a través de las alcantarillas, como resultado de las averías en las líneas y postes de suministro de energía, debido a fuertes vientos, lo que genera la paralización de estaciones de bombeo.

D. Erupciones volcánicas:

Las cenizas volcánicas, al llegar a los alcantarillados conjuntamente con los líquidos cloacales, pueden sedimentar en los conductos y producir obstrucciones y los consiguientes rebalses a través de los pozos de visita.

E. Explosiones:

Es muy importante anotar la posibilidad de explosiones por desprendimiento de gases de metano en las tuberías de alcantarillado y pozos de visita, de ocurrir alguna chispa o llama. Entre las causas que se pueden mencionar, están:

- La falta de una limpieza periódica de la red, lo que impide el escurrimiento adecuado de líquidos cloacales, ocasionando bajas velocidades en dichos flujos y produciendo una mayor cantidad de gases, ya que éstos se forman

y desprenden en el desague en virtud de la sedimentación de lodos en el alcantarillado y su consiguiente digestión anaeróbica.

- La ausencia de una adecuada ventilación no solamente a través de la red pública, sino también de la red predial; y
- El inadecuado control de efluentes industriales. Lamentablemente se permite a muchas industrias disponer en la red de alcantarillado sus residuos provenientes de los procesos operacionales que realizan, muchos de los cuales pueden aumentar la producción de gases o vapores combustibles.

Finalmente, las emergencias pueden ser ocasionadas por una inadecuada operación y mantenimiento del sistema o construcción deficiente de las instalaciones. En este caso, las causas de las obstrucciones que se producen en las tuberías de alcantarillado, y la frecuencia de éstas, depende de muchos factores. Muchos colectores no se limpian por años, a pesar de que requieren limpieza frecuente, siendo las causas más comunes que ocasionan obstrucciones, las siguientes:

- a. Acoplamiento deficiente de las tuberías, que se traduce unas veces en aberturas en ellas, otras en la presencia de sobreelevaciones interiores.
- b. Insuficiente material de soporte de la tubería que produce asentamiento de tubos.
- c. Aplicación inadecuada del relleno de los tubos, que se traduce en fallas estructurales.
- d. Tuberías de mala calidad.
- e. Presencia de desechos corrosivos que dañan la tubería o el material de acoplamiento.
- f. Depósitos por decantación en los sistemas de aguas negras, ya que con mucha frecuencia durante el estiaje, debido a la baja disponibilidad de agua, la descarga no es suficiente para limpiarlas; entonces las materias pesadas decantan y se acumulan u originan obstrucciones.
- g. Obstrucciones debidas a descargas de grasa y aceite, provenientes de gasolineras y talleres mecánicos, si estos locales no cuentan con trampas desengrasadoras.
- h. Gradientes reducidas que causan acumulación de sólidos.
- i. Raíces de árboles que penetran por las juntas y se desarrollan dentro de las cloacas.
- j. Rugosidad excesiva.

En la conservación de la red, no es posible hacer nada cuando se presentan deficiencias como las señaladas entre los ítems (a) y (d), a menos que se reconstruya la estructura. Los ítems (e) y (f) son consecuencia del uso indebido de colectores y las demás deficiencias casi siempre pueden ser corregidas mediante una adecuada limpieza.

Evaluación de daños producidos al sistema.

Se utilizará la metodología señalada en 3.2., Metodología de Análisis para Sistemas de Aguas Residuales, basada en los tiempos requeridos para reparar el sistema. A continuación se detalla un ejemplo que permitirá aplicar este criterio:

Ejemplo # 1: En una ciudad ocurre hipotéticamente un movimiento sísmico de una magnitud determinada, el cual ocasiona daños a las redes de recolección de aguas residuales. El objetivo es establecer la vulnerabilidad de un sector del sistema, cuyas especificaciones técnicas y efectos producidos se encuentran señalados en la Figura 3 - 14. Se incluyen además como datos:

Tiempo de identificación de fallas = 1,5 días.

Personal y equipo de arribo = 12 peones, 2 operarios y dos oficiales.

Una compresora, una retroexcavadora, una compactadora.

Material para concreto, tuberías.

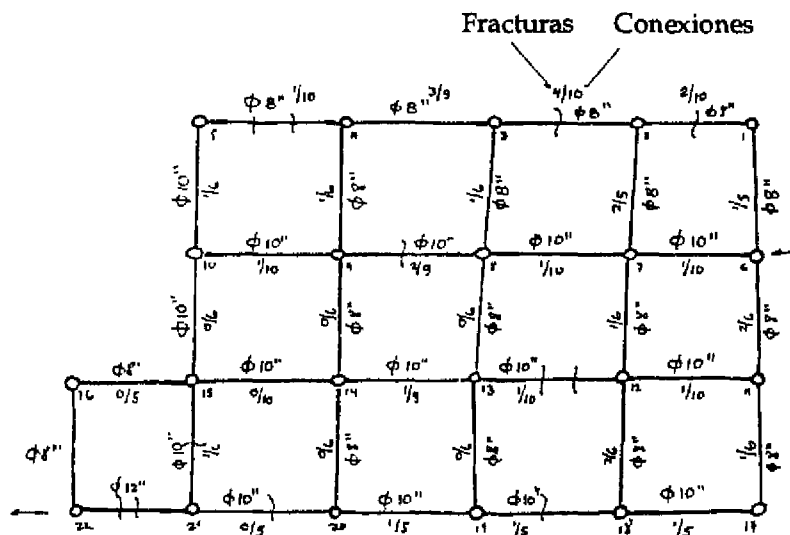


Figura 3 - 14

De acuerdo al plano arriba indicado, se podrá elaborar la siguiente tabla.

Tabla 3 - 11

COMPONENTE	TRAMO	ESPECIFICACION	EFFECTOS DE LA EMERGENCIA	Nº de metros dañados
Conexiones domiciliarias		(a)		
	1 - 2	10 conexiones	2 fracturas (1)*	2
	2 - 3	10 conexiones	4 fracturas (1)	4
	3 - 4	9 conexiones	3 fracturas (1)	3
	4 - 5	10 conexiones	1 fractura	1
	6 - 7	10 conexiones	1 fractura	1
	7 - 8	10 conexiones	1 fractura	1
	8 - 9	9 conexiones	2 fracturas (1)	2
	9 - 10	10 conexiones	1 fractura	1
	11 - 12	10 conexiones	1 fractura	1
	12 - 13	10 conexiones	1 fractura (1)	1
	13 - 14	9 conexiones	1 fractura (1)	1
	17 - 18	5 conexiones	1 fractura	1
	18 - 19	5 conexiones	1 fractura	1
	19 - 20	5 conexiones	1 fractura	1
	1 - 6	5 conexiones	1 fractura (1)	1
	2 - 7	5 conexiones	2 fracturas	2
	3 - 8	6 conexiones	1 fractura	1
	5 - 10	6 conexiones	1 fractura	1
	6 - 11	6 conexiones	2 fracturas (1)	2
	7 - 12	6 conexiones	1 fractura	1
	1 - 17	6 conexiones	1 fractura	1
	12 - 18	6 conexiones	2 fracturas (1)	2
	15 - 21	6 conexiones	1 fractura	1
	16 - 22	6 conexiones	1 fractura	1
Colectores y Subcolectores		(b)		
	1 - 2	Ø 8"	1 fractura	1.5
	2 - 3	Ø 8"	1 fractura	1.5
	4 - 5	Ø 8"	1 fractura	1.5
	8 - 9	Ø 10"	1 fractura	1.5
	12 - 13	Ø 10"	2 fracturas	3.0
	18 - 19	Ø 10"	1 fractura	1.5
	20 - 21	Ø 10"	1 fractura	1.5
	15 - 21	Ø 10"	1 fractura	1.5
	21 - 22	Ø 12"	2 fracturas	3.0
Pozos de Visita			(C)	

- a) Todas las conexiones tienen tuberías de seis pulgadas de diámetro, de concreto simple, normalizada, enterradas hasta 2 metros de profundidad sobre terreno normal.
- b) Todas las tuberías son de concreto simple normalizada, con unión flexible, enterradas hasta 2 metros de profundidad sobre terreno normal.
- c) No se observaron daños en la estructura propia de los pozos de visita.

* Los números entre paréntesis indican el número de tubos dañados a nivel del empalme al colector.

De acuerdo a la Tabla 3 - 11, el número total de metros de tubería dañada es:

Conexiones domiciliarias:	34,0 metros
Colectores y subcolectores: de 8 pulg.=	4,5 metros
de 10 pulg.=	9,0 metros
de 12 pulg.=	3,0 metros

Con estos datos y en base a la metodología establecida:

- A. Se descompone la labor de restitución de la operación total del sistema en distintas actividades y se describe la secuencia que deben seguir en su ejecución. Dicha relación y el orden de prelación de actividades se encuentran incluidas en la Tabla 3 - 12.

De manera referencial, es interesante señalar que si se tuviese que considerar el caso de pozos de visita, las posibles actividades a realizar podrían ser: Remoción de escombros, elaboración de la base, colocación de la media caña, elaboración del cuerpo del pozo, elaboración y colocación de la losa de techo

- B. Se estima las duraciones de tiempo para cada actividad considerando a los equipos, materiales y recursos humanos disponibles, para lo cual se calculará primeramente los tiempos de trabajo necesarios en condiciones normales. Obteniendo estos tiempos, se considerará un 100% de aumento, ya que las labores de reposición del sistema se realizan en situaciones de emergencia.

Este porcentaje podría ser variado por el analista de acuerdo a su criterio, en base a las observaciones de las condiciones de trabajo de la zona del desastre en estudio.

A continuación se detalla el cálculo de tiempo necesario para la rotura de pavimentos, que es la primera actividad para reparar conexiones domiciliarias. Este cálculo será similar para las demás actividades; así se tendrá:

Datos necesarios:

Espesor aproximado del pavimento = 0,2m

Ancho de zanja = 0,6m

Recursos humanos = 1 peón

Recursos materiales = 1 compresora

Rendimiento: con estos recursos es posible extraer 10 metros cúbicos de pavimento por día.

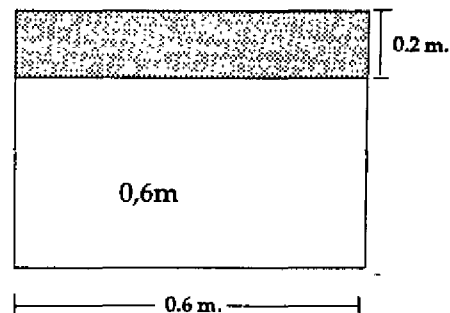


Tabla 3 - 12 .
Orden de prelación de actividades para la reposición total del sistema

COMPONENTE	ACTIVIDADES
Reparación de Colectores Ø (12");	Identificación de fallas Llegada de materiales y repuestos Rotura de pavimentos Excavación de zanja Extracción de tuberías Colocación de tuberías Prueba de tuberías Relleno del terreno Compactación del terreno
Reparación de Subcolectores Ø (10" y 8");	Rotura de pavimentos (10") Rotura de pavimentos (8") Excavación de zanjas (10") Excavación de zanjas (8") Extracción de tuberías (10") Extracción de tuberías (8") Colocación de tuberías (10") Colocación de tuberías (8")
Reparación de Subcolectores Ø (10" y 8");	Prueba de tuberías (10") Prueba de tuberías (8") Relleno de tuberías (10") Relleno de tuberías (8") Compactación del terreno (10") Compactación del terreno (8")
Reparación de Conexiones domiciliarias (6").	Rotura de pavimentos Excavación de zanjas Extracción de tuberías Instalación de pieza de empalme al colector Colocación de tuberías Prueba de tuberías Relleno del terreno Compactación del terreno

Calculamos el área de pavimento en la sección de zanja:

$$0,2 \times 0,6 = 0,12 \text{ metros cuadrados}$$

En un metro de zanja se tendrá:

$$0,12 \times 1,0 = 0,120 \text{ metros cúbicos/ metro lineal de pavimento.}$$

Comparando este último valor y el número de metros de zanja a excavar para reparar la tubería dañada, se logra el tiempo necesario para extraer el pavimento que se encuentra sobre dicha tubería:

$$\begin{array}{l} 83 \text{ metros lineales} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1 \text{ día} = 8 \text{ horas} \\ 34 \text{ metros lineales} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad \times \text{ días} \end{array}$$

Tiempo = 3 horas 20 minutos, en condiciones normales.

Considerando que las labores se realizan en condiciones de emergencia, el tiempo será de 6 horas y 40 minutos.

En la Tabla 3 - 13 se incluyen los cálculos de tiempos de todas las actividades y los recursos para cumplirlas y en base a estos datos se ha elaborado en el Tabla 3 - 14, la programación de actividades teniendo en consideración las restricciones de personal y equipos para realizarlas.

Identificación de componentes críticos.

De acuerdo al cronograma de programación de actividades se han obtenido los tiempos totales de cada componente, para la reposición del sistema; así se tiene:

- Identificación de fallas = 24 horas
- Transporte de recursos a las zonas = 36 horas
- Reparación de colectores = 6 horas
- Reparación de subcolectores = 16 horas
- Reparación de conexiones domiciliarias = 21 horas

Vulnerabilidad del sistema = tiempo total de reposición del sistema = 86,7 horas. Componente más crítico = 36 horas = transporte de recursos a la zona.

Tabla 3 - 13
Cálculos de tiempo de las actividades de reposición del sistema y recursos necesarios

COMPONENTE	ACTIVIDADES	DATOS	RECURSOS NECESARIOS	TIEMPOS DE REPOSICION EN SITUACION DE EMERGENCIA (HORAS Y MIN.)
Colectores (con 3,0 m. de tubería dañada)	Rotura de Pavimentos	Ancho de zanja = 1,1 m. Espesor de pavimento = 0.2 m.	1 peón 1 compresora Los cuales tienen un rendimiento de 10 m ³ / día	1,10
	Excavación de zanajas	Ancho de zanja = 1,1 m. Profundidad promedio = 1,6 m	1 peón 1 retroexcavadora de 1/2 m ³ con un rendimiento de 150 m ³ / día	0,40
	Extracción de tuberías	Se considerará que los rendimientos serán un 50% de lo necesario para la instalación de la nueva tubería	1 oficial 1 operario 5 peones con rendimiento de 18 m/día	2,40
	Instalación de nuevas tuberías		1 oficial 1 operario 5 peones de rendimiento 36 m/día	1,20
	Prueba de tuberías		1 oficial 2 peones con rendimiento de 36 m/2 h	0,20
	Relleno del terreno	Ancho de zanja = 1 m Profundidad = 1,2 m	4 peones con rendimiento de 150 m/día	0,20
	Compactación del terreno		1 peón 1 compactadora rendimiento: 110 m/día	0,20
Subcolectores (con 13,5 m. de tubería dañada)	Rotura de pavimentos (Ø 10")	Ancho de zanja = 1 m	1 peón 1 compresora con un rendimiento de 10m ³ / día	3,00
	Rotura de pavimentos (Ø 8")	Profundidad = 1,2 m		1,30

COMPONENTE	ACTIVIDADES	DATOS	RECURSOS NECESARIOS	TIEMPOS DE REPOSICION EN SITUACION DE EMERGENCIA (HORAS Y MIN.)
Conexiones domiciliarias (con 34 m de tubería dañada)	Excavación de zanjas (Ø 10")	Ancho de zanja = 1 m Profundidad = 1,6 m	1 peón 1 retroexcavadora 3/4 Y ³ Rendimiento 150 m ³ /día	1,40
	Excavación de zanjas (Ø 8")			0,50
	Extracción de tuberías (Ø 10")	Los rendimientos a considerar serán el 50% del necesario para la instalación de la nueva tubería	1 oficial	6,40
	Extracción de tuberías (Ø 8")		1 operario 5 peones rendimientos: Ø 10" = 22,5 m/día Ø 8" = 30 m/día	2,40
	Colocación de tuberías (Ø 10")		1 oficial	3,20
	Colocación de tuberías (Ø 8")		1 operario 5 peones rendimientos: Ø 10" = 45/día Ø 8" = 60/día	1,20
	Prueba de tuberías (Ø 10")		1 oficial	0,50
	Prueba de tuberías (Ø 8")		2 peones rendimientos: Ø 10" = 45 m/2 horas Ø 8" = 60 m/2 horas	0,20
	Relleno del terreno (Ø 10")		4 peones rendimiento:	1,10
	Relleno del terreno		150 m/día	0,30
	Compactación del terreno (Ø 10")		1 peón	1,20
	Compactación del terreno (Ø 8")		1 compactadora rendimiento:	0,40
			110 m/día	
	Rotura de pavimentos	Ancho de zanja = 0,6 m Espesor de pavimentos = 0,2 m	1 peón 1 compresora rendimiento: 10m ³ /día	6,40
	Excavación de zanjas	Ancho de zanja = 0,6 m Profundidad promedio = 1,00	1 peón 1 retroexcavadora 3/4 Y ³ rendimiento: 150m ³ /día	2,20
	Extracción de tuberías	Se considerará que los rendimientos serán un 50% del rendimiento para la instalación de tuberías nuevas	1 operario 2 peones rendimiento: 54 m/día	10,00
	Instalación de nuevas piezas de empalme al colector		1 oficial 1 peón rendimiento: 12 unid/día	12,00
	Colocación de tuberías		1 operario 2 peones rendimiento: 108 m/día	5,00
	Prueba de tuberías		1 oficial 1 peón rendimiento: 96 m/día	5,40
	Relleno de tuberías		5 peones rendimiento: 100 m/día	5,40
	Compactación de tuberías		1 peón 1 compactadora rendimiento: 100 m/día	5,40

* Se han hecho los cálculos en base a tablas de rendimientos de recursos de SEDAPAL (Servicio de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado de Lima).

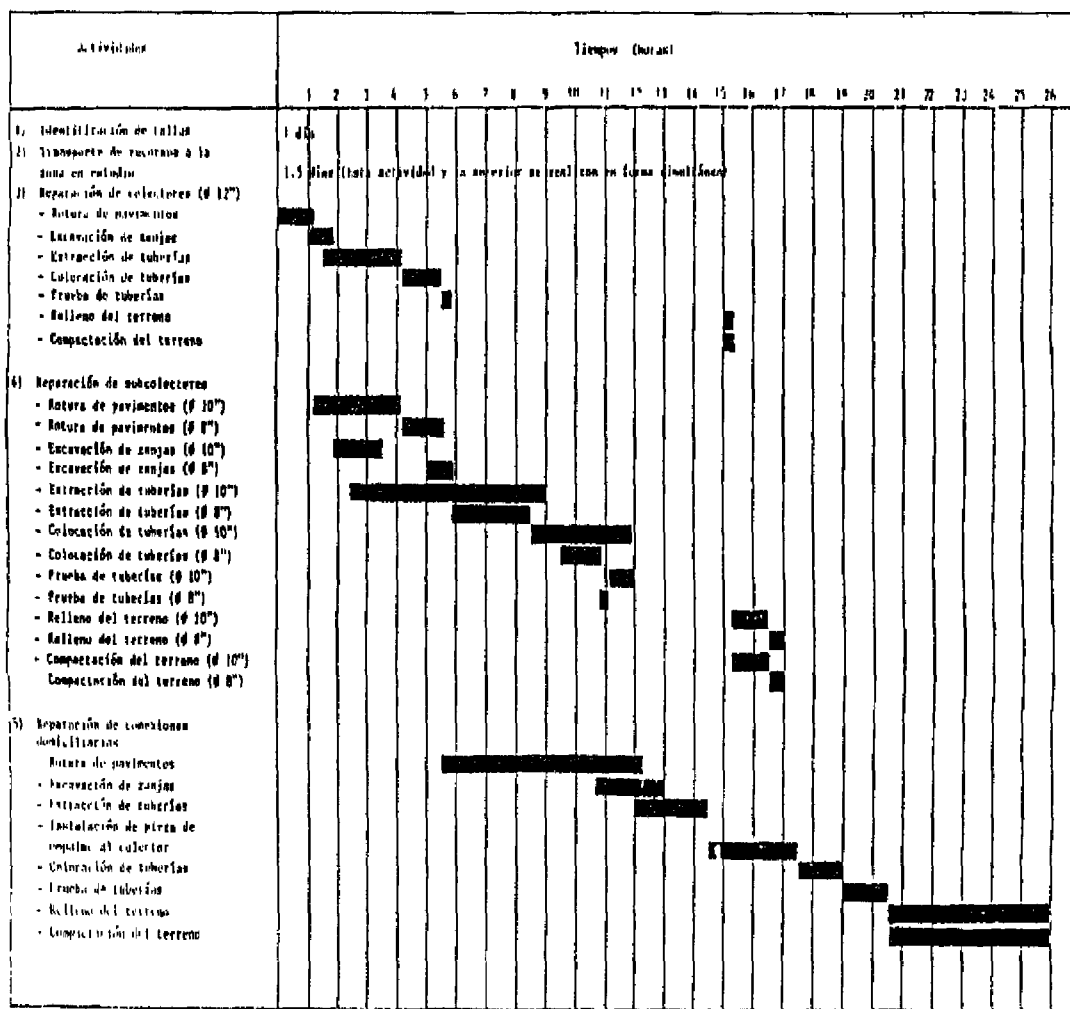


Tabla 3 - 14
Programación de actividades para la reposición del sistema

APLICACION A SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Identificación de desastres en el área.

Se examinarán los posibles tipos de desastres que pueden ocurrir en el área de estudio, y sus magnitudes. Se hace necesario considerar las estadísticas que se tengan sobre la ocurrencia de desastres en la zona, lo cual permitirá establecer su probabilidad de ocurrencia en un tiempo determinado.

Se comparará el tiempo probable de ocurrencia del desastre o emergencia considerada con el tiempo de vida útil de la estructura en estudio, para determinar si una emergencia de una magnitud establecida constituye un peligro potencial para la estructura. En base a este concepto se decidirá la conveniencia o no del análisis de vulnerabilidad del sistema de disposición de aguas residuales.

Para el caso de plantas de tratamiento de aguas residuales, se señalan a continuación los tiempos de vida útil de distintos componentes del sistema:

Suelo:	Tiempo de vida útil permanente.
Estructuras:	Incluye edificios de las plantas, tanques de concreto, etc.; estructuras de recolección de aguas residuales y tuberías de conducción; estructuras para montaje de estaciones de bombeo; túneles. Período de vida útil: 30 - 50 años. Se recomienda considerar 30 años.
Equipos: para procesos	Incluye el equipo para los principales procesos, tales como: mecanismos para el clarificador; instalaciones de almacenamiento de químicos; instalaciones de generación eléctrica de reserva. Período de vida útil: 15 - 30 años. Se recomienda considerar 15 años.
Equipos auxiliares	Incluye instrumentos e instalaciones de control; bombas para aguas residuales y motores eléctricos; equipos mecánicos, tales como: compresores, sistemas de aereación, centrífugas, cloradores, etc.; instalaciones de generación eléctrica de uso regular. Período de vida útil: 10 - 15 años. Se recomienda considerar 10 años.

Para el caso específico de lagunas de estabilización, el tiempo de vida útil es de 20 años.

Además de los desastres naturales (huracanes, tsunamis, tormentas, erupciones volcánicas, inundaciones, terremotos), éstos pueden ser consecuencia de posibles desórdenes civiles, huelgas, fallas de mantenimiento de equipos, operaciones negligentes y accidentes.

Componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales.

A continuación se indicará el tipo de tratamiento empleado, describiéndose las características técnicas de los componentes.

Tratamiento de líquidos**Tratamiento preliminar**

- Cribas gruesas
- Cribas finas
- Cribas medias
- Desmenuzadores
- Tanques de compensación
- Desarenadores
- Preaeración

Tratamiento primario

- Sedimentación primaria
- Flotación
- Coagulación
- Precipitación química
- Tanques IMHOFF
- Neutralización

Tratamiento secundario

- Filtros percoladores (llamados también filtros biológicos o de goteo).
- Filtros de carga baja
- Filtros de carga convencional
- Filtros de carga alta
- Sistemas de recirculación en filtros biológicos
- Dosificadores para filtros biológicos
- Lodos activados (llamados también barros o cienos activados).
 - Lodos activados de alta carga
 - Lodos activados con aereación modificada
 - Lodos activados convencionales
 - Lodos activados con aereación escalonada
 - Lodos activados con alimentación gradual (lodos activados con aereación por pasos)
 - Lodos activados por contacto estabilización
 - Lodos activados por aereación prolongada (lodos activados por aereación extendida o lodos activados por zanjas de oxidación)
 - Filtro biológico anaeróbico
 - Lagunas de estabilización
 - Desinfección
 - Sedimentación secundaria

Tratamiento terciario (tratamiento avanzado)**Remoción avanzada de sólidos en suspensión**

- Microcribado
- Filtración rápida
- Clarificación química

Remoción avanzada de complejos orgánicos e inorgánicos

- Adsorción con carbón activado
- Oxidación química

- Destilación
- Electrodialisis
- Intercambio iónico
- Osmosis inversa
- Precipitación química

Remoción avanzada de nutrientes

- Nitrificación
- Desnitrificación
- Intercambio iónico
- Asimilación acelerada
- Desgasificación de amoníaco

Tratamiento de lodos

- Espesamiento a gravedad
- Espesamiento por flotación
- Centrifugación
- Lechos de secado(playas de secado)
- Filtros prensa
- Lagunas de evaporación
- Irradiación

Acondicionamiento de lodos

- Acondicionamiento con compuestos químicos

Digestión de lodos

- Digestión anaeróbica
 - De alta carga
 - Convencional
 - Termofílica
 - En dos etapas
- Digestión aeróbica

Combustión de lodos

- Incineración y secado
- Oxidación húmeda

De todos estos métodos de tratamiento, el empleo de lagunas de estabilización constituye el más generalizado en América Latina. Se detalla a continuación la clasificación más empleada para lagunas y que toma en consideración el contenido de oxígeno. Así, las lagunas pueden clasificarse en: anaeróbicas, aeróbicas y facultativas. Si el oxígeno es suministrado artificialmente con aereación mecánica o con aire comprimido, se denominan *lagunas aereadas*.

Las lagunas de alta producción de biomasa o aeróbicas, que han sido también referidas como fotosintéticas, son estanques de profundidad reducida (10cm) y son diseñadas para una máxima producción de algas. En estas lagunas se mantienen condiciones aeróbicas a todo nivel y tiempo y la reducción de materia orgánica es efectuada por la acción de organismos aeróbicos. Trabajan a cargas bajas.

Lagunas facultativas son estanques de profundidades más reducidas (1 - 1,8 metros) y su contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y la hora del día. Estas lagunas reciben cargas orgánicas moderadas.

Lagunas de maduración o pulimento. Son estanques utilizados como procesos de tratamiento terciario, diseñados con el propósito de reducir gérmenes patógenos o piscicultura.

Efectos de los desastres sobre los componentes.

Para cada condición de emergencia existe generalmente una relación causa a efecto. Esta situación es particularmente cierta cuando la aplicamos a emergencias relacionadas con plantas de tratamiento de aguas residuales. Cada una de las causas (desastres naturales, desórdenes civiles, huelgas, fallas de mantenimiento de equipos, operaciones negligentes y accidentes) carecen de la distinción de tener solamente un efecto perceptible. Por el contrario, los efectos pueden relacionarse a varias causas. Al término de esta sección, este aspecto será ilustrado con el uso de una matriz demostrando las interrelaciones de causa a efecto.

A. Ausencia de personal

Todas las plantas, grandes o pequeñas, requieren de personal para asegurar su satisfactoria operación. En los casos de plantas pequeñas, una visita diaria podría ser suficiente. Para las plantas grandes, se requiere personal permanente técnicamente entrenado.

Si por alguna razón el personal es impedido de realizar sus deberes asignados, o no le es permitido llegar a la planta, es inminente que se presentará una emergencia. Esta situación podría llevar a la avería total de la planta.

Un número de causas podrían ocasionar la ausencia de personal; sin embargo, el ausentismo en gran escala puede atribuirse a causas relacionadas a problemas tales como: desastres naturales, desórdenes civiles, huelgas. La siguiente es una lista parcial que puede conducir a la ausencia de personal y que está relacionada con las causas anteriormente nombradas:

- Vientos
- Inundaciones
- Terremotos
- Lesiones o amenazas de lesiones
- Grupos de huelga.

B Falla de equipos

Las plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan diversos equipos en sus procesos de tratamiento. Por consiguiente, es de esperar problemas aislados de falla de estos equipos. Sin embargo, muchas de estas paralizaciones pueden ser solucionadas y reparadas sobre una base rutinaria. La falla de los equipos que se origine como resultado de los desastres naturales, desórdenes civiles y huelgas, falla de mantenimiento, operaciones negligentes y accidentes, será analizada.

Las siguientes son unas de las pocas razones para la posible falla de equipos con relación a las causas anteriormente descritas:

- Inundaciones
- Daño estructural
- Pérdida de energía
- Sabotaje
- Condiciones de sobrecarga
- Tuberías obstruidas
- Sobrecalentamiento de motores.

C. Pérdida de energía.

Un abastecimiento confiable e ininterrumpido de energía eléctrica es fundamental cuando hay bombeo y es muy importante en las plantas.

Hay un gran número de razones para la pérdida de energía local o en una amplia área, las cuales pueden ser atribuidas a las posibles causas de la condición de emergencia. Las siguientes son algunas de ellas:

- Inundaciones
- Viento,
- Sabotaje
- Daño estructural
- Fuego
- Hielo sobre las líneas de energía
- Salpicadura de sales sobre líneas de energía.

D. Falla de procesos.

La falla de procesos puede ocurrir ya sea que se presente una pérdida prolongada o corta del flujo eléctrico. En cualquier caso, el desempeño satisfactorio de la planta se vería alterado a tal punto, que la función principal de la planta de tratar aguas residuales sería considerablemente cambiada.

Algunos de los efectos aquí discutidos podrían resultar en fallas parciales del proceso y eventualmente en una falla total si la condición de emergencia se mantiene por un largo período. Por otro lado, algunos de los efectos podrían resultar en fallas completas del proceso en un corto período.

La siguiente es una lista parcial de las razones por fallas del proceso, relacionadas a las causas anteriormente proporcionadas.

- Inundaciones
- Pérdida de energía
- Sabotaje
- Ausencia de personal
- Derrames tóxicos.

E. Acceso bloqueado.

Se refiere al acceso bloqueado en rutas o caminos que se dirigen a la planta de tratamiento o a una estación de bombeo. Es difícil discutir el acceso bloqueado y su importancia en la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales, sin mencionar el efecto de emergencia relacionado al de ausencia de personal. Las siguientes son algunas razones por accesos bloqueados referidos a las causas de emergencias:

- Inundaciones
- Vientos
- Deslizamientos
- Escombros
- Derrumbes en carreteras
- Fuego
- Sabotaje.

1. Pérdida de comunicaciones.

Las comunicaciones juegan un papel importante en la operación de plantas de tratamiento, ya que ellas son necesarias en las diarias operaciones rutinarias. Pero su importancia llega a ser indispensable y conocida durante las situaciones de emergencia, ya que las medidas de protección a plantearse en estos casos no podrían implementarse si las comunicaciones fuesen interrumpidas. A continuación se enumeran algunas de las razones por las que se ocasionarían pérdidas de comunicación:

- Inundaciones
- Vientos
- Sabotaje
- Fuego

Análisis de vulnerabilidad.

A. Ejemplo ilustrativo.

En el siguiente ejemplo se describe una planta de tratamiento de aguas residuales y en el cual se evalúa, mediante un modelo de hoja de trabajo, la vulnerabilidad del sistema, determinándose los posibles daños que pudiese tener la planta ante una emergencia como es una inundación.

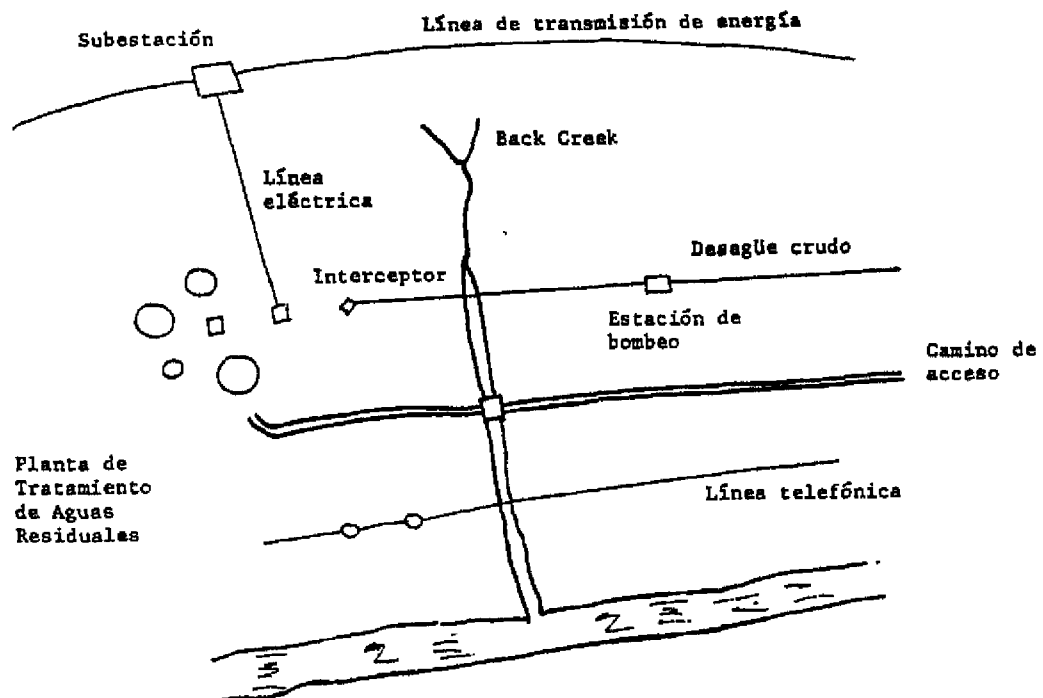


Figura 3 - 15
Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Gladiolus

(Ejemplo)		
HOJA DE TRABAJO PARA ANALISIS DE VULNERABILIDAD		
Sistema de tratamiento: Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad Gladiolus Emergencia asumida: Inundación (100 años) Descripción de la emergencia: La inundación causará daños considerables a áreas bajas. Puentes serían cerrados, postes de teléfono hundidos y energía eléctrica interrumpida.		
COMPONENTE DEL SISTEMA	EFFECTOS DE LA EMERGENCIA TIPO Y EXTENSION	RECOMENDACIONES DE PREVENCION
Líneas de recolección	Interceptor de 60" podría ser arrastrado por el agua en el cruce de Back Creek	1.- Enterrar la línea en concreto 2.- Guardar tuberías y uniones para reparar la sección dañada 3.- Proveer bombas portátiles para el desvío en el corte 4.- Contratar servicios de reparación para emergencias mayores.
Estaciones de bombeo	Falla de energía	1.- Proveer de energía a dos subestaciones separadas. 2.- Proveer de generadores al petróleo para reserva
Pretratamiento	Falla de energía Rutas de acceso bloqueadas impidiendo la entrega de reactivos químicos.	1.- Proveer de energía a dos subestaciones separadas. 2.- Proveer de generadores al petróleo que esté disponible 3.- Existencias suficientes de químicos para uso de emergencia 4.- Proporcionar rutas alternativas de acceso a la planta
Clarificación	Falla de energía	1.- Proveer de energía de dos subestaciones separadas. 2.- Provisión de generadores al petróleo de reserva
Unidades secundarias	Falla de energía	1.- Proveer de energía de dos subestaciones separadas 2.- Provisión de generadores al petróleo de reserva
Manipulación de lodos	Falla de energía	1.- Proveer de energía de dos subestaciones separadas 2.- Provisión de generadores al petróleo de reserva
Abastecimiento de energía	Temporalmente interrumpido debido a las líneas de transmisión caídas	1.- Proveer de energía de dos subestaciones separadas 2.- Provisión de generadores al petróleo de reserva
Comunicaciones	Líneas de teléfono caídas	1.- Provisión de comunicaciones por radio a planta y vehículos 2.- Empleo de equipos de radio dentro de la planta
Personal	Rutas de acceso bloqueadas debido a que el puente fue arrastrado en Back Creek Personal separado: parte encontrándose en la planta y parte en sus viviendas.	1.- Seleccionar rutas alternativas a la planta. 2.- Proveer abastecimiento para personas que se encontraban en la planta 3.- Contar con personal auxiliar 4.- Coordinar con las instituciones competentes de la localidad para la reparación del
Fecha: _____ Analista: _____		

B. Vulnerabilidad de lagunas de estabilización.

Para el caso específico de lagunas de estabilización, los efectos a considerar son en:

a. Diques y taludes.

Cuando los taludes son de poca pendiente (más o menos 1 metro en la parte vertical y 4 metros en la parte horizontal), el peligro de ser erosionados por las olas producidas por posibles fuertes vientos se hace mínimo; asimismo, presentan una mayor estabilidad para los sismos. En el caso de suelos duros, se pueden adoptar taludes más empinados, utilizando un revestimiento protector. En el lado seco el declive es usualmente 1:1,5, recomendándose en la cima del dique 2,5 metros, siendo necesario proteger con césped la faja del talud sobre el nivel del agua en el lado húmedo, contra la erosión.

b. Estructuras de ingreso.

Pueden ser tuberías sumergidas o sobre el nivel del agua.

En tuberías sumergidas los efectos pueden deberse al asentamiento de sólidos en caudales bajos, lo que puede producir obstrucciones. Este es el caso cuando en el sistema de abastecimiento existe insuficiencia de recurso hídrico por efectos de sequía y la carga orgánica aumenta en proporción en el efluente crudo que se dirige a la planta. Además, posibles roturas a nivel de los diques, debidas a movimientos sísmicos, o producidas por personas ajenas - llámense agricultores que quieran tomar agua para sus cultivos y efectúen una rotura a nivel del corte del dique- ocasionan la percolación del efluente crudo en la estructura (dique), debilitándolo y consecuentemente, produciendo su falla.

En el caso de tuberías sobre el nivel del agua, los posibles efectos pueden ser causados por fallas en los soportes para las tuberías (pilares de albañilería) originadas por movimientos sísmicos o asentamientos de dichos pilares por problemas de estabilidad del suelo. Además, se encuentran expuestos a actos de vandalismo. Al igual que en el caso de las tuberías sumergidas, pueden sufrir los mismos efectos en las zonas donde atraviezan los diques.

c. Estructuras de salida.

Las estructuras de salida de la laguna son de gran importancia, pues determinan el nivel del agua que se mantiene en ella. De allí que cualquier obstrucción en la tubería de descarga por causas diversas puede ocasionar el desbordamiento de la laguna.

Las tuberías de descarga que atraviesan los diques deben instalarse con anterioridad a la construcción de los mismos, a fin de evitar cortes y rellenos en una obra recién construida. De lo contrario, se corre el peligro de debilitar algún punto del dique y cuando la laguna está llena se puede producir una falla en dicho punto, produciéndose la rotura del dique. Además, los problemas de roturas de diques pueden suceder debido a movimientos sísmicos o por acción de personas ajenas a la planta con la finalidad de usar el efluente.

d. Tuberías de interconexión.

Se utilizan para transferir el efluente de una laguna a otra en casos donde operan dos o más unidades en serie. Posibles emergencias pueden ser causadas debido a actos de vandalismo, por obstrucción de las aberturas de entrada o de salida, ocasionando la elevación del nivel de líquido de la laguna y, como consecuencia, el desbordamiento del dique. Además, probables roturas por efecto de sismos o conexiones clandestinas para captar el agua residual con fines agrícolas, puede de la misma manera que en las estructuras de entrada o salida, producir la percolación del líquido en el dique y su consiguiente debilitamiento y falla.

e. Instalaciones de bombeo.

A usarse solamente si es imposible traer el agua servida hasta la laguna por gravedad. Los efectos en una situación de emergencia se deben generalmente a que se interrumpe la línea de transmisión eléctrica, dejando la bomba de funcionar. Además, pueden sufrir obstrucio-

nes, desgaste y fugas. En lo que se refiere a bombas centrífugas, éstas pueden interferir con el proceso de tratamiento, ya que baten los flóculos ya formados en el afluente, obstaculizando su asentamiento en el fondo de la laguna.

f. Rejillas.

Si se incluyen estaciones de bombeo, se hace necesario colocar una rejilla de barras, la cual debe ubicarse delante de la estación, a fin de evitar posibles obstrucciones de las bombas.

g. Desarenadores.

Se emplean con la finalidad de minimizar la sedimentación en la laguna. Su uso se hace necesario si el sistema de alcantarillado es de tipo combinado, en el cual las aguas pueden contener considerable cantidad de materia arenosa como consecuencia del lavado de suelos por posibles inundaciones o tormentas. También se utilizan en el caso de posibles efluentes industriales que son descargados al alcantarillado y que contienen arena en cantidades apreciables como son las que provienen del lavado de raíces y tubérculos, del pulimento de vidrio y mármol, etc. Estas aguas residuales pueden ocasionar depósitos perjudiciales en las lagunas.

h. Aeradores.

Para lagunas de estabilización aeradas, las paralizaciones y fallas pueden ser debidas al corte de la provisión de energía eléctrica. Se requiere de mano de obra calificada para su operación y mantenimiento, presentándose por esta causa fallas en los procesos y problemas en su operación.

Cuantificación de daños.

En la práctica se conoce con mayor amplitud sobre los problemas de operación y control de procesos en plantas de tratamiento de aguas residuales que pueden conllevar a una situación de emergencia. En el Cuadro 1, de manera referencial, se cuantifica la importancia de contar con criterios adecuados en varias condiciones de operación para tres tipos de plantas: lagunas de estabilización, zanjas de oxidación y tanques IMHOFF.

En la medida en que los procedimientos de operación y los criterios de control de procesos no se cumplan por las diferentes causas antes mencionadas, una planta será más vulnerable y será mayor el daño que se tenga que afrontar.

Tabla 3 - 15

Condiciones de operación	Procedimientos de Operación			Criterios de control de procesos		
	Lagunas de estabilización	Zanjas de oxidación	Tanques IMHOFF	Lagunas de estabilización	Zanjas de oxidación	Tanques IMHOFF
Puesta en marcha		++	++++	+++	++	++++
Operación de rutina		+	+++	++	+++	++++
Operación de emergencia		+	++	++	+	++
Evaluación sumaria		+	++	++	++	++
Expansión y/o incremento de capacidad		+	++	++	++	+++

Nota: El cuadro excluye el grado de complicación en manejo y control de las distintas plantas.
Importancia: +++++ MUCHA +++ ALGUNA ++ POCA + MUY POCA

Identificación de los aspectos críticos.

En lagunas de estabilización, los posibles aspectos críticos serán:

- Niveles de líquido
- Niveles de rebose
- Rajadura de diques
- Erosión de diques
- Desagües de lagunas
- Electricidad (en el caso de lagunas aereadas)
- Personal
- Comunicaciones
- Descarga de tóxicos por desechos industriales.