



FIGURA 1 SISTEMA COMBINADO

COMPONENTES CLAVE DEL PROGRAMA

El programa de O/M de un sistema combinado de drenaje con desbordes no difiere significativamente del de los alcantarillados sanitarios, ya que los dos tienen como objetivo el mantener un caudal máximo hacia la planta de tratamiento y el maximizar bien sea la capacidad de almacenamiento en los colectores, o la retención de aguas arriba de los puntos de entrada al sistema. Existen varios componentes claves de un programa de O/M que una municipalidad o autoridad deben proporcionar para asegurar una operación y mantenimiento adecuados y para cumplir con los requisitos de control mínimos. Estos componentes del programa incluyen:

- El programar inspecciones rutinarias y mantenimiento y limpieza de los SCD, las unidades de regulación y los puntos de descarga.
- El desarrollar sistemas de reporte y archivo de datos de O/M que contengan los procedimientos de mantenimiento y los informes de inspección.
- El proveer entrenamiento de O/M al personal.
- La evaluación periódica del programa de O/M para su actualización y revisión de los procedimientos según sea necesario.

Estos procedimientos se describen en mayor detalle a continuación.

Evaluación operacional

Con anterioridad al desarrollo de un programa de O/M, la municipalidad debe realizar una evaluación operacional de su sistema para

completar un inventario de las instalaciones existentes y documentar las condiciones de operación y los procedimientos de mantenimiento. La municipalidad debe tener un plano completo del sistema de recolección en donde se señalen todas las tuberías y la ubicación de los puntos de descarga y de DDC. Este plano debe presentar como referencia las vías y otras estructuras que le permitan a las cuadrillas de mantenimiento localizar rápidamente las estructuras y los puntos de DDC. Este plano también ayudaría en la planificación y la programación de las inspecciones y el mantenimiento del SCD y los desbordes. Por ejemplo, los sectores o zonas que son susceptibles a inundación o desbordes prematuros deben ser los primeros inspeccionados después de una tormenta.

Entre los nueve requisitos mínimos de control de los DDC, se encuentra el realizar una caracterización de los DDC. Esta caracterización debe incluir la documentación de los eventos de desborde y su correlación con los patrones de precipitación pluvial (tales como el volumen, la intensidad, la duración). Los resultados de la caracterización son críticos para el diseño de un programa de O/M que sea efectivo para optimizar la operación del sistema. Como parte de estos estudios, es importante aforar los caudales reales del sistema y su respuesta a las diversas condiciones de operación y de precipitación. Esta información es crítica para el desarrollo de procedimientos específicos de operación y mantenimiento que harán parte del programa de O/M.

Los datos de los planes de control de los DDC a largo plazo pueden ser usados eventualmente por las municipalidades para complementar sus programas de O/M. Como parte de esos planes un sistema puede realizar el modelaje integrado del sistema (colectores, unidades de regulación y planta de tratamiento) para analizar mejoras en la operación. Este esfuerzo de modelaje

típicamente identifica modificaciones operacionales para lograr un máximo almacenamiento y conducción, proporcionar mejoras al sistema existente de tratamiento y reducir la descarga de DDC. Debido a que muchas municipalidades implementan sus programas de O/M antes de completar su plan a largo plazo de control de DDC, los resultados del modelaje pueden no estar disponibles durante las fases iniciales del programa de O/M. Sin embargo, este programa debe ser actualizado periódicamente para incorporar este tipo adicional de información.

Sistema de mantenimiento de datos

El programa de O/M debe incluir un componente de registro de datos. El sistema de registro de datos debe documentar los procedimientos de mantenimiento mediante informes de inspección. Estos informes deben contener información referente a la fecha de realización de las inspecciones y, de ser aplicable, la actividad correctiva realizada indicando el equipo utilizado y el personal involucrado. Los sistemas de información geográfica (SIG) y la cartografía pueden ser muy útiles para almacenar datos de O/M de DDC, así como para desarrollar una base de datos de áreas con problemas.

Procedimientos de operación del sistema

Cada municipalidad debe tener normas escritas, procedimientos o protocolos para el entrenamiento del personal de O/M y debe realizar evaluaciones y revisiones periódicas del programa de O/M. Algunas municipalidades han reportado que el alternar las cuadrillas entre las funciones de O/M y otras actividades es benéfico porque se reduce el tedio del trabajo al hacerlo menos rutinario, y promueve el entrenamiento de los empleados en tareas

múltiples. Otras municipalidades prefieren dedicar el personal exclusivamente a la O/M porque se mantiene la simplicidad de las asignaciones de trabajo.

Entrenamiento

El programa de entrenamiento de O/M debe establecer las metas, los procedimientos y el cronograma de entrenamiento. El entrenamiento debe proporcionar al personal un entendimiento de la operación de los SDC y de las características del sistema. El entrenamiento práctico debe ilustrar cada procedimiento específico de O/M a quienes son responsables de conducir esas actividades. Además, el tipo de trabajo de O/M puede requerir que el personal trabaje en espacios confinados o esté expuesto a gases peligrosos. Por esto es imperativo proporcionar entrenamiento de seguridad ocupacional de acuerdo con los estándares de la Agencia de Seguridad y Salud Ocupacional (*Occupational Safety and Health Administration*, OSHA). Los programas de seguridad ocupacional deben ser evaluados y, de ser necesario, actualizados en forma periódica. Las compuertas de control de marea que requieran inspecciones submarinas deben ser realizadas únicamente por buzos certificados.

ACTIVIDADES RUTINARIAS DE MANTENIMIENTO

La operación apropiada de un SCD se inicia con la operación y mantenimiento adecuados de los componentes individuales – las estructuras de regulación, las compuertas de marea, las estaciones de bombeo y los reservorios de recolección; y la implementación de un plan organizado que proporcione una operación y mantenimiento rutinarios, consistentes y orientados a dar soluciones. Además, los

operadores deben desarrollar planes para determinar en donde ocurren los DDC, y para realizar reparaciones específicas del sistema para prevenir DDC futuros.

Mantenimiento de las estructuras de regulación y las compuertas de marea

Debido a los detritos que normalmente se presentan en un drenaje combinado, las estructuras de regulación son especialmente susceptibles a la acumulación de materiales que causan bloqueos parciales y taponamientos. Los bloqueos por basura a la entrada del orificio del un colector aumentan la pérdida de carga a través del orificio y son responsables por la mayoría de los desbordes innecesarios que se producen en estructuras pasivas de regulación. Otras causas del desvío innecesario de flujo en estas estructuras incluyen el ajuste inadecuado, y el daño o la ruptura de placas de vertederos o de las estructuras de represamiento. En forma similar, fallas de las compuertas de marea pueden ser atribuidas a las basuras o desechos en la compuerta, la corrosión de la misma o el deterioro de sus empaques. Las fallas de las compuertas de marea permiten que el agua receptora entre al SCD, disminuyendo su capacidad de almacenamiento y de flujo. Para más información referente al control de sólidos y materiales flotantes se deben consultar los siguientes Folletos Informativos de DDC de la EPA: Rejas (EPA 832-F-99-027) y Control de Materiales Flotantes (EPA 832-F-99-008).

La inspección frecuente de las estructuras de regulación de los DDC y las compuertas de marea para prevenir problemas discutidos anteriormente, y el programa subsiguiente de realización de actividades correctivas (tales como la limpieza o la reparación de las estructuras de regulación y las compuertas de

marea), asegurarán un máximo almacenamiento o capacidad de flujo. La inspección de las compuertas se puede llevar a cabo más fácilmente durante periodos sin lluvia y de marea baja cuando la mayoría de la estructura se encuentran por encima del nivel del agua receptora. Se puede requerir de buzos para realizar la inspección de válvulas de marea que se encuentren debajo del nivel del agua receptora. Se debe hacer inspección de las estructuras de regulación que hayan demostrado ser problemáticas después de cada evento de lluvia.

Existen múltiples métodos diferentes para determinar si ha ocurrido un desborde en una estructura de regulación o una compuerta de marea, cuál fue su duración y qué volumen fue descargado. Por ejemplo, algunas municipalidades han instalado indicadores en las compuertas de marea que detectan cuándo las compuertas están abiertas; otras han instalado instrumentación en la línea de descarga aguas arriba de la compuerta que detectan cuando se encuentra agua en la tubería. En los dos casos, la señal de la instrumentación es enviada por telemetría a la municipalidad operadora para alertar a los operadores de un posible desborde. Este tipo de sistema es especialmente útil cuando la compuerta de marea es inaccesible o difícil de inspeccionar. Estos tipos de sistemas deben ser examinados en forma rutinaria para asegurar su operación apropiada.

Una forma de determinar en forma pasiva si ha ocurrido un desborde en un SCD es el colocar un bloque de madera en el vertedero estático; si el bloque no se encuentra después de un periodo de tiempo seco, esto indica que fue arrastrado por un desborde. Si el bloque desaparece después de un evento de lluvia, entonces la estructura de desborde debe ser recalibrada. El caudal de base puede verse aumentado con el tiempo debido a cambios en el sistema de

drenaje (por ejemplo, mayores áreas pavimentadas), un mayor caudal sanitario, y el aumento de la infiltración y afluencia. Un incremento en el caudal de base de agua residual puede causar desbordes durante periodos sin lluvias que deben ser identificados y eliminados. Otro método de costo moderado para determinar desbordes es el instalar un medidor portátil de nivel de agua o de profundidad (tales como los medidores sónicos o de burbuja) en la tubería de drenaje combinado para comparar la carga hidráulica durante periodos sin lluvia con la elevación de desborde en la estructura de control. Este método puede determinar rápidamente si el vertedero de desborde u otro accesorio necesitan ser ajustados.

Mantenimiento de las estaciones de bombeo

Las estaciones de bombeo deben recibir mantenimiento para operar de acuerdo con las condiciones de diseño. Los cárcamos húmedos deben ser limpiados en forma rutinaria ya que la deposición de arenilla y sólidos en el cárcamo pueden dañar o restringir el flujo de agua residual a la bomba.

La operación inapropiada de las estaciones de bombeo puede llevar a la reducción del almacenamiento y la capacidad hidráulica durante periodos de lluvia y, si la capacidad de bombeo se encuentra severamente restringida, a desbordes en periodos sin lluvia. En general, la capacidad inadecuada de bombeo es causada por:

- Problemas mecánicos, eléctricos o de instrumentación.
- Cambios en el área tributaria de drenaje que llevan a que la escorrentía pluvial sobrepase los valores originales de diseño.

- Cambios en las tuberías de descarga (por ejemplo, conexión a otro sistema presurizado o combinación en una entrada múltiple) que ocasiona una mayor pérdida de presión en el sistema de descarga.

Si las condiciones aguas arriba de la estación de bombeo (tales como nuevos desarrollos) aumentan el caudal más allá de los valores de diseño, se deben tomar las medidas necesarias para ampliar la estación de manera que responda al incremento de caudal. La ampliación de la estación de bombeo puede incluir elementos tales como:

- La instalación de nuevas bombas y motores.
- El cambio de los impulsores.
- La mejora o el cambio de los controles de la bomba para maximizar el uso de todas las bombas durante periodos de lluvia.
- La modificación de la red de tuberías para mejorar el sistema.
- Instalación de tuberías de impulsión adicionales para bombeo durante periodos de lluvia.

Dependiendo de la complejidad del sistema, los cambios en las condiciones de descarga aguas abajo que puedan afectar la curva de la carga hidráulica del sistema pueden requerir un estudio extenso y deben ser evaluados caso por caso.

Mantenimiento de colectores del alcantarillado

El mantenimiento de los colectores puede separarse en dos componentes principales, el uso de métodos de diagnóstico para identificar puntos con problemas potenciales y las inspecciones físicas de las tuberías por grietas, rupturas o bloqueos.

El uso de métodos diagnósticos permite a los operadores predecir en donde pueden ocurrir problemas en los colectores, logrando así un uso más eficiente de los recursos de O/M. El mantenimiento apropiado del alcantarillado requiere un conocimiento del sistema, lo cual incluye información sobre su antigüedad, las áreas de servicio, la elevación de las estructuras de alcantarillado y las pendientes de las tuberías. Un conocimiento adecuado de la edad del sistema de alcantarillado es crucial porque muchos de los sistemas más antiguos están contruidos de materiales más débiles (como tubería de arcilla) que son propensos al agrietamiento y derrumbamiento. Las tuberías agrietadas y colapsadas pueden presentar problemas significativos tales como la infiltración de agua residual al agua freática y la introducción de sedimento al sistema. Esto puede resultar en restricciones hidráulicas. El conocer cuáles secciones de los colectores son más antiguas o el identificar cuáles secciones están contruidas de materiales menos resistentes permite que los operadores del sistema hagan un seguimiento de los sectores que son potencialmente más problemáticos.

La información referente a la elevación del sistema de alcantarillado es importante para establecer la probabilidad de acumulación de sedimentos en la tubería. La pendiente de los colectores es directamente proporcional a la capacidad y velocidad de la tubería. Cuando la velocidad del agua residual en el colector es

menor a la de velocidad de auto-limpieza de 2 pies por segundo, los sólidos tienden a depositarse, creando restricciones del flujo. Colectores de gran tamaño instalados con gradientes muy reducidos son especialmente propensos a conducir el agua residual a bajas velocidades, y como resultado tienden a colmatarse con sedimento. Las tormentas de baja y mediana magnitud son una preocupación significativa ya que la velocidad resultante de esas tormentas puede ser menor a la de auto-limpieza. Por esta razón, se deben hacer inspecciones frecuentes de las áreas propensas a la deposición. Los colectores del alcantarillado con un historial de deposición de sedimentos y bloqueos deben ser identificados y programados para limpieza rutinaria.

El modelar el alcantarillado para evaluar las necesidades de mejora puede ser especialmente útil para evitar problemas futuros. Por ejemplo, el caudal en aumento en un colector aguas arriba puede crear problemas aguas abajo si el colector en este sector no tiene la capacidad de manejo de ese aumento. Como resultado pueden ocurrir otros problemas, tales como el retorno del flujo a sótanos de viviendas. En el caso que retornos de flujo a sótanos sean una preocupación, se puede necesitar un restrictor de flujo. El modelaje puede también determinar cómo el incrementar el nivel de un vertedero puede reducir los DDC. Los métodos para aumentar el caudal incluyen el aumento en la tasa de bombeo de la estación aguas arriba, y la inyección de polímero para reducir el coeficiente de fricción de la tubería (Field et al., 1994).

El determinar si ha ocurrido un desborde en una tubería de descarga es importante para entender como funciona el sistema y para cumplir con los requisitos de reporte. Un método de costo moderado para determinar el tirante máximo en una tubería de descarga es el marcar con tiza una línea en la circunferencia interior de la

tubería. El agua de desborde borra la marca de tiza hasta el nivel máximo de flujo. Técnicas más avanzadas incluyen el instalar instrumentación que mida el caudal en una descarga y remita esa información por telemetría a la municipalidad.

La segunda parte del programa de mantenimiento de tuberías es la inspección física de las mismas. De ser posible, los SDC y las estructuras de DDC deben ser inspeccionados en forma regular para asegurar un desempeño óptimo. La inspección de los colectores se hace normalmente usando cámaras de televisión, pero si los colectores son lo suficientemente grandes y en condiciones de caudal reducido es posible la inspección visual directa. De elegirse la inspección visual, el inspector debe seguir las normas de la OSHA referentes a la entrada a espacios confinados. Las inspecciones deben ser utilizadas para identificar taponamientos, agrietamientos y otros problemas en los colectores. Los taponamientos típicamente son el resultado de la acumulación de sedimentos y arenisca en el sistema de alcantarillado, si bien la vegetación desprendida y los detritos también pueden restringir el flujo. Otra causa común de taponamientos son las raíces de árboles, los cuales pueden crecer a través de grietas en las tuberías. Los bloqueos del alcantarillado pueden reducir tanto la capacidad hidráulica de los colectores y su capacidad efectiva de almacenamiento. Esto puede causar que el flujo se represe y cause desbordes en el alcantarillado.

Una vez que se hayan identificado estos problemas, las cuadrillas de mantenimiento deben ser despachadas para solucionarlos. Las cuadrillas deben asegurarse de que los todos los colectores estén libres de detritos atrapados. También deben revisar y limpiar todas las cámaras de desarenación y las estaciones de evacuación en la línea en las cuales

taponamientos del sistema son causados en forma rutinaria por los sedimentos. Se deben reparar los colectores agrietados y reemplazar los colectores colapsados para restaurar la capacidad del sistema y prevenir la infiltración.

Mantenimiento de los reservorios de retención y las cámaras de desarenación

Los reservorios de retención y las cámaras de desarenación son estructuras de entrada que sirven como pozos colectores para la retención de sedimentos, arenisca y detritos. Estas estructuras deben ser limpiadas periódicamente para prevenir que se llenen de arenisca y sedimento y dejen pasar un flujo sin tratamiento al SCD. Los métodos de limpieza incluyen carro-tanques de succión, chorros de aspersión, bombas sumergibles con capacidad de manejo de arenisca y líquidos mixtos espesos, y máquinas de baldes.

Control de sedimentos

Ya que el sedimento es una fuente significativa de problemas en los drenajes combinados, el control en la fuente del mismo puede ser ventajoso. Un ejemplo de control en la fuente incluye el implementar y mantener prácticas efectivas de control de la erosión para construcciones en el área de drenaje. Estas prácticas previenen que sedimentos sean transportados a la entrada del alcantarillado durante eventos de lluvia. El barrido frecuente de las vías también ha probado ser efectivo para reducir la carga de sedimento al sistema de alcantarillado.

Infiltración y afluencia

Los estudios de evaluación de sistemas de drenaje, tales como las pruebas de humo y las inspecciones de televisión, son métodos efectivos para determinar la infiltración de agua subterránea y la afluencia al alcantarillado. Estos procesos son el resultado de fallas estructurales del sistema de tuberías que permiten la entrada de agua subterránea al sistema y son más comunes en los alcantarillados más antiguos. A menudo, las raíces de los árboles crecen en las fracturas de las tuberías, causando más problemas de obstrucción del drenaje. Este problema es serio, no sólo porque introduce caudal adicional al sistema de alcantarillado y lleva a la sobrecarga hidráulica y desbordamientos, sino porque también introducen sedimento al sistema causando los problemas señalados anteriormente.

COSTO

El costo de operar y mantener SCD y DDC es especialmente difícil de determinar porque es función de numerosos factores diferentes incluyendo la edad del sistema, el tipo(s) de las estructuras de desborde, el tamaño del sistema (tanto en distancia linear y en el diámetro de los colectores combinados), y las cuencas de drenaje. Los datos de costo para componentes clave del mantenimiento apropiado de O/M de SCD se resumen en otros Folletos Informativos de la EPA incluyendo “Limpieza e Inspección de Alcantarillados” (EPA 832-F-99-018) y “Limpieza de Reservorios de Retención”

(EPA 832-F-99-011). Por ejemplo, los costos promedio de limpieza de reservorios de retención tienen un rango de \$8 a \$ 16 por reservorio dependiendo de cómo se haga la limpieza, manualmente o con barredoras de succión. La Tabla 1 resume los costos promedio a nivel nacional para la limpieza e inspección de alcantarillados, otro componente clave de la O/M apropiados para un SCD.

TABLA 1 RESUMEN DE COSTOS DE MANTENIMIENTO A NIVEL NACIONAL

Elemento	Rango de costos	Costo promedio
Costo total de O/M (valor anual por milla*)	\$951 - \$ 46,973 ¹	\$2,823 ³
Salarios (costo anual por milla)	\$695 - \$19,831 ¹	\$3,626 ¹
Prestaciones laborales (costo anual por milla)	\$192 - \$9,033 ¹	\$1,185 ¹
Compuestos químicos (costo anual por milla)	\$0.3 - \$7,616 ¹	\$512 ¹
Limpieza por vaciado hidráulico (costo por milla)	\$475 – 5,230 ¹²	\$1,700 ¹
Inspección de televisión (costo por milla)	\$1,000 - \$11,450 ¹²	\$4,600 ¹
Mantenimiento preventivo	63% del costo total de mantenimiento (excluyendo la depreciación)	

Fuente: 1. Water Environment Federation, 1997.

2. Arbour and Kerri, 1997.

3. Black & Veatch/ASCE, 1998.

REFERENCIAS

1. Arbour, R. and K. Kerri, 1997. *Collection Systems: Methods for Evaluating and Improving Performance*. Prepared for the EPA Office of Wastewater Management by the California State University, Sacramento, CA.
2. Black & Veatch, 1998. *Optimization of Collection System Maintenance Frequencies and System Performance*. Prepared for the EPA Office of Wastewater Management under a cooperative agreement with American Society of Civil Engineers.
3. Burgess, E. H. et al., 1994. *Operational Plan for CSO Abatement in Indianapolis, Indiana*. Presented at the Water Environment Federation Conference “A Global Perspective for Reducing CSOs: Balancing Technologies, Costs, and Water Quality.”
4. Byrd/Forbes Associates, Inc., 1995. Darin Thomas, Byrd/Forbes Associates, personal communication with Parsons Engineering Science, Inc.
5. Despault, R., L. Gohier, and A. Perks, 1994. *CSOs: A Fresh Look at Combined Sewer*

- Operations*. Presented at the Water Environment Federation Conference “A Global Perspective for Reducing CSOs: Balancing Technologies, Costs, and Water Quality.”
6. Field, R., T.P. O'Conner, and R. Pitt, 1994. *Optimization of CSO Storage and Treatment Systems*. Presented at the Water Environment Federation Specialty Conference on CSOs.
 7. Gross, C. E. et al., 1994. *Nine Minimum Control Requirements for Combined Sewer Overflows*. Presented at the Water Environment Federation Conference, “A Global Perspective for Reducing CSOs: Balancing Technologies, Costs, and Water Quality.”
 8. Louisville Metropolitan Sewer District, 1995. Derrick Guthrie, Louisville Metropolitan Sewer District, personal communication with Parsons Engineering Science, Inc.
 9. Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (SEWRPC), 1991. *Cost of Urban Nonpoint Source Water Pollution Control Measures*, Technical Report No.31.
 10. U.S. EPA, 1989. *A Compilation of Significant References*. Storm and Combined Sewer Pollution Control Program.
 11. U.S. EPA, 1993. *Combined Sewer Overflow Control Manual*. EPA 625-R-93-007.
 12. U.S. EPA Federal Register [FRL-4732-7] Part VII, April 19, 1994. Combined Sewer Overflow Control Policy.
 13. U.S. EPA Storm & Combined Sewer Pollution Control Program, 1995. Richard Field, U.S. EPA Storm & Combined Sewer Pollution Control Program personal communication with Parsons Engineering Science, Inc.
 14. Water Environment Research Foundation (WERF), 1997. *Benchmarking Wastewater Operations - Collection, Treatment, and Biosolids Management*. Project 96-CTS-5.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Byrd/Forbes Associates, Inc.
Tom Jones
2315 Southpark Drive
Murfreesboro, TN 37128

Center for Watershed Protection
Tom Schueler
8391 Main Street
Ellicott City, MD 21043

Jefferson County Metro Sewer District
Dan Knowles
700 West Liberty Street
Louisville, KY 40203

Metropolitan St. Louis Sewer District
Bernie Raines
Environmental Compliance
10 East Grant Avenue
St. Louis, MO 63147
U.S. EPA

National Risk Management Branch
For more information contact:
Municipal Technology Branch
U.S. EPA
Mail Code 4204
401 M St., S.W.
Washington, D.C., 20460

Office of Research and Development
Richard Field
2890 Woodbridge Avenue
Edison, NJ 08837

La mención de marcas o productos comerciales no constituye una aprobación o recomendación de uso por parte de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Para mayor información contactarse con:

Municipal Technology Branch, U.S.
EPA, Mail Code 4204, 401 M St., S.W.,
Washington, D.C., 20460